



Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Ciências da Terra

CONTRIBUIÇÃO PARA A CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DOS SAPAIS DO ESTUÁRIO DO SADO – APLICAÇÃO EXPERIMENTAL NO ENSINO DA GEOLOGIA



Dissertação apresentada à Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Geologia Para o Ensino, sob orientação do Prof. Dr. José Carlos Ribeiro Kullberg e da Prof. Dr.^a Maria da Conceição Pombo de Freitas.

Maria João Ferreira de Sousa
Lisboa, 2006



Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Ciências da Terra

**CONTRIBUIÇÃO PARA A CARACTERIZAÇÃO
GEOAMBIENTAL DOS SAPAIS DO ESTUÁRIO DO
SADO – APLICAÇÃO EXPERIMENTAL NO
ENSINO DA GEOLOGIA**

**Dissertação apresentada à Universidade Nova de
Lisboa para obtenção do grau de Mestre em
Geologia Para o Ensino, sob orientação do Prof.
Dr. José Carlos Ribeiro Kullberg e da Prof. Dr.^a
Maria da Conceição Pombo de Freitas.**

Maria João Ferreira de Sousa
Lisboa, 2006

A todos os alunos que partilham comigo o prazer de aprender.

AGRADECIMENTOS

Expresso o meu mais sincero agradecimento a todos quanto, pela sua colaboração, profissionalismo e amizade, tornaram possível a concretização da presente dissertação.

Em primeiro lugar, aos meus orientadores, Prof. Doutor José Carlos Ribeiro Kullberg e Prof. Doutora Maria da Conceição Pombo de Freitas, que muito admiro pelo seu profissionalismo, expresso o meu agradecimento pelo apoio e estímulo que sempre manifestaram no decurso do trabalho.

Ao Prof. Doutor José Kullberg, pela ajuda preciosa no arranque deste trabalho, quer na procura do tema, quer na revisão atenta da proposta de pedido da licença sabática. No decurso do trabalho, o seu entusiasmo, as suas ideias e propostas, o encorajamento que sempre me soube transmitir, o apoio nas saídas de campo, os ensinamentos e acompanhamento na elaboração de materiais multimédia e a leitura atenta e críticas valiosas ao trabalho escrito, foram ajudas valiosíssimas, sem as quais esta dissertação sairia certamente mais pobre.

À Prof. Doutora Conceição Freitas, pelo tema de trabalho que me proporcionou e pelo qual passei a nutrir um interesse especial, pelo interesse e disponibilidade com que sempre me apoiou no campo, no laboratório e no decorrer de todo o trabalho, pela cedência de bibliografia, pelos ensinamentos valiosos, pela resolução sempre atempada das inúmeras dúvidas colocadas, pela leitura perspicaz e crítica do trabalho escrito e principalmente, pelos incentivos que me deram ânimo ao longo de todos estes meses.

À Mestre e amiga Anabela Cruces, um agradecimento muito especial, pela disponibilidade permanente, pelos ensinamentos preciosos e sugestões valiosas, pela cedência de bibliografia, pela paciência e estímulo, pela boa disposição e amizade, que muito prezo. Jamais esquecerei todo o tempo que despendeu, sempre que lhe foi solicitada ajuda, em prejuízo do seu próprio trabalho.

Ao Doutor Plácido Martins (IGeo) pela prontidão na resposta ao pedido das coordenadas geográficas das quase duas centenas de ocorrências minerais da Bacia Hidrográfica do Sado.

Ao Prof. Doutor César Andrade, ao Doutor Carlos Vale (IPIMAR) e à Doutora Cristina Santos (INETI), pela cedência de bibliografia.

À Prof. Doutora Lúcia Martins, pelos esclarecimentos relativos às análises químicas.

Às técnicas de laboratório do Departamento de Geologia da FCUL, Sandra Pereira e Rosário Baiões, agradeço o apoio técnico prestado e as explicações relativas à descrição dos métodos, sempre com paciência e boa disposição.

À Tânia Ferreira e à Rute Ramos, pelo apoio incondicional no laboratório e no tratamento de dados, pela energia e boa disposição.

Ao CIGA (Centro de Investigação em Geociências Aplicadas), por me ter proporcionado um posto de trabalho, sempre que dele necessitei, pela disponibilização de equipamento informático, *software*, biblioteca e equipamento de vídeo.

Ao Daniel Vendas e Marco Rocha (CIGA), pela ajuda sábia na construção de figuras e pelo auxílio nas filmagens do sapal.

Aos meus colegas de docência Alice Silva, pela disponibilidade na captação de imagens do Sapal de Corroios e Manuel Lima, pela cedência de imagens e pela visita guiada ao sapal.

Ao Ecomuseu da Câmara Municipal do Seixal, na pessoa da Doutora Graça Filipe, pela disponibilidade e interesse na resposta aos meus pedidos, nomeadamente na visita ao Moinho de Maré de Corroios e na cedência de bibliografia.

Ao Sr. Amadeu, pela simpatia, disponibilidade e pelo inesquecível passeio de barco, que me proporcionou um encontro com o coração do Sapal de Corroios e Baía do Seixal.

Ao Ministério da Educação, pela licença sabática que me concedeu, permitindo a conclusão deste trabalho num ano, com todas as mais valias que isso acarreta para o meu desempenho como docente.

Por fim, um agradecimento muito especial à minha família mais próxima: à minha irmã, ao avô Quim e à avó Lu e avó Minda, por terem mimado a minha filha sempre que as minhas ausências o exigiram; à minha filha Joana, pela energia que me transmite e ao meu marido Jorge, por ser o meu maior e melhor amigo, apoiando-me incondicionalmente.

RESUMO

Os estuários e sapais estuarinos são zonas húmidas que, devido à sua localização privilegiada e características únicas de riqueza natural, atraíram desde há muito populações que se fixaram nas suas margens, constituindo pólos de desenvolvimento e concentração de actividades humanas, sofrendo o impacte negativo da acção antrópica, principalmente durante o século XX.

No presente estudo, cujo tema central é o ambiente de sapal do estuário do Sado (Península de Setúbal), apresentam-se resultados de um estudo sedimentológico e geoquímico de uma sondagem curta, recolhida no sapal do Faralhão (margem norte do estuário), visando contribuir para a caracterização geoambiental dos ecossistemas de sapal deste estuário e para a identificação da contribuição antrópica em metais pesados nos sedimentos vasosos estudados.

Perspectivando uma aplicação pedagógica, apresenta-se uma proposta de estudo do sapal de Corroios (estuário do Tejo), composta por diversos materiais de apoio ao trabalho de campo e de laboratório, direccionados para alunos do ensino secundário.

Com esta proposta, pretende-se contribuir para a sensibilização dos professores para a necessidade de, junto dos seus alunos, promoverem motivações que conduzam ao estudo dos ecossistemas de sapal, perspectivando a consciencialização da vulnerabilidade destes ambientes e a assumpção de medidas de defesa do património natural.

ABSTRACT

The estuaries and salt marshes are wetlands that due to their privileged location and unique natural resources, brought to their margins the settlement of human populations mostly during the twenty century, leading to an increase of human activities.

The present work was developed in the Faralhão salt marsh located in the Sado estuary (Setúbal peninsula), for the sedimentological and geochemical study of a short core, in order to contribute to characterize the geoenvironment of the salt marsh ecosystems and to identify the antropic contribute for the anomalous concentrations in heavy metals.

A pedagogical application to the Corroios salt marsh is also presented; it is composed by different field and laboratory activities supported by materials directed to the secondary school students.

With this proposal we expect to contribute to encourage teachers for the students sensibilization for the importance of salt marshes ecosystems and therefore contribute to aware for the vulnerability of those environments and the necessity to implement real measures to protect this natural heritage site.

ÍNDICE GERAL

CONSIDERAÇÕES INICIAIS	19
Motivações e objectivo	19
Organização da dissertação	20

PARTE I

Caso de estudo - sapal do Faralhão

1. ZONAS HÚMIDAS – ESTUÁRIOS E SAPAIS

1.1. Zonas Húmidas	25
1.2. Estuários	28
1.2.1. Definição	28
1.2.2. Classificação	29
1.2.3. A evolução dos estuários actuais	32
1.2.4. Os estuários e o Homem	33
1.3. Sapais	35
1.3.1. Definição	35
1.3.2. Classificação	35
1.3.3. Características dos sapais	37
1.3.4. Sedimentação nos sapais	40
1.3.5. Os sapais e a subida do nível médio do mar	41

2. ENQUADRAMENTO DA ÁREA EM ESTUDO

2.1. Enquadramento geográfico e geomorfológico	43
2.1.1. Bacia Hidrográfica do Sado	43
2.1.2. Estuário do Sado	47
2.2. Enquadramento geológico	48
2.2.1. Breve descrição das unidades subjacentes à Bacia de Alvalade	50
2.2.1.1. Zona Sul Portuguesa (Paleozóico)	50
2.2.1.2. Zona de Ossa Morena (Paleozóico)	52
2.2.2. Evolução do enchimento sedimentar da Bacia de Alvalade – unidades litostratigráficas	52
2.3. Enquadramento hidrodinâmico do estuário	55
2.3.1. Caudais	55
2.3.2. Marés	56

2.3.3. Circulação estuarina	57
2.4. Importância ecológica do estuário do Sado	58
2.5. Actividade humana no estuário	62
2.6. Ocupação do solo na bacia hidrográfica do Sado	64
2.7. Principais problemas ambientais no estuário do Sado	67
2.7.1. Poluição industrial	67
2.7.2. Poluição urbana	73
2.7.3. Poluição agrícola	75
2.7.4. Captações de água	75
2.7.5. Artificialização das margens do estuário	76
2.7.6. Desenvolvimento turístico	76
2.7.7. Exploração desregrada dos recursos	77
2.8. Sapais do estuário do Sado	78
2.8.1. Evolução recente	78
2.8.2. Composição e importância da cobertura vegetal	80
3.MÉTODOS	
3.1. Trabalho de campo	83
3.2. Ensaio Laboratoriais	84
3.2.1. Teor de humidade	84
3.2.2. pH.....	85
3.2.3. Teor de carbonato de cálcio (Calcimetria).....	85
3.2.4. Teor de matéria orgânica.....	85
3.2.5. Análise textural.....	86
3.2.6. Análise Geoquímica.....	87
3.2.7. Geocronologia isotópica: aplicação à determinação de taxas de sedimentação.....	90
3.2.7.1. Isótopo ²¹⁰ Pb.....	90
3.2.7.2. Isótopo ¹³⁷ Cs.....	91
4. CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DO SAPAL	
4.1. Características gerais do sapal do Faralhão	93
4.2. Caracterização dos sedimentos analisados	96
4.2.1. Sedimentologia	97
4.2.1.1. Teor de Humidade	97

4.2.1.2. pH	99
4.2.1.3. Matéria Orgânica	101
4.2.1.4. Análise Textural	104
4.2.2. Geoquímica	114
4.2.2.1. Elementos maiores e L.O.I	114
4.2.2.2. Elementos menores (metais pesados)	122
4.2.2.2.1. Determinação dos factores de enriquecimento	126
4.2.2.2.2. Comparação das concentrações em metais no estuário do Sado	131
4.2.2.2.3. Origem e impacte ambiental dos metais pesados no estuário	139
4.2.2.2.4. Comparação das concentrações em metais com outros estuários	144
4.2.2.2.5. Comparação das concentrações em metais com valores de referência	148
4.2.2.3. Taxas de sedimentação	149

PARTE II

APLICAÇÃO EXPERIMENTAL NO ENSINO SECUNDÁRIO

1. Enquadramento	155
2. Fundamentação	
2.1. O papel da Educação Ambiental	157
2.2. O papel do trabalho experimental no ensino das ciências	158
2.2.1. Definição	159
2.2.2. Objectivos do trabalho experimental	159
2.2.3. O trabalho experimental de investigação	160
2.2.4. O trabalho experimental de investigação como estratégia de ensino/aprendizagem	160
3. Objectivos didácticos.....	163
4. Definição da Situação de Aplicação	165
5. Metodologia do Trabalho a Desenvolver	167
5.1. Saída de Campo – Guião.....	168
5.2. Trabalho Laboratorial – Guião.....	169
5.3. Guião de interpretação de resultados.....	170

CONSIDERAÇÕES FINAIS	171
-----------------------------------	------------

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	177
---	------------

ANEXOS

Anexo 1.Indústrias da Península da Mitrena.....	185
Anexo 2.Ocorrências minerais na Bacia Hidrográfica do Sado	197
Anexo 3. Cobertura vegetal do alto sapal e baixo sapal do Faralhão	205
Anexo 4.Procedimentos geoquímicos	211
Anexo 5.Tabela Geral de resultados sedimentológicos	215
Anexo 6. Distribuição granulométrica da fracção fina –histogramas	219
Anexo 7. Distribuição granulométrica da fracção fina – curvas de frequência simples e acumulada	229
Anexo 8. Distribuição granulométrica da fracção fina – comparação de resultados com e sem matéria orgânica	241
Anexo 9. Análise textural – distribuição granulométrica de finos	245
Anexo 10. Tabela de resultados da análise geoquímica	249
Anexo 11. Guião de Campo (Sapal de Corroios)	253
Anexo 12. Guião Laboratorial	269
Anexo 13. Guião de interpretação de resultados	289
Anexo 14 (DVD)	
a - Guião de Campo Multimédia (Sapal de Corroios)	
(CD)	
b - Guião de Campo (versão para impressão)	
c - Guião Laboratorial (versão para impressão)	
d - Grelhas para registo e tratamento de dados experimentais	
e - Guião de interpretação de resultados (versão para impressão)	
f - Guião laboratorial Interactivo	
g - Apresentação da saída de campo	
Anexo 15. Proposta de apresentação de projecto ao Ciência Viva	299

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Sítios Ramsar de Portugal	27
1.2	Níveis de referência das marés e posição dos domínios de sapal	36
1.3	Níveis de produtividade primária em vários ecossistemas	39
2.1	Localização da bacia hidrográfica do Sado e fronteira com outras bacias hidrográficas (A); Distritos abrangidos pela bacia hidrográfica do Sado (B)	43
2.2	Hipsometria da bacia hidrográfica do Sado e principais relevos marginais	44
2.3	Rede hidrográfica do rio Sado	46
2.4	Estuário do Sado – toponímia e organização morfológica	47
2.5	Divisões Tectono-Estratigráficas de Portugal	49
2.6	Geologia simplificada da bacia hidrográfica do Sado	51
2.7	Localização das barragens na bacia hidrográfica do Sado	56
2.8	Reserva natural do estuário do Sado	59
2.9	Representatividade das classes taxonómicas de vertebrados terrestres inventariadas na RNES.....	61
2.10	Ocupação do solo nas margens do estuário do Sado	63
2.11	Representatividade das classes de ocupação do solo nas margens do estuário do Sado	65
2.12	Ocupação agrícola na BHS	66
2.13	Poluição pontual industrial na BHS	68
2.14	Ocorrências minerais exploradas na BHS	71
2.15	Minas de Aljustrel (couto mineiro de Feitais)	72
2.16	Mina de Lousal	72
2.17	Mina de Caveira	73
2.18	Densidade populacional na BHS	74
2.19	Localização do local de estudo	80
3.1	Localização das sondagens FAR4 e 4A	83
3.2	Ilustração do processo de absorção atómica	88
4.1	Enquadramento da península do Faralhão	93
4.2	Aspecto do contacto alto sapal/raso de maré	94

4.3	Desmoronamento do alto sapal sobre o raso de maré (A); pormenor da morfologia da escarpa que margina o alto sapal (B)	94
4.4	Mancha de <i>Spartina marítima</i> (baixo sapal) na margem norte da península do Faralhão	95
4.5	Domínios intertidais na margem norte da península do Faralhão	95
4.6	Perfis topográficos efectuados na península do Faralhão	96
4.7	Posição da sondagem FAR4 (4A) relativamente aos níveis de referência das marés	97
4.8	Variação do teor de humidade em profundidade na sondagem FAR 4A	99
4.9	Correlação entre o teor de humidade e a MO (titulação)	99
4.10	Variação do pH em profundidade na sondagem FAR4A	101
4.11	Correlação entre o pH e a MO	101
4.12	Variação do teor em MO em profundidade na sondagem FAR4A	102
4.13	Correlação entre os métodos de determinação da MO (Perda por ignição/titulação)	103
4.14	Variação do teor em MO em profundidade na sondagem FAR4 (LOI)	103
4.15	Correlação entre os métodos de determinação da MO (titulação/LOI)	104
4.16	Correlação entre os métodos de determinação da MO (Perda por ignição/LOI)	104
4.17	Variação da percentagem de sedimentos finos em profundidade na sondagem FAR4A	105
4.18	Correlação entre siltes e argilas em profundidade na sondagem FAR4A	106
4.19	Perfil de distribuição dos siltes e argilas (<2µm) em profundidade na sondagem FAR4A	106
4.20	Classificação das amostras no diagrama ternário de classificação textural de Pejrup	108
4.21	Classificação das amostras no diagrama ternário simplificado de Fleming	110
4.22	Classificação das amostras no diagrama ternário da classificação textural de Fleming.....	111
4.23	Variação do diâmetro médio das partículas <63µm, em profundidade, na sondagem FAR4A	112
4.24	Características sedimentológicas da sondagem FAR4A e unidades individualizadas	113
4.25	Perfis verticais de concentração (%) de elementos maiores na sondagem FAR4 e concentrações destes elementos no <i>Average Shale</i>	117

4.26	Perfil da razão Silício/Alumínio na sondagem FAR4 e razão Silte/Argila na sondagem FAR4A	118
4.27	Perfil da variação do teor em sódio (Na) e água na sondagem FAR4	118
4.28	Correlação entre o teor em Na e o teor em água nos sedimentos da sondagem FAR4	119
4.29	Ocorrências minerais por elementos e rede de drenagem na BHS	119
4.30	Correlações entre os vários elementos e o alumínio	120
4.31	Correlações entre os vários elementos e o silício	120
4.32	Correlações entre os vários elementos e o LOI	121
4.33	Perfil vertical da concentração (mg/kg) de metais pesados na sondagem FAR4 ...	123
4.34	Perfil vertical da concentração de metais pesados normalizados com o Al ($\times 10^{-4}$) na sondagem FAR4	123
4.35	Projecção das concentrações dos metais <i>versus</i> Al, dos sedimentos da sondagem FAR4	124
4.36	Projecção das concentrações dos metais <i>versus</i> MO (LOI) dos sedimentos da sondagem FAR4	125
4.37	Perfis verticais das concentrações dos metais pesados normalizados com a MO (LOI) na sondagem FAR4	126
4.38	Variação do factor de enriquecimento (FE) de metais pesados relativamente ao padrão <i>Average shale</i>	128
4.39	Comparação dos teores em Cu e Zn (mg/kg) obtidos em vários estudos no estuário do Sado	134
4.40	Comparação dos teores em Pb e Co (mg/kg) obtidos em vários estudos no estuário do Sado	135
4.41	Direcções dominantes das correntes de maré à superfície do estuário do Sado.....	141
4.42	Comparação dos teores em Cu e Zn (mg/kg) obtidos no Faralhão com teores obtidos para outros estuários	145
4.43	Comparação dos teores em Pb (mg/kg) obtidos no Faralhão com teores obtidos para outros estuários	147
4.44	Perfil de excesso de ^{210}Pb e do ^{137}Cs na sondagem FAR4	150
4.45	Determinação da taxa de sedimentação através do excesso de ^{210}Pb nos sedimentos da sondagem FAR4	150

ÍNDICE DE TABELAS

2.1	Estabelecimentos industriais potencialmente mais poluentes na zona norte do estuário do Sado	69
3.1	Escala de pH dos solos de Prato Longo	85
4.1	Percentagem e composição da fracção superior a 63µm na sondagem FAR4A ...	107
4.2	Valores percentuais dos elementos maiores em amostras da sondagem FAR4	114
4.3	Factores de enriquecimento relativos ao padrão <i>Average Shale</i>	127
4.4	Concentração de alumínio e metais (médias), na zona de elevadas concentrações (ZA) e zona de baixas concentrações (ZB) na sondagem FAR4 e respectivos FE	128
4.5	Concentração de alumínio e metais (médias), na zona de elevadas concentrações (0-10cm e 10-30cm) e zona de baixas concentrações (ZB) na sondagem FAR4 e respectivos FE	129
4.6	Concentração de LOI e metais (médias), na zona de elevadas concentrações (ZA) e zona de baixas concentrações (ZB) na sondagem FAR4 e respectivos FE	130
4.7	Concentração de LOI e metais (médias), na zona de elevadas concentrações (0-10cm e 10-30cm) e zona de baixas concentrações (ZB) na sondagem FAR4 e respectivos FE	130
4.8	Factores de enriquecimento (FE) na zona de elevadas concentrações (0-10cm e 10-30cm) e zona de baixas concentrações (ZB) na sondagem FAR4	131
4.9	Concentrações de metais pesados em sedimentos do estuário do Sado	136
4.10	Teores (mg/kg) em metais pesados no estuário do Sado e no rio Sado	137
4.11	Teores (mg/kg) em metais pesados nas ribeiras que drenam áreas mineiras	137
4.12	Elementos de traço constituintes de alguns minerais comuns	139
4.13	Descargas anuais do rio Sado para o estuário no ano hidrológico de 1987/1988 ..	141
4.14	Descargas anuais no estuário do Sado dos efluentes industriais e urbanos	142
4.15	Prováveis fontes de metais pesados no estuário do Sado	143
4.16	Concentrações de metais pesados em sedimentos de outros estuários	147
4.17	Concentrações de metais pesados em sedimentos/solos – valores de referência ...	148

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Motivações e objectivo

O incremento da ocupação da faixa costeira, zona extremamente vulnerável às mudanças climáticas, intensifica o conflito de interesses entre as actividades humanas e a preservação da biodiversidade e da mobilidade natural dos ecossistemas costeiros.

As Zonas Húmidas costeiras, como os estuários e os sapais, revestem-se de uma importância extrema, espelhando bem as duas faces deste problema.

Por um lado, as características peculiares que exibem (de acessibilidade, de abrigo, elevada produtividade agrícola nas suas margens e recursos marinhos abundantes), fundamentaram o desenvolvimento sócio-económico das civilizações humanas que se estabeleceram nas suas margens. Por outro, o aumento da intensidade da sua utilização, consequência da industrialização, do turismo e da expansão demográfica, conduziu à destruição e degradação destes ecossistemas, pondo em causa as importantes funções naturais por eles desempenhadas.

A tomada de consciência do impacte negativo das actividades humanas sobre os estuários e sapais na segunda metade do século XX, teve como principal objectivo a preservação destes ecossistemas, através da sua classificação como Reservas Naturais. Embora a qualificação destas zonas se faça acompanhar de legislação, há ainda muito a fazer, quer através de uma política correcta de gestão integrada dos recursos naturais e de um ordenamento do território adequado, quer na formação de cidadãos conscientes da sua responsabilidade na preservação do património natural.

Se no actual contexto dos programas de Geologia do ensino secundário, os alunos são convidados a reflectir sobre a problemática decorrente do conflito de interesses entre o desenvolvimento sócio-económico e a preservação do ambiente, numa perspectiva de desenvolvimento sustentável, é certamente mais produtiva uma abordagem direccionada a ecossistemas próximos da área envolvente da escola, onde tenham oportunidade de concretizar problemas e com os quais se sintam mais envolvidos, na procura e divulgação de informação, assim como em acções de sensibilização dos co-cidadãos.

Para além da contribuição para a caracterização geoambiental dos sapais estuarinos, concretizada no Sapal do Faralhão (Estuário do Sado), numa abordagem mais científica e no Sapal de Corroios (Estuário do Tejo), numa abordagem mais pedagógica, esta dissertação tem como objectivo central a sensibilização dos docentes para a necessidade de, junto dos mais jovens, promover motivações que conduzam a comportamentos e tomada de medidas que contribuam para a preservação do ambiente que nos rodeia.

Organização da dissertação

Esta dissertação, apresentada em duas partes (I e II), contempla na primeira um estudo de carácter científico aplicado ao sapal do Faralhão e na segunda, uma abordagem pedagógica do sapal de Corroios, dirigida a alunos do ensino secundário.

Relativamente à parte I, no capítulo 1 apresenta-se uma caracterização geral dos ecossistemas de estuário e sapal, clarificando definições e classificações, assim como uma abordagem às problemáticas que envolvem estas zonas húmidas, nomeadamente a consciencialização da sua relevância ecológica e a consequente necessidade da sua preservação.

No capítulo 2, o enquadramento da área estudada (sapal do Faralhão) é intencionalmente abrangente, englobando não só as características físicas da bacia hidrográfica e estuário, mas também uma breve incursão aos principais problemas ambientais previamente diagnosticados no estuário do Sado.

No capítulo 3, faz-se uma necessária identificação dos métodos de análise utilizados, sendo a sua descrição efectuada apenas quando não são utilizados protocolos expressos em normas oficiais. No caso da datação isotópica dos sedimentos, é apresentada apenas uma abordagem teórica dos princípios do método, uma vez que os procedimentos não foram acompanhados pela candidata.

A caracterização geoambiental do sapal do Faralhão apresentada no capítulo 4, engloba uma abordagem geral às características deste sapal, a posição da sondagem relativamente aos níveis de referência das marés e domínios de sapal e uma avaliação da variação vertical dos parâmetros sedimentológicos e geoquímicos analisados. Neste capítulo, destaca-se a determinação dos factores de enriquecimento para os metais pesados analisados (numa aproximação à determinação da contribuição antrópica a partir do sinal geoquímico identificado em profundidade), assim como a comparação das concentrações encontradas com

as de outros estudos no estuário do Sado e em outros estuários, para além da comparação com valores de referência. Por fim, a datação dos sedimentos com recurso a isótopos radioactivos, visa extrapolar taxas de sedimentação e datar o início do incremento das concentrações em metais pesados, servindo como suporte à identificação das origens antrópicas destes contaminantes.

Na parte II, apresenta-se no capítulo 1 o enquadramento do projecto proposto, contextualizando-o relativamente às temáticas abordadas nos programas de Geologia do ensino secundário e às orientações pedagógicas gerais apontadas pelo Ministério da Educação.

O papel da educação ambiental na escola é abordado no capítulo 2, com o objectivo maior de reconhecimento da educação como instrumento decisivo de mudança social e da tomada de consciência da necessidade de um investimento mais reforçado junto dos mais jovens.

No capítulo 3 são enumeradas as finalidades que presidiram à elaboração do projecto de trabalho a propor aos alunos (assim como os meios para as alcançar), contempladas na sua maioria nos objectivos estabelecidos pelo Ministério da Educação, quer ao nível dos objectivos específicos dos programas de Geologia, quer ao nível dos conteúdos procedimentais e atitudinais a adquirir no ensino secundário.

A situação de aplicação do projecto de trabalho é definida no capítulo 4, onde se apontam propostas para a sua consecução.

Por fim, no capítulo 5, são introduzidos os instrumentos didácticos construídos como apoios a utilizar, por alunos e professores, na concretização do projecto de trabalho, tais como: o guião de campo (impresso e versão multimédia), o guião laboratorial (impresso, folhas de cálculo e versão interactiva) e guião de interpretação de resultados.

PARTE I

CASO DE ESTUDO SAPAL DO FARALHÃO – ESTUÁRIO DO SADO

1. ZONAS HÚMIDAS – ESTUÁRIOS E SAPAIS

1.1. Zonas Húmidas

As Zonas Húmidas são ecossistemas de transição entre os ambientes aquáticos e terrestres, encontrando-se entre os mais produtivos do mundo e revelando um conjunto de funções e valores insubstituíveis a nível regional e global.

Em geral, reconhecem-se cinco sistemas principais de Zonas Húmidas (Farinha *et al.*, 2001): marinho (costas rochosas, bancos de areia, recifes de coral e águas pouco profundas); estuarino (estuários, deltas, sapais, bancos de vasa e mangais); lacustre (lagos e lagoas); fluvial (associado a rios e ribeiras) e palustre (pauis, turfeiras e pântanos). Para além do vasto leque de Zonas Húmidas naturais, consideram-se ainda as Zonas Húmidas artificiais, representadas principalmente pelos tanques de piscicultura, salinas e albufeiras.

De modo a abranger todas as Zonas Húmidas identificadas, a Convenção sobre as Zonas Húmidas de Ramsar em 1971 adoptou uma definição bastante ampla (The Ramsar Convention on Wetlands, 2006): “Áreas de sapal, paul, turfeira ou água, sejam naturais ou artificiais, permanentes ou temporários, com água que está estagnada ou corrente, doce, salobra ou salgada, incluindo áreas marinhas cuja profundidade na maré baixa não exceda os seis metros”. Depois de revista, a definição é ainda mais ampliada, podendo ainda incluir: “(...) zonas ribeirinhas ou costeiras a ela adjacentes, assim como ilhéus ou massas de água marinha com uma profundidade superior a seis metros em maré baixa, integradas dentro dos limites de zona húmida”, englobando todos os ambientes aquáticos do interior e a zona costeira marinha (Farinha *et al.*, 2001).

As Zonas Húmidas naturais são sistemas complexos, com características únicas, que apresentam uma gama de condições atractivas, condições essas que fundamentaram o desenvolvimento sócio-económico das civilizações humanas desde a antiguidade (pesca, caça, pastagem, agricultura). Contudo, com o aumento da intensidade da sua utilização, consequência da industrialização, do turismo e da expansão demográfica, as Zonas Húmidas incluem-se hoje entre os ecossistemas mais vulneráveis e ameaçados (Farinha *et al.*, 2001). Estes ambientes foram até hoje considerados apenas como fonte de água ou como terreno baldio propício à construção e à descarga de efluentes domésticos, agrícolas e industriais, tendo esta atitude conduzido à destruição e degradação destes sistemas. Outras formas de

perturbação das Zonas Húmidas estão relacionadas com o seu uso para actividades recreativas (desportos náuticos, pesca e caça); à drenagem de grandes áreas para implantação de campos de golfe, marinas e urbanizações turísticas; às alterações no regime hídrico devido a obras realizadas nas bacias hidrográficas (barragens e canais); à desflorestação das margens; à contaminação de águas e solos e à sobreexploração de recursos (Farinha & Trindade, 1994).

Depois de grandes áreas terem sido drenadas para os mais variados fins, restam actualmente, a nível mundial, cerca de 900 milhões de hectares, correspondendo a 2% da superfície total dos continentes (Cruz, 1988 *in* Farinha & Trindade, 1994), que urge preservar.

As Zonas Húmidas representam um dos ecossistemas mais produtivos da biosfera, com uma produtividade primária elevada, constituindo a base da cadeia alimentar de numerosas espécies de moluscos, crustáceos, peixes, anfíbios, répteis, aves e mamíferos. Apresentam ainda condições privilegiadas para alimentação, repouso, abrigo, reprodução e invernada para várias espécies de aves migradoras (Farinha & Trindade, 1994).

A importância das Zonas Húmidas decorre assim de um conjunto de valores a preservar, destacando-se o facto de representarem um reservatório de biodiversidade; oferecerem uma beleza natural e diversidade biológica raras, potenciando actividades turísticas e pedagógicas; proporcionarem ao Homem uma vasta gama de produtos alimentares e representarem frequentemente zonas com valor cultural (religioso, histórico e arqueológico) (Farinha *et al.*, 2001).

Das funções desempenhadas pelas Zonas Húmidas, Farinha *et al.* (2001) destacam: o controlo das inundações, pela retenção e armazenamento de água nos solos, lagos e pauis; a manutenção dos níveis freáticos nos aquíferos; a estabilização da linha da costa e protecção contra tempestades, diminuindo o impacto da acção dos ventos e ondas e promovendo a retenção de sedimentos; a retenção de nutrientes e purificação da água, funcionando como zonas filtradoras de compostos orgânicos e inorgânicos, muitos deles utilizados pela vegetação residente; a mitigação de alterações climáticas, contribuindo na gestão dos gases que provocam o efeito estufa e na protecção física contra os impactos destas alterações.

Decorrente da consciencialização do importante papel destes ecossistemas e da urgência em estabelecer limites à sua degradação, promovendo um desenvolvimento sustentável destas áreas, nasce na década de 60 um movimento de vários países que culmina, em 1971, com a formalização de um tratado inter-governamental – Convenção sobre Zonas Húmidas – na cidade de Ramsar. Actualmente, a Convenção inclui 150 partes contratantes, das quais Portugal faz parte, com dezassete sítios classificados (figura 1.1), com uma área

total de 66096 hectares. A partir de 1981 (entrada em vigor da Convenção no nosso país), o governo português assumiu obrigações tais como: incluir sítios na lista de Zonas Húmidas de Importância Internacional; promover o uso sustentável das Zonas Húmidas; classificar Zonas Húmidas como Reservas Naturais e promover acções de formação; fomentar a cooperação internacional no que se refere a sistemas naturais ou espécies partilhadas (The Ramsar Convention on Wetlands, 2006).

A lista de Zonas Húmidas de Importância Internacional (lista de sítios Ramsar) tem como objectivo principal contribuir para a manutenção de uma rede protegida de Zonas Húmidas em todo o mundo, através da implementação de medidas de gestão adequadas, que promovam a sua utilização sustentável.



Figura 1.1 – Sítios Ramsar de Portugal (*in*, ICN 2006).

1.2. Estuários

1.2.1. Definição

Os estuários são Zonas Húmidas costeiras, que fazem a transição entre o ambiente marinho e fluvial, constituindo ecossistemas dinâmicos, onde ocorre o transporte de massas de água e sedimentos, quer em direcção a terra, quer em direcção ao mar.

Etimologicamente, o termo estuário deriva do latim *aestus*, que significa “de maré”. Este termo deverá então ser aplicado a zonas costeiras nas quais a maré tenha um significado especial.

Segundo Cameron & Pritchard (1963, *in* Perillo, 1995), um estuário é “um corpo aquoso costeiro semi-fechado, tendo uma ligação livre com o oceano e no qual a água do mar é mensuravelmente diluída com a água doce proveniente da drenagem terrestre”.

Uma definição mais abrangente é dada por Day (1980, *in* Perillo, 1995), que considera um estuário como “um corpo aquoso costeiro semi-fechado, que está permanente ou periodicamente aberto ao oceano e no qual há uma variação de salinidade mensurável, devido à mistura da água salgada com a água doce proveniente da drenagem terrestre”.

Embora qualquer destas definições seja amplamente utilizada, não consideram explicitamente as marés, uma das características mais marcantes dos estuários e que representa a principal fonte de energia para o processo de mistura das águas, circulação e deposição de sedimentos transportados pelos rios. Para além desta “lacuna” e segundo Perillo (1995), a palavra “mensurável” induz um acto de medição da salinidade, o que não é imperativo para a classificação de um ambiente como estuário e é vaga, não apresentando valores ou critérios de precisão.

Perillo (1995) propõe uma classificação mais precisa e ao mesmo tempo abrangente, que inclui elementos novos, embora tenha como base as anteriores, ficando implícita a referência à influência da maré salina. Segundo este autor, um estuário deve ser definido como “um corpo aquoso costeiro semi-fechado, que se estende até ao limite efectivo da influência da maré, no qual a água do mar penetra livremente por uma ou mais ligações com o oceano, ou com outro corpo aquoso costeiro, ocorrendo diluição significativa com a água doce proveniente da drenagem terrestre e que sustenta espécies eurihalinas durante uma parte ou a totalidade do seu ciclo de vida”.

1.2.2. Classificação

Existem inúmeras classificações de estuários, que diferem umas das outras pelos critérios considerados. Assim, os estuários têm sido classificados de acordo com a morfologia, com a dinâmica da circulação das águas e distribuição de salinidade ou quanto à amplitude das marés. Embora os parâmetros considerados em cada classificação, tenham como objectivo englobar os estuários estudados em diferentes categorias, pela complexidade exibida por estes ecossistemas, nem sempre é possível. Deste modo, e considerando as várias classificações seleccionadas neste trabalho, existem estuários que exibem características de mais do que uma das categorias apresentadas em cada classificação.

De acordo com a morfodinâmica, Davis & FitzGerald (2004) retomam a classificação de Dalrymple *et al.* (1992, *in* Perillo, 1995):

Estuários dominados pelas marés – Apresentam geralmente uma configuração em forma de funil e as correntes de maré exercem uma forte influência na maior parte do estuário. São típicos de zonas costeiras caracterizadas por grandes amplitudes de maré e fraca agitação marítima, embora na ausência de actividade das ondas, uma costa microtidal seja suficiente para originar uma dominância das marés. Como consequência da grande influência das marés, estes estuários tendem a ser totalmente misturados.

Estuários dominados pelas ondas – As ondas e as correntes geradas dominam relativamente aos processos tidais. Como consequência, forma-se uma barreira ao longo da boca do estuário que, apesar de dificultar o fluxo das marés, permite a entrada de água do mar suficiente para originar condições salobras. Devido à perturbação do fluxo tidal pela formação da barreira, estes estuários tendem a ser parcialmente misturados.

De acordo com a amplitude das marés, Hayes (1975, *in* Perillo, 1995) e Nichols & Biggs (1985) define três tipos de estuários:

Microtidal – Típicos de zonas costeiras em que a amplitude média anual das marés de águas vivas não excede os 2 metros e onde há uma nítida influência da actividade das ondas. Esta categoria corresponde, em geral, aos estuários dominados pelas ondas.

Mesotidal – Correspondem ao tipo mais comum, com amplitudes de marés entre os 2 e os 4 metros, sendo a influência das marés superior à das ondas. Incluem-se nos estuários dominados por marés.

Macrotidal – Típicos de zonas costeiras dominadas por grandes amplitudes de marés (superior a 4 metros) e incluem-se também na segunda categoria de Dalrymple *et al.* (1992 *in* Perillo, 1995).

Na classificação genética e geomorfológica de Pritchard (1960, *in* Perillo, 1995) são consideradas quatro categorias:

Estuários de barreira – Esta definição coincide com a de laguna costeira parcialmente fechada. Estes estuários estão instalados no troço final de um vale fluvial, em zonas costeiras de baixo relevo, onde a descarga fluvial é pouco relevante e a amplitude de maré é baixa (micro a mesotidal). Como consequência da dominância dos processos costeiros, o transporte litoral dos sedimentos conduz à construção de uma barreira, que condiciona a comunicação do corpo aquoso com o mar aberto. Com profundidades médias baixas, nas suas margens interiores são comuns os rasos de maré e os sapais.

Vales inundados – Esta categoria corresponde aos estuários formados por inundação holocénica dos vales fluviais e representa a maioria dos estuários mundiais. Apresentam em regra uma forma em funil, com uma larga abertura para o oceano e a sua secção transversal revela um vale em forma de V, mais ou menos aberto, conforme o tipo de costa. Estes estuários apresentam profundidades médias superiores aos estuários de barreira e são por vezes designados rias.

Fiordes – Os fiordes correspondem aos estuários de latitudes elevadas, com origem relacionada com os glaciares do Plistocénico. Os vales fluviais onde se instalaram as línguas glaciárias, foram morfologicamente alterados e, no Holocénico, quando o glaciar retraiu e o mar avançou, estes vales em forma de U ficaram submersos, formando estuários. Embora apresentem morfologias diversas, consoante o tipo de linha de costa onde se inserem, apresentam na generalidade grandes profundidades e uma elevação mais ou menos proeminente próximo da embocadura, que corresponde aos depósitos da moreia frontal do glaciar que esteve na origem do vale.

Estuários com controlo tectónico - Nesta categoria, Pritchard (1960, *in* Perillo, 1995) inclui todos os estuários com génese relacionada com processos tectónicos.

Com base no padrão de circulação das águas e distribuição da salinidade, Pritchard (1952, *in* Davis & FitzGerald, 2004) reconhece três tipos de estuários:

Estratificados (ou em cunha salina) – Revelam uma separação completa entre as massas de água doce e salgada, apresentando um gradiente vertical de salinidade. Devido à menor densidade, a água doce desloca-se sobre a água salgada, na direcção do mar. Ocorrem

quando o fluxo fluvial é superior ao prisma de maré. Nestas condições, a água salgada escoar para montante por baixo da água doce, formando uma cunha salina, enquanto que na camada superior há um transporte de água doce para jusante.

Parcialmente misturados – Neste caso há uma maior influência da maré (maior amplitude) e uma influência menor do caudal fluvial. A energia introduzida pela maré é dissipada no estuário, provocando a mistura das águas das duas camadas numa zona de transição, com salinidade intermédia. Na camada superior há um aumento da salinidade e do transporte da água para jusante, o que provoca um aumento do transporte para montante, na camada inferior.

Totalmente misturados (verticalmente homogéneos) – Resultam da acção de fortes correntes de maré, ou da acção das ondas em estuários pouco profundos, originando uma mistura intensa, o que se reflecte numa coluna de água verticalmente homogeneizada. Há no entanto, um aumento de salinidade em direcção ao oceano (gradiente transversal).

A caracterização e classificação de um estuário, podem sofrer alterações ao longo do espaço e do tempo. Por exemplo, um estuário parcialmente misturado pode originar-se a partir de um estuário estratificado, quando os efeitos de maré forem suficientemente fortes para desorganizar a estratificação vertical, durante a maré-cheia. Por outro lado, um estuário pode apresentar-se estratificado a montante, onde predomina o caudal fluvial e, para jusante, onde o efeito das correntes de maré se fazem sentir mais, ocorrer uma mistura parcial. Os estuários podem assim mudar de um tipo para outro, como consequência de alterações na topografia do fundo e da boca do estuário, das variações sazonais no escoamento fluvial ou nas condições marítimas.

Para além das várias classificações apresentadas, é frequente o uso da divisão dos estuários em três sectores (Dionne, 1963, *in* Perillo, 1995), considerando a maior ou menor influência dos sistemas marinho e fluvial. Assim, o baixo estuário é a zona do estuário em comunicação com o mar aberto, com dominância marinha; o estuário médio diz respeito à zona intermédia onde há mistura intensa de água salgada e doce e o estuário superior, representa a zona mais interna, com dominância fluvial mas sujeito à influência diária da maré.

1.2.3. A evolução dos estuários actuais

Os estuários são locais privilegiados de acumulação de sedimentos, provenientes da bacia hidrográfica do(s) rio(s) que neles desagua(m) e da plataforma continental, trazidos pelas correntes de maré e pelas ondas, conduzindo ao seu preenchimento. Esta característica dos estuários limita a sua existência, podendo considerar-se que, à escala geológica, são estruturas efémeras.

Na actualidade, os estuários são um traço muito comum nas zonas costeiras de quase todo o mundo, encontrando-se, no entanto, melhor desenvolvidos nas planícies costeiras das regiões subtropicais e temperadas, sujeitas a submersão causada, em parte, pela elevação do nível médio do mar (NMM).

A grande diversidade de estuários existentes depende das características climatológicas, geográficas, geológicas e hidrológicas locais, mas a sua evolução no futuro está dependente da subida do nível do mar e do acarreo de sedimentos (Perillo, 1995).

A origem dos estuários actuais está relacionada com a subida relativa do nível do mar que se iniciou há 18000 anos, estando a linha de costa nessa altura 100 a 130 metros abaixo da sua actual posição (Nichols & Biggs, 1985; Davis & FitzGerald, 2004). A linha de costa posicionava-se próximo do actual limite da plataforma continental e os estuários estavam confinados a profundos vales fluviais, no bordo da plataforma (Perillo, 1995).

O período frio e regressivo é substituído por aquecimento climático generalizado e marcada transgressão, assinalando a passagem do Plistocénico para o Holocénico (Dias *et al.*, 1997). O aumento da temperatura atmosférica conduziu assim a uma subida global e rápida do NMM. A transgressão holocénica teve como consequência, a inundação dos vales fluviais mais ou menos encaixados e a sua transformação em ambientes estuarinos (Cruces *et al.*, 1999). A elevação rápida do nível médio do mar na primeira metade do Holocénico, criou as condições fundamentais para a formação dos actuais estuários, permitindo um balanço positivo da inundação relativamente à colmatção. Os estuários atingiram a sua máxima expressão em área ocupada entre os 6000-5000 BP (Henriques *et al.*, 2002), no máximo da transgressão holocénica.

Na segunda metade do Holocénico (5500-5000 BP à actualidade) verificou-se uma desaceleração da taxa de elevação do NMM, permitindo a estabilização na posição dos estuários que, na primeira metade do Holocénico tinham recuado com a linha de costa. O

abrandamento da transgressão permitiu a reorganização do sistema fluvial e a renovação da sua capacidade transportadora, disponibilizando grande quantidade de sedimentos para o litoral, conduzindo à formação de praias e cordões arenosos que, em muitos casos em Portugal, levaram ao isolamento de estuários, transformando-os em lagunas (Henriques *et al.*, 2002).

Actualmente, decorre uma fase marcadamente de eustatismo positivo, induzida quer pela elevação do NMM, quer pelas consequências das actividades antrópicas nas bacias hidrográficas e no litoral. Simultaneamente ocorre um assoreamento dos estuários, para o qual concorrem factores como: a) intervenções nas bacias drenantes, como desflorestações, agricultura e movimentação de terras, conduzindo a um aumento do caudal sólido dos rios, cedendo essencialmente sedimentos finos para os estuários; b) as dragagens estuarinas, ressuspensão grandes quantidades de materiais finos que se depositam nas áreas não intervencionadas; c) a subida do NMM, que conduz à procura do equilíbrio com o novo nível de base (Dias *et al.*, 1997). Por outro lado, o confinamento dos estuários por barreiras arenosas, aliado ao fraco caudal exibido por alguns rios (caso do rio Sado), também concorre para o assoreamento do corpo estuarino, uma vez que o rio não tem capacidade para exportar a carga sólida para o oceano, ficando esta retida no estuário. Por seu turno, e como consequência da existência de uma barreira que confina a comunicação com o mar aberto, a velocidade da enchente pode ser maior que a da vazante, propiciando um transporte mais significativo de materiais para o interior do estuário, do que em sentido contrário, convergindo no sentido do assoreamento.

1.2.4. Os estuários e o Homem

Desde os tempos históricos mais remotos que os estuários atraem populações, que se fixam nas suas margens, dedicando-se primeiro à agricultura e pescas e, mais recentemente, à indústria, comércio e turismo. As zonas envolventes aos estuários representam pólos de desenvolvimento e concentração de actividades humanas, oferecendo diversos benefícios:

- boa localização para a implantação de portos, proporcionando bons abrigos naturais e vias privilegiadas de acesso para o interior;
- abundância de água disponível para abastecimento doméstico, agrícola e industrial;
- recursos marinhos abundantes (peixes, moluscos e crustáceos);
- produtividade agrícola intensa nas suas margens;
- boas áreas para a prática de actividades de recreio;

- locais de eleição para a implantação de indústrias, pela facilidade de escoamento dos produtos e vasta área para descargas de efluentes.

A fixação urbana e industrial originam descargas vultosas de efluentes para os estuários, por vezes sem qualquer tratamento prévio, introduzindo no meio grandes quantidades de compostos orgânicos e inorgânicos, que conduzem à deterioração gradual das condições naturais. Devido às características hidrodinâmicas do meio, os poluentes permanecem no estuário mais tempo que no rio e em concentrações superiores às do oceano, agravando desta forma o impacte ambiental das actividades antrópicas, afectando negativamente os recursos marinhos e, conseqüentemente, a qualidade de vida das populações limítrofes.

A utilização dos solos marginais aos estuários para actividades agrícolas, constitui nas últimas décadas um factor de agressão à qualidade do meio, pela utilização abusiva de pesticidas, que se acumulam posteriormente nos sedimentos do estuário.

Para além da degradação da qualidade das águas, causada pela poluição urbana e industrial, as comunidades aquáticas são ainda fortemente ameaçadas pelo aumento desmedido (e muitas vezes ilegal) da sua procura, conduzindo a uma sobreexploração dos recursos estuarinos, que tem como consequência nefasta a diminuição da produtividade do ecossistema e a perda da função de “berçário” para muitas espécies animais.

Com objectivo de melhorar as condições de navegação, instalação de áreas portuárias e urbanas, controlo de cheias e abastecimento de água a zonas agrícolas a montante dos estuários, são realizadas obras que modificam a sua morfologia, tais como: dragagem de canais, que favoreçam a navegação; construção de esporões; construção de barragens e diques; obras de estabilização da embocadura ou abertura de nova embocadura. Todas estas obras, muitas vezes realizadas sem o conhecimento da evolução geomorfológica da região e das suas características hidrodinâmicas, conduzem a alterações no equilíbrio dinâmico dos estuários, podendo ter consequências várias, tais como: 1) a penetração da cunha salina para montante (salinizando solos agrícolas e aquíferos); 2) modificação do regime de maré; 3) aumento da incidência de processos erosivos devido à diminuição do acarreio de sedimentos retidos nas barragens ou 4) diminuição da profundidade dos estuários, provocada pelo aumento do volume de sedimentos devido à desflorestação das margens (terras reclamadas para agricultura, áreas industriais e urbanas).

A tomada de consciência do impacte negativo das actividades humanas sobre os estuários (e as zonas húmidas de uma forma geral) na segunda metade do século XX, teve

como principal consequência a preservação destes ecossistemas através da sua classificação como Reservas Naturais e da elaboração de legislação que acompanhou essa qualificação. Havendo ainda muito a fazer, fundamentalmente deve-se procurar diminuir a degradação ambiental através de uma política correcta de gestão integrada dos recursos naturais e de um ordenamento do território adequado. Deve-se também procurar perspectivar soluções globais, preventivas e de longo prazo, ao contrário de medidas curativas pontuais.

1.3. Sapais

1.3.1. Definição

Os sapais podem ser definidos, de uma forma geral, como ambientes que ocupam o domínio altimétrico intertidal superior, com um substrato geralmente lodoso, coberto por vegetação halófitas (Allen & Pye, 1992, *in* Luternauer, 1995), constituindo zonas húmidas costeiras.

Correspondem a ambientes de transição, que ocorrem em litorais abertos ou abrigados, caracterizados por condições hidrodinâmicas de baixa energia, sendo limitados superiormente pelo nível médio de preia-mar de águas vivas e inferiormente pelo nível médio da preia-mar de águas mortas.

Encontram-se ao longo do litoral da maioria dos continentes, especialmente desenvolvidos a norte do paralelo 30°N e a sul do paralelo 30°S, em regiões temperadas e sub-polares (Dias & Marques, 1999), sendo substituídos por mangais nas regiões tropicais (Pethick, 1991).

1.3.2. Classificação

Sendo os sapais ambientes de transição, as condições ecológicas variam drasticamente entre o ambiente marinho e o tipicamente terrestre. Desta forma, é comum estabelecer-se uma sucessão de plantas, em consequência da variação de vários factores, tais como: salinidade, pH, temperatura, hidrodinamismo, duração da imersão causada pelas flutuações da maré e topografia, composição e dimensão do sedimento, etc (Frey & Basan, 1985).

De acordo com a distribuição das plantas que colonizam o sapal, em função da cota da superfície onde se fixam, é comum fazer a distinção entre alto e baixo sapal.

O baixo sapal ocupa a região mais baixa do domínio altimétrico passível de ser ocupado por vegetação halófitas, ocupando uma posição periférica em relação à restante mancha de sapal, aproximadamente entre o nível médio de preia-mar de águas mortas e o nível médio de preia-mar (Davis & FitzGerald, 2004) (figura 1.2).

Ocupando uma posição topograficamente mais baixa, é mais afectado pelas condições estuarinas adjacentes, caracterizando-se por um grau de salinidade maior e inundações mais frequentes e mais prolongadas, com mais de 360 imersões anuais (Frey & Basan, 1985) e com um período de submersão que varia entre 10 a 11 horas por dia, em águas vivas, e 7 a 11 horas por dia, durante as águas mortas (Moreira, 1987). Os sedimentos são essencialmente constituídos por materiais finos e a taxa de sedimentação é superior àquela que se verifica no alto sapal.

O coberto vegetal neste sector é dominado exclusivamente ou quase exclusivamente por *Spartina* sp. (Andrade, 1990), gramínea adaptada a substratos lodosos saturados. Incluem-se neste domínio as manchas pioneiras da orla exterior do sapal, que se desenvolvem um pouco abaixo do nível mínimo da preia-mar de águas mortas, em que *Spartina* sp. atinge um elevado índice de cobertura do solo, no limite com os rasos de maré, que alguns autores classificam como sapal pioneiro ou baixo sapal incipiente.

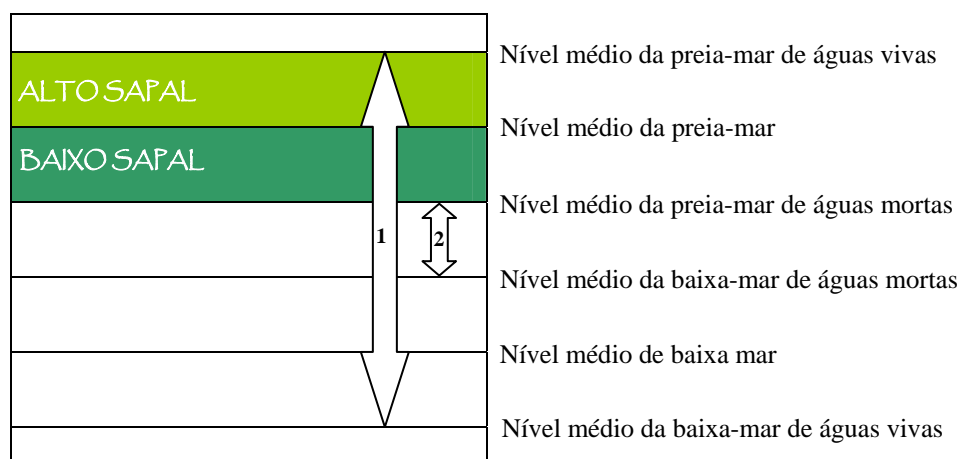


Figura 1.2 - Níveis de referência das marés e posição dos domínios de sapal.

1 – Amplitude das marés vivas; 2 – Amplitude das marés mortas

(adapt.de Davies & FitzGerald, 2004)

O alto sapal corresponde ao domínio intertidal superior, limitado pelo nível médio de preia-mar e de preia-mar de águas vivas (figura 1.2). Apresenta uma maior diversidade florística, relativamente ao baixo sapal, com uma vegetação arbustiva ou arbustivo-arbórea,

com menos de um metro de altura (Moreira, 1987) que cobre quase totalmente os solos das plataformas de preia-mar de águas vivas. É essencialmente constituído por quenopodiáceas, tal como a *Salicornia* sp., que ficam emersas durante a preia-mar de águas mortas, mas que suportam períodos de submersão de 10 horas diárias durante a preia-mar de águas vivas.

Este domínio superior do sapal apresenta uma morfologia mais complexa e é cortado por canais de maré mais entalhados e de secção mais reduzida, relativamente ao baixo sapal, dos quais dependem para a sua alimentação sedimentar. Aqui, aumenta o tempo de canalização da maré, diminuindo o tempo de imersão anual da superfície envolvente dos canais (Andrade, 1990), sendo por isso mais reduzidas as taxas de sedimentação esperadas para este domínio de sapal.

Como consequência do estabelecimento da sucessão de plantas, da acumulação de sedimentos e da expansão do sapal, umas zonas do sapal são mais maduras (ou mais velhas) e outras mais jovens. Assim, os sapais podem ser classificados relativamente à sua maturidade, num esquema de maturação, cujo produto final hipotético corresponde ao enchimento total da zona intertidal, assumindo que o nível do mar se mantém estável por um longo período de tempo (Davis & FitzGerald, 2004). Devido ao elevado dinamismo das zonas costeiras, é pouco provável que ocorram períodos de estabilidade suficientemente longos para se atingir este estado final de maturidade, podendo, no entanto, classificar-se um sapal como jovem, se a maior parte da sua área for ocupada por baixo sapal e como maturo, se for constituído essencialmente por alto sapal. No entanto, a distribuição das manchas de alto e baixo sapal é influenciada pela dimensão da área que é sujeita a inundações regulares, sendo esta condição o resultado da topografia, do alcance da maré, da duração dos processos sedimentares e da estabilidade da zona costeira (Frey & Basan, 1985).

De uma forma geral, as zonas de sapal representam uma sucessão sedimentar, desde as zonas mais periféricas do baixo sapal, até à zona topograficamente mais elevada do alto sapal, dominada por condições quase terrestres, resultado de continuada acreção vertical e horizontal.

1.3.3. Características dos sapais

Os sapais representam zonas onde se dá a transição entre ecossistemas terrestres e marinhos, sendo as suas características influenciadas pelo grau de protecção da acção das ondas, pelo regime de marés, pela topografia da área em que se inserem, pelo fluxo de

sedimentos que recebem e finalmente, pela subida do nível médio das águas do mar (Davis & FitzGerald, 2004).

Correspondem a ambientes de fraco hidrodinamismo que se encontram sob a influência das marés, apresentando uma superfície rasa e quase horizontal, situada acima do nível médio do mar, sendo por isso inundados preferencialmente em ciclos de marés vivas.

A superfície do sapal é cortada por canais de maré meandrizados, que representam formas remanescentes do crescimento lateral e vertical dos bancos de vasa que os confinam, assemelhando-se a uma paisagem fluvial.

Nestes ambientes, implantados na zona intertidal, a introdução e dispersão dos sedimentos é fortemente influenciada pela energia das marés, que permite também a manutenção da rede de drenagem do sapal. Os sedimentos, essencialmente finos, introduzidos nestes ambientes, podem ter várias origens, de entre as quais se destacam: a) rio(s) que desagua(m) no estuário; b) sedimentos originados na plataforma continental carreados pelas ondas e correntes de maré; c) sedimentos derivados da erosão das margens do estuário; d) sedimentos transportados pelo vento e e) agregados orgânicos produzidos *in situ*. Devido às alterações climáticas sazonais, que fazem variar o caudal dos rios e a energia das correntes de maré, os sapais estão sujeitos a variações significativas no fornecimento sedimentar ao longo do ano, alterando o contributo relativo das várias fontes de sedimentos.

Os sedimentos que constituem os solos incipientes dos sapais são representados, essencialmente, por siltes e argilas, com matéria orgânica em quantidades significativas; são fracamente arejados e saturados. A abundância de minerais de argila, devido à sua grande capacidade de adsorção e troca catiónica, permite que nestes solos ocorra a retenção de grandes quantidades de nutrientes necessários às plantas que, por seu turno, irão contribuir largamente para o incremento de matéria orgânica no solo. Esta característica dos minerais de argila, permite que os sapais desempenhem um papel importante como depuradores, removendo iões metálicos tóxicos da água que circula no estuário, ficando estes aprisionados nos sedimentos do sapal. Este efeito de adsorção é ainda maior na matéria orgânica (Costa, 1999) o que, nestes ambientes, vem aumentar a sua capacidade de retenção de substâncias poluidoras, funcionando como verdadeiros repositórios de contaminantes.

Os índices de produtividade primária dos sapais são muito elevados, constituindo um dos mais ricos e produtivos ecossistemas da biosfera (figura 1.3), devido à abundância de nutrientes, elevada exposição solar e disponibilidade de água, chegando a atingir níveis superiores aos das explorações agrícolas artificializadas (Farinha & Andrade, 1994).

A intensa actividade fotossintética possibilita uma elevada produção de biomassa vegetal, constituindo a base da cadeia alimentar de numerosas espécies de animais. Para além de zonas de alimentação, os sapais apresentam condições privilegiadas para descanso, abrigo e reprodução de várias espécies de aves migradoras, funcionando também como berçário para várias espécies piscícolas, tornando-se por este facto, não só zonas preferenciais de pesca mas também suportes de repovoamento das zonas costeiras.

As plantas dos sapais são parte fundamental destes ecossistemas, pois representam um papel crucial nos processos sedimentológicos, geoquímicos e hidrodinâmicos nestes ambientes. Fortemente condicionadas pela salinidade do meio e pela inundação frequente, estas plantas halófitas apresentam um conjunto de adaptações específicas que lhes permite sobreviver e proliferar num biótopo com condições tão adversas. Assim, a sobrevivência destas plantas vasculares à submersão temporária e ao elevado teor salino, só é possível devido à redução da área foliar, ao desenvolvimento de órgãos subterrâneos com biomassa superior à parte aérea (Catarino & Caçador, 1981, *in* Moreira, 1987) e ao desenvolvimento de mecanismos osmorreguladores, tais como glândulas epidérmicas que excretam sal em excesso.

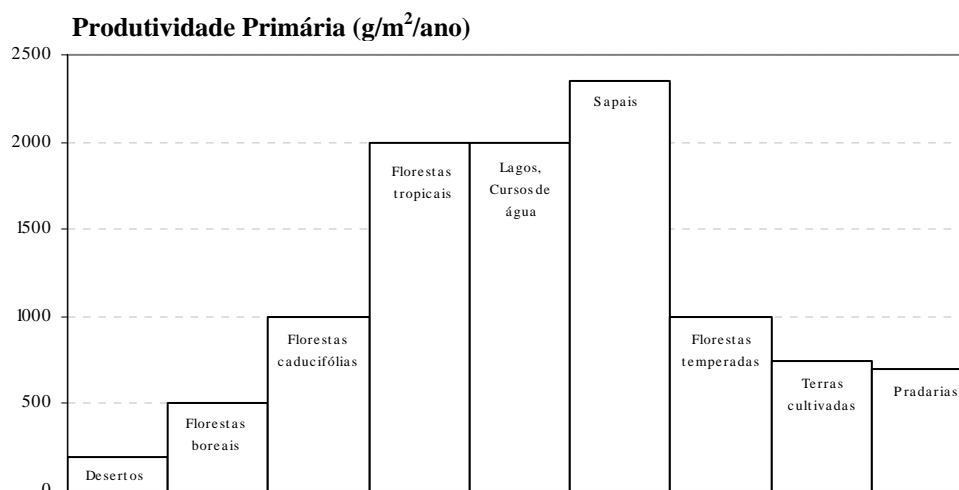


Figura 1.3 – Níveis de produtividade primária em vários ecossistemas (adapt. de Farinha & Trindade, 1994).

Apesar de figurarem entre os mais ricos e produtivos ecossistemas da biosfera, instalou-se a convicção errada e generalizada de se considerarem os sapais como zonas lodosas inúteis, infestadas de insectos e com odor desagradável. Esta atitude levou, durante séculos, à sua destruição através da descarga de efluentes, drenagem e secagem, com o falso

pretexto da sua rentabilização para os mais diversos fins (agricultura, pastagens, construções urbanas, industriais e turísticas, etc.). Desta forma, ocorreu nos últimos séculos uma drástica redução das áreas de sapal, pondo em risco a sobrevivência de inúmeras espécies animais e a própria dinâmica costeira.

1.3.4. Sedimentação nos sapais

A formação de ambientes de sapal está dependente das características do terreno e da existência de locais com fraco hidrodinamismo, proporcionando condições favoráveis à acumulação de sedimentos e colonização por vegetação. Por seu turno, a instalação pioneira de vegetação, promove ou acelera a taxa de sedimentação, devido ao aumento da rugosidade hidráulica do fundo, criação de uma barreira hidrodinâmica e estabelecimento de um filtro, que aprisiona os sedimentos, constituído pelo emaranhado de raízes e caules das plantas instaladas (Andrade, 1990).

Para além da vegetação, os animais filtradores que habitam o fundo das vasas dos sapais, também contribuem para a acumulação de sedimentos, ingerindo material em suspensão e excretando mais tarde agregados de argilas e material orgânico – palhetas fecais (Pryor, 1975, *in* Frey & Basan, 1985). Outros processos físico-químicos potenciados pelas plantas e por seres vivos planctónicos, têm certamente uma contribuição importante na sedimentação nestes ambientes, uma vez que, segundo Frey & Basan (1985), a decantação por si só, parece ser insuficiente para justificar as grandes espessuras dos depósitos de sedimentos finos observados na maioria dos sapais.

Deste modo, ocorre a elevação do substrato por acreção vertical, permitindo a colonização desses solos imaturos por outras plantas, aumentando assim a área de alto sapal à medida que ocorre o processo de maturação.

Por sua vez, o baixo sapal origina-se por elevação dos fundos do raso de maré, como resultado da acreção vertical, diminuindo o tempo de inundação da superfície e permitindo, a certa altura, a colonização de vegetação halófitas. Em cada ciclo de maré, a preia-mar contribui com uma pequena quantidade de sedimentos (especialmente argila em suspensão) para a elevação da superfície do raso de maré. Quando a maré está a encher, os sedimentos são transportados para terra e os mais finos, transportados em suspensão, começam a decantar assim que a velocidade da corrente da maré diminui abaixo do limiar da sedimentação (Postma, 1961, *in* Davis & FitzGerald, 2004; Dyer, 1995). A decantação não ocorre na vertical pois, devido à corrente de maré, os sedimentos continuam a ser arrastados,

depositando-se mais para o interior. Durante a vazante, os sedimentos podem ser remobilizados em direcção contrária, ficando no entanto aquém da posição de partida (*settling-lag*). Ocorre assim, um transporte preferencial dos sedimentos finos em direcção a terra, permitindo uma acreção vertical da secção superior dos rasos de maré, que evoluem assim para um sapal, uma vez que os fundos, agora a uma cota superior, oferecem condições à instalação de vegetação característica.

Uma vez estabelecida a vegetação nos solos incipientes do sapal, como já foi referido, esta funciona como um factor de promoção da acumulação de sedimentos, especialmente durante as preia-mares de águas vivas, altura em que aumenta o alcance das marés e a mobilização de sedimentos em suspensão. Na ocorrência de temporais ou cheias, o alcance das águas e o transporte de materiais finos é tal, que ocorre uma sedimentação elevada, soterrando a vegetação instalada no sapal. A cobertura vegetal regenera-se em níveis mais elevados, ocorrendo assim uma rápida sobrelevação da superfície do sapal.

Se, por um lado, em períodos de maior energia das correntes, aumenta a capacidade de erosão e redistribuição dos sedimentos, uma vez que mantêm grandes quantidades de argilas e siltes em suspensão, por outro, na estação seca ocorre um aumento de salinidade, promovendo a floculação e causando a deposição dos sedimentos finos (Ranwell, 1975; Frey & Basan, 1985). Desta forma, a sazonalidade do fluxo sedimentar é função do balanço entre os processos fluviais e marinhos que afectam os estuários e os sapais.

1.3.5. Os sapais e a subida do nível médio do mar

A importância dos sapais pode ser encarada sob duas perspectivas, aparentemente antagónicas: a do desenvolvimento sócio-económico da região e a conservacionista. Por um lado, os terrenos drenados e conquistados aos sapais têm um grande valor económico, uma vez que são altamente produtivos para a agricultura (para além da aquacultura e actividade salineira), tendo conduzido à fixação das populações nas zonas periféricas a estes ecossistemas, originando um intenso desenvolvimento da construção (urbana e industrial) e incremento das descargas de efluentes. Por outro lado, os sapais têm um enorme valor como sistemas naturais, um facto de que se tomou consciência apenas na segunda metade do século XX. A primeira perspectiva tem vindo a ser privilegiada, tendo conduzido à degradação ambiental destes ecossistemas, afectando negativamente os recursos marinhos e, conseqüentemente, a qualidade de vida das populações limítrofes.

Para além dos papéis vitais que os sapais desempenham do ponto de vista biológico, que já foram referidos, estes ambientes representam uma protecção costeira importante, funcionando como sistemas de absorção de energia das ondas durante temporais, protegendo desta forma, os valiosos investimentos agrícolas, industriais e urbanos que cresceram por trás deles. O crescimento demográfico nestas zonas intensifica assim o conflito de interesses entre as actividades humanas e a preservação da biodiversidade e a mobilidade e funcionamento destes ecossistemas (Andrade *et al.*, 2002), aumentando as preocupações relativas à possível perda destes ambientes com a subida do nível médio do mar (NMM).

Toda a superfície dos sapais se desenvolve-se a cotas inferiores ao nível de preia-mar de águas vivas, o que faz com que estes ambientes sejam muito vulneráveis a subidas do NMM, mesmo que pequenas. A estabilidade dos sapais depende assim, da taxa de acumulação, que tem de ser igual ou superior à subida do NMM, evitando o seu desaparecimento. O equilíbrio entre a elevação da superfície do sapal e a subida do NMM tem-se verificado, mas com o incremento dessa subida, o futuro destes ecossistemas poderá estar em risco.

Como consequência da subida do NMM, o nível médio de preia-mar deslocar-se-á para terra, para níveis superiores, o que conduzirá ao alargamento das áreas intertidais para o interior (Andrade *et al.*, 2002). Esta expansão na superfície dos sapais é, no entanto, acompanhada por erosão das suas margens, o que se traduz por uma migração do sapal para o interior (Pethick, 1991). Esta erosão é, por seu turno, motivada pela subida do NMM que, em zonas costeiras pouco profundas como os estuários, promove o aumento da amplitude das marés e o aumento da velocidade média das ondas (Dyer, 1995). Por outro lado, o aumento da turbulência decorrente destas modificações, promove a ressuspensão de sedimentos, que poderão ser incorporados na superfície do sapal, favorecendo a sua resistência à subida do NMM. No entanto, a existência de barreiras físicas decorrentes da implantação das populações na faixa costeira, podem impedir a mobilização dos sapais para o interior, conduzindo à perda destes ecossistemas, por submersão.

Embora a opinião generalizada no meio científico considere que a área de zonas húmidas convertida em mar aberto será superior à área agrícola transformada em zona húmida (Andrade *et al.*, 2002), a resposta de cada sapal dependerá do balanço entre a tendência para a expansão, devido ao aumento da amplitude da maré e a tendência para retroceder, devido ao aumento da energia das ondas, ambas consequência da subida do NMM.

2. ENQUADRAMENTO DA ÁREA EM ESTUDO

2.1. Enquadramento geográfico e geomorfológico

2.1.1. Bacia hidrográfica do Sado

A bacia hidrográfica do Sado (BHS), a maior bacia hidrográfica exclusivamente portuguesa, cobre uma superfície de cerca de 7690km² (Hidroprojecto, 1999-2003) e encontra-se delimitada pelas bacias do Tejo a N, do Mira a S, do Guadiana a W e pela faixa litoral a E (figura 2.1 A). Localizada entre os 37° 25'/38° 40' de latitude N e os 7° 40'/8°50' de longitude W, abrange os distritos de Setúbal, Évora e Beja (figura 2.1 B).

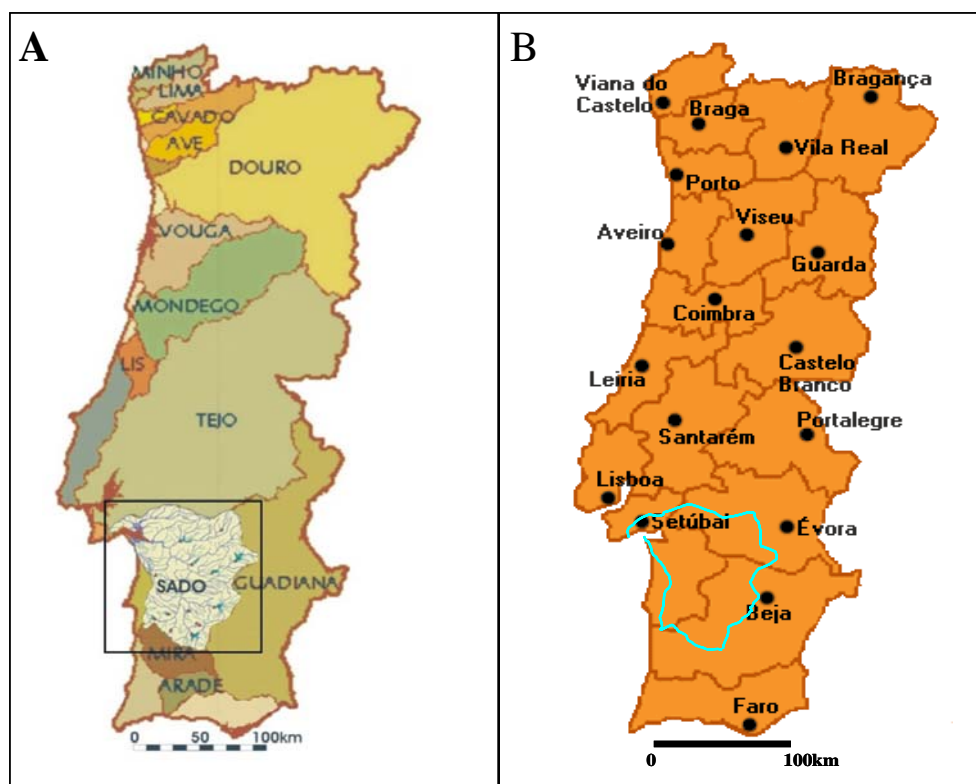


Figura 2.1 – Localização da bacia hidrográfica do Sado e fronteira com outras bacias hidrográficas (A); Distritos abrangidos pela bacia hidrográfica do Sado (B). (adapt. de Andrade *et al.*, 2004).

Com uma altitude média de 127m e altitudes mais frequentes entre os 50 e os 200m, a BHS corresponde a uma extensa planície onde sobressaem relevos litorais como a serra da Arrábida (501m), a serra de Grândola (326m) e a serra do Cercal (373m) e relevos interiores, como as serras da Vigia (393m) e de Portel (421m) (figura 2.2).

As altitudes compreendidas entre 0-50m correspondem essencialmente ao estuário do Sado e a grande parte do percurso do rio Sado (figura 2.2), onde se desenvolveram planícies aluviais. As altitudes entre 50-100m correspondem ao enchimento sedimentar cenozóico da bacia, rodeado pelos relevos da serra de Grândola a W, serra do Cercal a SW, pela Superfície do Baixo Alentejo a E e Superfície do Alto Alentejo a NE (Pimentel, 1997). As altitudes superiores a 200m correspondem às serras da Arrábida e de Grândola, retalhos da peneplanície alentejana a E, serra de Portel e planalto de Évora na região NW.

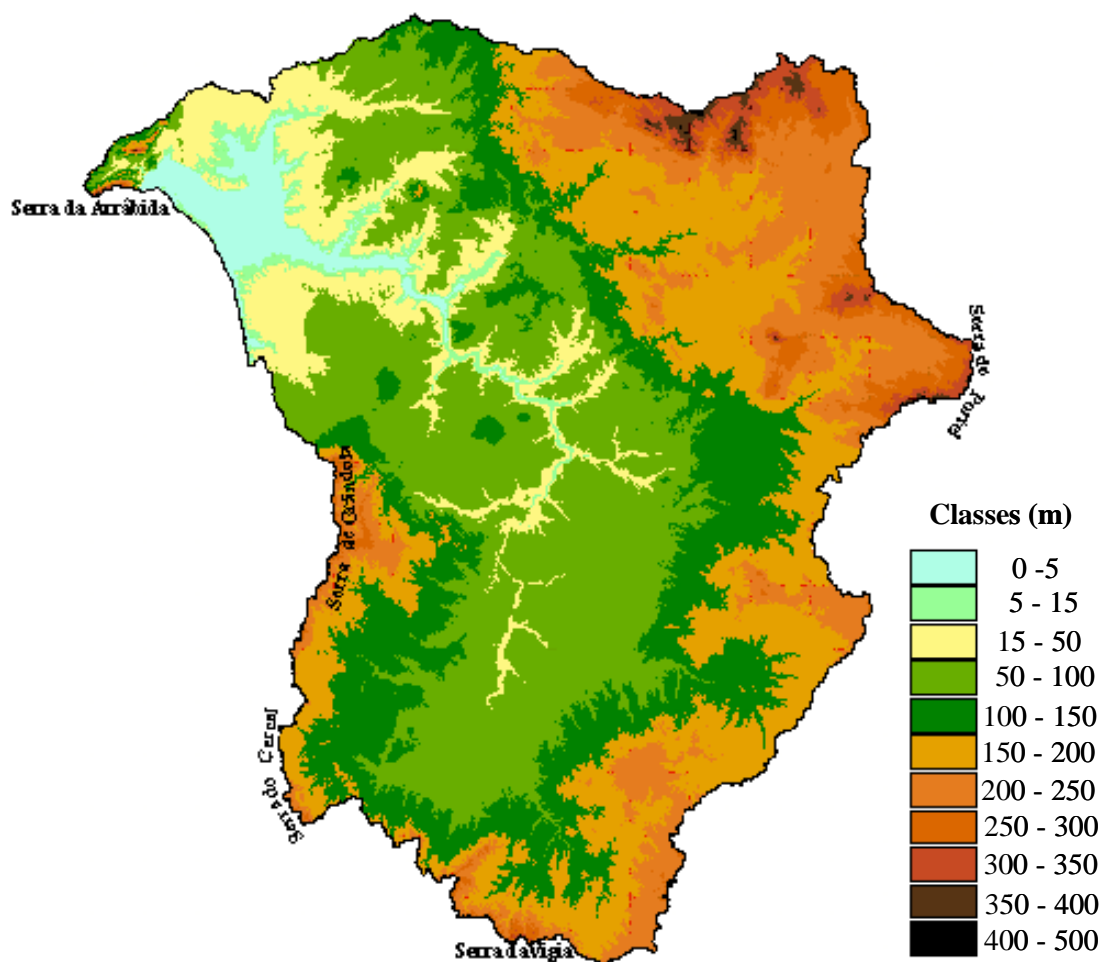


Figura 2.2 - Hipsometria da bacia hidrográfica do Sado e principais relevos marginais. (adapt. de Andrade *et al.*, 2004).

A rede hidrográfica, com um padrão centrípeto, apresenta como principais afluentes do Sado as ribeiras da Marateca, de S. Martinho, de Alcáçovas, da Xarrama, de Odivelas e do Roxo, na margem direita e as ribeiras de Grândola, de Corona e de Campilhas, na margem esquerda (figura 2.3).

O rio Sado, que nasce a cerca de 230m de altitude, na serra da Vigia (figura 2.3), percorre cerca de 180Km até à foz, junto da cidade de Setúbal. O seu percurso apresenta uma orientação N-S até à confluência com a ribeira de Odivelas, inflectindo para NW até Setúbal, correndo de sul para norte. Considerando os baixos declives existentes na bacia (declive médio de 5,6%), o rio Sado representa um rio de planície, com mais de metade do seu traçado a cotas inferiores a 50m (Hidroprojecto, 1999-2003).

A BHS está inserida no Plano da Bacia Hidrográfica do Sado (Hidroprojecto, 1999-2003), do qual fazem também parte um conjunto de linhas de água do litoral, que drenam directamente para o oceano. Assim, as percentagens relativas a vários parâmetros identificados neste trabalho, assim como todos os mapas extraídos do Plano da Bacia Hidrográfica do Sado, incluem a área a oeste das serras de Grândola e do Cercal.

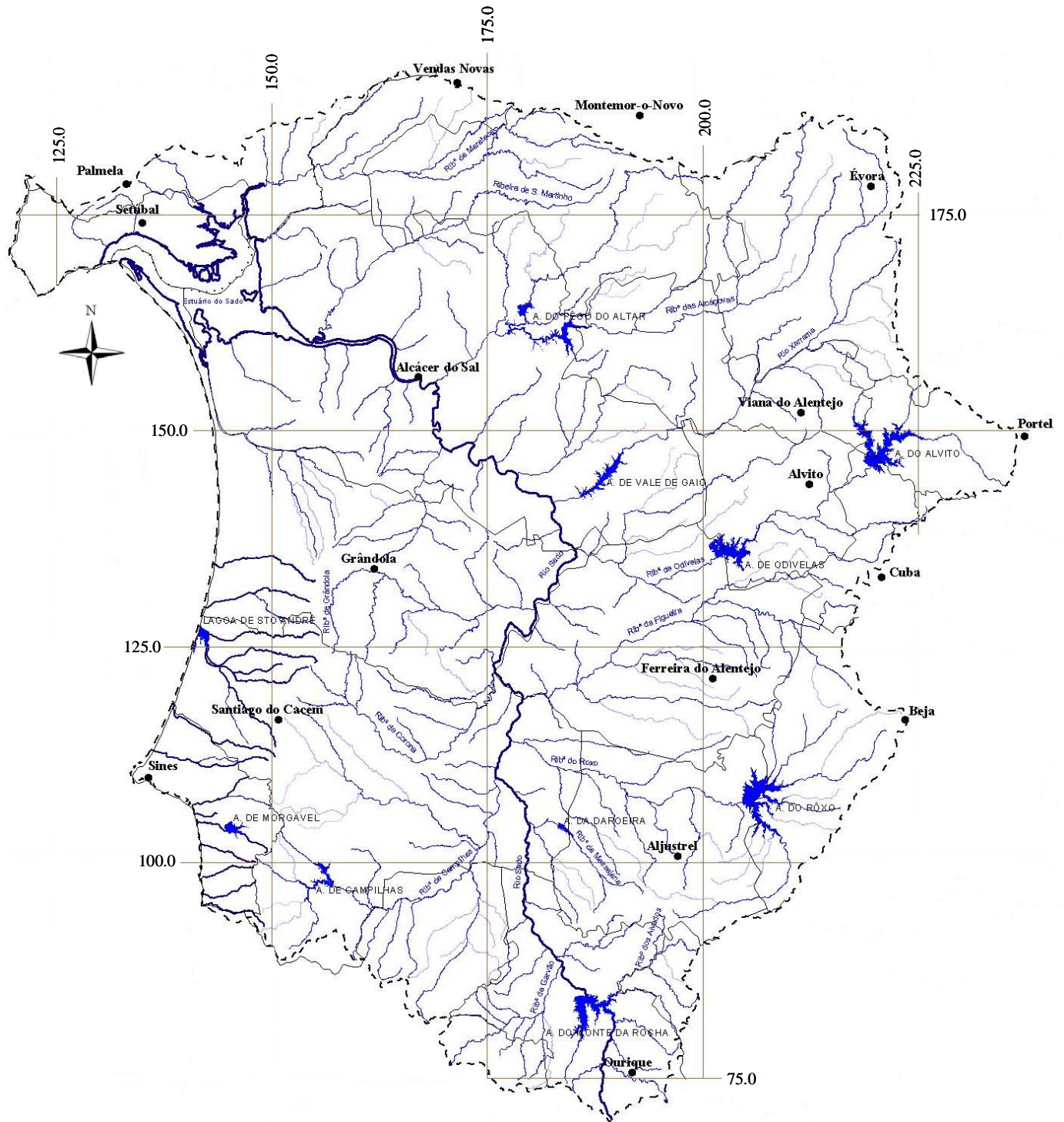


Figura 2.3 – Rede hidrográfica do rio Sado (adapt. de Hidroprojecto., 1999-2003).

----- Limite do Plano de BHS — Linhas de água
 Quadrícula quilométrica do sistema de Hayford- Gauss

2.1.2. Estuário do Sado

O estuário do Sado pode ser dividido num domínio externo e num domínio interno. O domínio externo compreende um baixio arenoso, protegido da agitação marítima predominante, que corresponde ao delta submarino do estuário, com uma superfície de cerca de 47km² e profundidades de 4m (Andrade *et al.*, 2006). A região apical deste baixio corresponde ao banco do Cambalhão (figura 2.4), junto à extremidade N da restinga de Tróia.



Figura 2.4 - Estuário do Sado – Toponímia e organização morfológica. BC – Banco do Cambalhão; CAL – Canal de Alcácer; CC – Canal da Comporta; CM – Canal de Águas de Moura; CN – Canal Norte; CS – Canal Sul; E – Cais da Eurominas; FAR – Faralhão; SET – Cais da Setenave; O - Outão

O domínio interno desenvolve-se segundo duas direcções de alongamento preferenciais: a principal, com uma orientação NW-SE, prolonga-se para montante até próximo de Alcácer do sal, numa extensão de cerca de 38km e outra, com uma orientação NNE-SSW, apresenta uma extensão de cerca de 25km, desde a região de Águas de Moura até à Comporta.

Este corpo estuarino de grandes dimensões, apresenta uma largura máxima de cerca de 20km, reduzindo-se a montante, no Canal de Alcácer, para apenas cerca de 50m. Com uma

área inundada de cerca de 150km² e profundidade média de 8m (Andrade *et al.*, 2006), o contacto deste estuário com o mar aberto, controlado pela presença da restinga de Tróia, estabelece-se através de um estreito canal (figura 2.4) com largura e profundidade máximas de 1600m e 50m, respectivamente. Este canal, para o interior, bifurca-se em dois – o canal norte e o canal sul (figura 2.4), com profundidades médias de 10m e 20m, respectivamente, separados por uma sequência de baixios.

O desenvolvimento da restinga arenosa de Tróia (com cerca de 25km de comprimento e 0,5 a 1,5km de largura), obrigou à deslocação do canal de embocadura para norte, ficando este confinado entre a extremidade norte da restinga e a serra da Arrábida (figura 2.4). Esta restinga, com uma orientação sul-norte, desenvolveu-se paralelamente à linha de costa, na zona de encontro da corrente da deriva litoral com a corrente fluvial do Sado, podendo a acumulação de sedimentos ter sido favorecida pela existência de um banco arenoso submarino (Moreira, 1979). Estudos recentes (Gama *et al.*, 2006), apontam para um transporte longilitoral dirigido para norte, no Arco Litoral Tróia-Sines, funcionando este troço costeiro como um sistema dinâmico, com deriva litoral e pequenas taxas de evolução secular. Considerando as suas características genéticas e geomorfológicas, o estuário do Sado constitui um estuário de barreira, na classificação de Pritchard (1960, *in* Perillo, 1995).

2.2. Enquadramento geológico

A Bacia de Alvalade (Antunes *et al.*, 1986), designada por Bacia do Sado por Pimentel (1997), é uma bacia sedimentar que, juntamente com a bacia do Tejo e do Mondego mais a Norte, constituem as principais bacias cenozóicas da Unidade Tectono-Estratigráfica designada como “Orla Ocidental”, na Margem Ocidental Ibérica (figura. 2.5).

Sobrepõe-se a outras unidades tectono-estratigráficas, do Paleozóico, designadamente a Zona de Ossa Morena (ZOM) e a Zona Sul Portuguesa (ZSP); na grande maioria da área, a sobreposição é feita com a ZSP. Apenas uma pequena porção da BS se sobrepõe à ZOM, na região Nordeste da Bacia.

É preenchida principalmente por rochas detríticas, cuja natureza é condicionada pelo substrato onde assenta, contribuindo a ZSP com metassedimentos de baixo grau de metamorfismo e a ZOM, com rochas ígneas e metassedimentos de grau médio a elevado (Pimentel, 1997, 2002).

A Bacia Hidrográfica do Sado (BHS) que contribui para a evolução actual da Bacia sedimentar do Sado intersecta uma grande diversidade de formações, com idades desde o Proterozóico até o Holocénico.

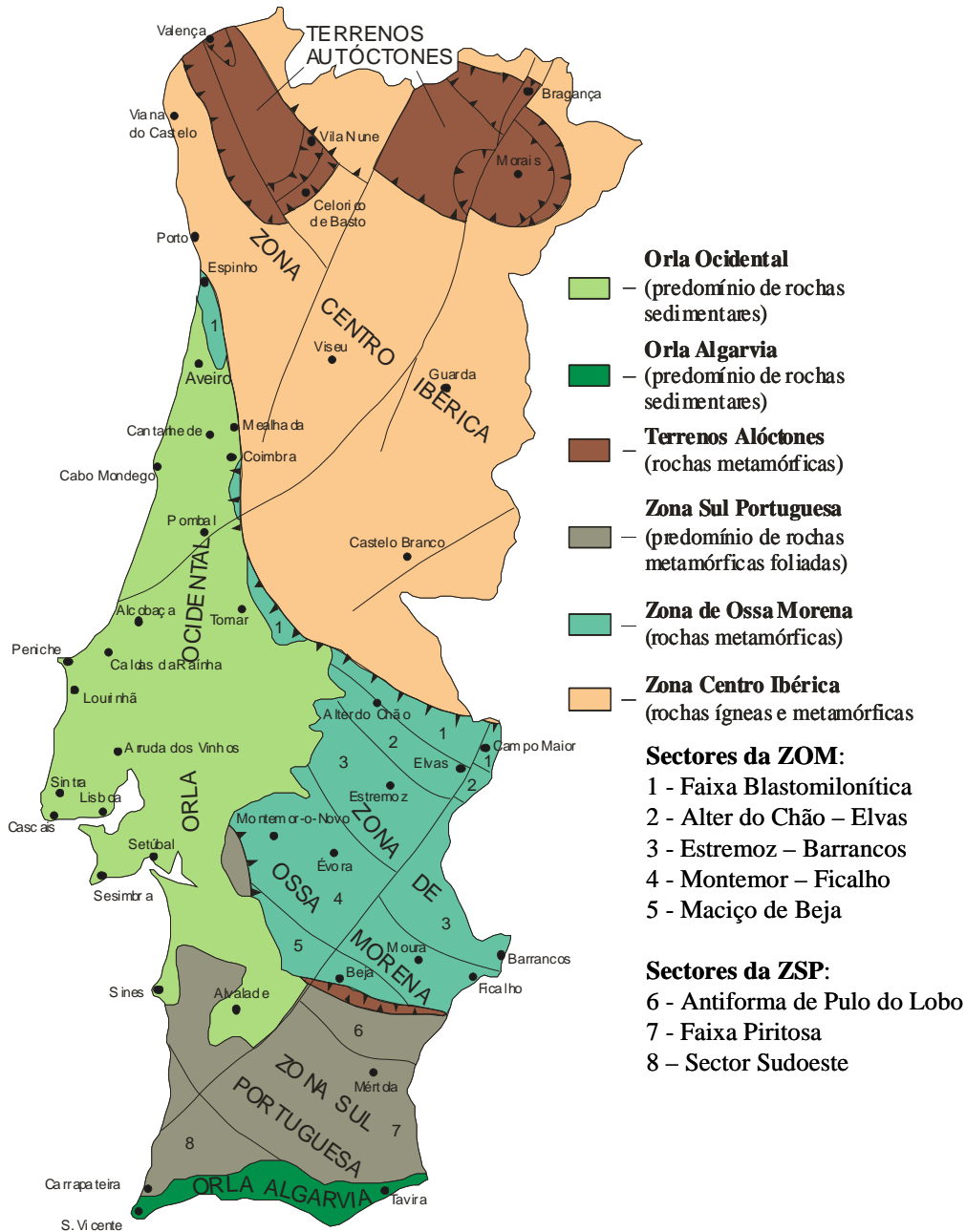


Figura 2.5 – Divisões Tectono – Estratigráficas de Portugal (adapt. Carta Geológica de Portugal à escala 1/500000).

2.2.1. Breve descrição das unidades subjacentes à Bacia de Alvalade

2.2.1.1. Zona Sul Portuguesa (Paleozóico)

Com excepção de uma faixa aflorante no bordo NE da bacia sedimentar do Baixo Sado, os terrenos da Zona Sul Portuguesa afloram essencialmente a SW e SE da bacia sedimentar, bordejando a bacia do Alto Sado (figura 2.6), constituindo os relevos litorais das serras de Grândola e Cercal, a oeste e os relevos interiores da penepalanície alentejana, para leste.

Na carta geológica 1:500000 (Oliveira *et al.*, 1992), a ZSP é dividida em três conjuntos: Antiforma do Pulo do Lobo, Faixa Piritosa e Sector Sudeste (figura 2.5). Como este último não é abrangido pela BHS, não é considerado na breve descrição que se apresenta.

▪ **Antiforma do Pulo do Lobo** (Devónico superior – Carbónico inferior)

É constituído por xistos pertencentes à fácies dos xistos verdes. Inclui um nível inferior constituído por xistos filitosos com quartzo e intercalações de metavulcanitos ácidos e um nível superior, com alternâncias de quartzovaques e xistos laminados (Pimentel, 1997).

▪ **Faixa Piritosa** (Devónico superior – Carbónico inferior a médio)

As rochas da Faixa Piritosa dividem-se em três unidades: Formação Filito-quartzítica, Complexo vulcano-sedimentar e Grupo flysh do Alentejo.

A Formação Filito-quartzítica é constituída, essencialmente, por rochas de origem terrígena, predominando os filitos, siltitos, quartzovaques e quartzitos, afectados por metamorfismo de fácies prehnite-pumpelite.

No Complexo vulcano-sedimentar, predominam as rochas metassedimentares como os xistos siliciosos e xistos argilosos, para além de rochas vulcânicas ácidas e básicas, jaspes e chertes, de idade Devónico superior – Carbónico inferior, com fácies metamórfica prehnite-pumpelite.

Por fim, no Grupo flysh do Alentejo, ocorrem rochas de natureza essencialmente xisto-grauváquica (grauvaques, intercalações conglomeráticas e pelitos), afectados por metamorfismo de fácies zeolítica e com idade Carbónico inferior a médio.

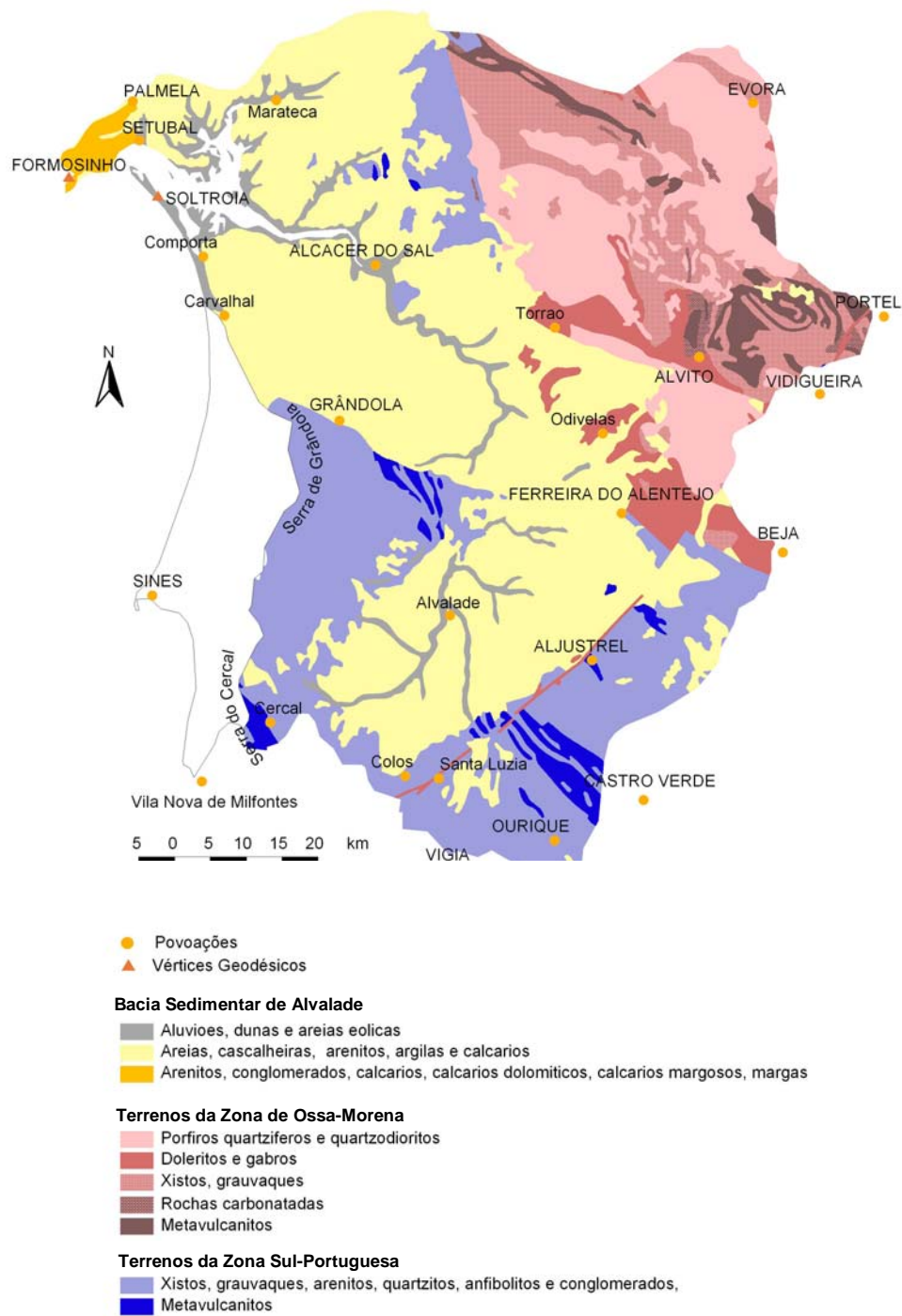


Figura 2.6 – Geologia simplificada da bacia hidrográfica do Sado (adapt. de Andrade *et al.*, 2004).

2.2.1.2. Zona de Ossa Morena (Paleozóico)

A Zona de Ossa Morena ocupa a parte NE da BHS (figura 2.6) e encontra-se dividida em cinco sectores (Oliveira *et al.*, 1992): Maciço de Beja, Sector Montemor – Ficalho, Sector Estremoz – Barrancos, Sector Alter do Chão – Elvas e Faixa Blastomilonítica (Figura 2.5). Só serão considerados na breve descrição que se segue os dois primeiros sectores, uma vez que os outros não afloram na BHS.

▪ Maciço de Beja (Devónico – Carbónico inferior)

Segundo Fonseca (1995, *in* Pimentel, 1997) as rochas do Maciço de Beja são intrusivas na ZOM, sendo por isso posteriores aos terrenos autóctones da ZOM, de idade pós-devónica.

Este sector é constituído por vulcanitos ácidos a básicos, com intercalações de xistos, grauvaques e calcários (sequência vulcanodetrítica da Toca da Moura); xistos, calcários e tufos ácidos (Formação da Cabrela); calcários e conglomerados (Formação da Pedreira da Engenharia); vulcanitos ácidos a intermédios e tufos básicos (Complexo vulcânico de Odivelas) e inclui ainda o Complexo Máfico – Ultramáfico de Beja – Acebuches, com anfibolitos, *flaser* gabros e serpentinitos.

▪ Sector Montemor – Ficalho (Proterozóico – Silúrico superior)

Neste sector aflorante no extremo NE da BHS distinguem-se o Complexo Vulcano-sedimentar de Moura – Santo Aleixo (Xistos de Moura), constituído por filitos, psamitos, liditos e vulcanitos ácidos a básicos; pelo Complexo Vulcano-sedimentar Carbonatado de Ficalho-Moura, com mármore, vulcanitos ácidos e básicos; os Calcários Dolomíticos e Mármore, Vulcanitos ácidos e Arcoses; a Formação de Águas de Peixe, com xistos, grauvaques, chertes negros e vulcanitos ácidos; a Formação do Escoural, com gneisses, anfibolitos e vulcanitos ácidos e ainda as séries proterozóicas migmatizadas na orogenia hercínica (anfibolitos).

2.2.2. Evolução do enchimento sedimentar da Bacia de Alvalade – unidades litostratigráficas

Os depósitos cenozóicos do preenchimento da Bacia de Alvalade, essencialmente detríticos continentais, com alguns níveis de fácies marinha, podem ser divididos em cinco unidades principais com idades propostas entre o Eocénico e o Gelasiano (Pimentel, 2003) –

Formação de Vale do Guizo, Formação de Monte Coelho, Formação de Esbarrondadoiro, Formação de Alvalade e Formações de Panóias, as quais assentam sobre o substrato paleozóico da ZSP, ZOM e Maciço de Beja.

A génese e estruturação da bacia do Sado iniciou-se há cerca de 50 M.a. (Eocénico Médio), na sequência da fase pré-pirenaica da orogenia alpina e a sua evolução é marcada pela resposta sedimentar à sucessão de eventos tectónicos e climáticos que ocorreram no sudoeste peninsular (Pimentel, 1997).

Ainda segundo este autor, a reactivação de falhas tardi-hercínicas promoveram a criação de uma extensa região tendencialmente subsidente, correspondendo à globalidade da BTS, desenvolvendo-se, no entanto, diversas sub-bacias.

▪ **Formações de Vale do Guizo** (Eocénico Superior)

Na bacia endorreica do Sado, sobre o substrato paleozóico, depositam-se as formações de Vale do Guizo, constituídas por depósitos grosseiros continentais, encimadas em alguns locais por calcretos, com níveis de areias arcósicas, argilosas, bem como pelitos, constituindo depósitos espessos, que resultam de uma sedimentação intensa na segunda metade do Paleogénico, promovida pela erosão dos relevos tectónicos recém criados (Pimentel, 1997, 2002). Contacta por discordância angular com os metassedimentos da ZSP.

▪ **Formação de Monte Coelho** (Tortoniano superior – Miocénico Superior)

Esta formação corresponde a conglomerados grosseiros de matriz areno-lutítica, alternando com lutitos maciços. A carbonatação é intensa e existem também ferruginizações sob a forma de bancadas centimétricas (Pimentel, 2002). Assenta em descontinuidade da Formação de Vale do Guizo.

▪ **Formação de Esbarrondadoiro** (Messiano superior - Zancleano -- Miocénico Superior a Pliocénico)

Depois de uma lacuna sedimentar que abrange cerca de 30 M.a., atribuída a condições de estabilidade tectónica prevalecentes ao longo de quase todo o Miocénico, no Baixo Alentejo ocidental, segue-se a Formação de Esbarrondadoiro (Pimentel, 1997).

Na sequência da fase bética da orogenia alpina, o rejogo de acidentes tardi-hercínicos associados à falha da Messejana e às falhas de Grândola e do Torrão, promoveu nova subsidência e preenchimento detrítico (Formação de Esbarrondadoiro inferior) e sedimentação com características litorais (Formação de Esbarrondadoiro superior), permitindo que pela primeira vez a entrada do mar na bacia do Sado (Pimentel, 1997).

Nesta formação encontram-se depósitos heterogêneos, desde conglomerados de matriz argilosa, até areias finas micáceas e lutitos, com ocorrência de bancadas carbonatadas e níveis bioclásticos. Existem acentuadas variações laterais de fácies, desde depósitos francamente marinhos até depósitos litorais ou mesmo continentais detríticos grosseiros, o que indica o carácter predominantemente litoral desta sedimentação (Pimentel 1997, 2002). Assenta em desconformidade na Formação de Vale do Guizo e, apenas localmente, na Formação de Monte Coelho.

No conjunto de depósitos desta formação, que ocorrem a S e a E de Alcácer do Sal, distinguem-se conglomerados argilosos, areias, lutitos e argilas, acumulações carbonatadas e calcários (Pimentel, 1997).

▪ **Formação de Alvalade** (Placenciano - Pliocénico)

Os depósitos da Formação de Alvalade ocupam grande parte da bacia do Sado, cobrindo indiferentemente os terrenos da Formação de Vale do Guizo e de Esbarrondadoiro, ou mesmo da ZSP (Pimentel, 1997).

A diversidade sedimentológica dos depósitos é traduzida pela alternância de litofácies conglomeráticas, arenosas e lutíticas. Nesta formação encontram-se depósitos detríticos aluviais, com alternâncias conglomeráticas, lutitos e arenitos predominantes (Pimentel, 1997, 2002). Esta formação assenta por desconformidade nos depósitos da Formação de Esbarrondadoiro e também na Formação de Vale do Guizo.

Os depósitos desta formação geram-se na sequência da reactivação da sedimentação, promovida por fenómenos tectónicos, cerca de 2 M.a. depois da retirada do mar (Pimentel, 1997). Estes fenómenos tectónicos despoletaram a instalação de uma rede fluvial exorreica, drenante para o Atlântico, à semelhança do que se regista na BTS, com o levantamento generalizado das áreas orientais do Baixo Alentejo, promovendo assim a erosão e fornecimento de material detrítico para a bacia do Sado.

▪ **Formação de Panóias** (Gelasiano - Pliocénico)

O rejuvenescimento de relevos, associado a movimentos tectónicos há cerca de 2 M.a., está na génese da Formação de Panóias, com depósitos de natureza argilo-conglomerática, resultantes da erosão das litologias da ZSP (Pimentel, 1997, 2002).

Os depósitos desta formação foram posteriormente sujeitos a intensa alteração e rubefacção, fenómenos associados a condições climáticas propiciadoras do desenvolvimento de solos ferruginosos, promovendo a génese de um encouraçamento superficial destes terrenos (Pimentel, 1997, 2002). Esta formação assenta por discordância angular nos terrenos

metassedimentares da ZSP (na região sul da bacia) e em desconformidade, na Formação de Vale do Guizo, na Formação de Monte Coelho ou na Formação de Esbarrondadoiro (no sector meridional).

No Cenozóico incluem-se também os depósitos quaternários dos terrenos fluviais do Sado e seus afluentes principais, as areias dunares e os depósitos de vertente e aluvionares holocénicos.

2.3. Enquadramento hidrodinâmico do estuário

A dinâmica das águas estuarinas é função do caudal do rio e da penetração das águas marinhas a qual, dependendo essencialmente do caudal fluvial, é também influenciada pela intensidade dos ventos.

2.3.1. Caudais

O principal tributário deste estuário é o rio Sado (Canal de Alcácer do Sal) cujo caudal representa grande variabilidade sazonal e interanual, atingindo duas ordens de grandeza superiores durante as cheias do Inverno, relativamente ao restante ano (Cortesão & Vale, 1994). No ano hidrológico de 1987/88, o caudal variou entre 0,5 e 5m³/s durante a maior parte do ano, tendo atingido um máximo de 250m³/s no Inverno (Cortesão & Vale, 1994). Os caudais mais significativos (60 a 100m³/s) são atingidos durante o semestre húmido (de Outubro a Abril), enquanto no semestre seco (de Maio a Setembro) os caudais descem para valores inferiores a 1m³/s (Martins *et al.*, 2001, *in* Andrade *et al.*, 2006).

A necessidade de aproveitamento da água para regas, conduziu à construção de 14 barragens na BHS (figura 2.7), que actualmente contribuem para a regularização dos caudais do rio, diminuindo a frequência de cheias a jusante, embora se registem valores máximos e mínimos de 14.8 e 180m³/s, respectivamente, para afluições de Verão e Inverno (Bettencourt & Ramos, 2003).

Para além do Sado, outras duas linhas de água confluem a este estuário: Canal de Águas de Moura e Canal da Comporta (figura 2.4). A ribeira da Marateca (Canal de Águas de Moura) apresenta caudais negligenciáveis, que variam entre 0m³/s nos meses quentes e 10-12m³/s nos meses húmidos (Psuty & Moreira, 2000). Esta ribeira drena a zona norte da bacia hidrográfica, numa área de 420km². Nesta área não existem barragens, mas parte do fluxo é desviado para diques de irrigação, contribuindo para a redução dos já fracos caudais.

A ribeira da Comporta (Canal da Comporta) drena uma área de cerca de 250km², na zona SW da bacia e representa uma contribuição praticamente nula, exceptuando caudais episódicos de tempestade (Psuty & Moreira, 2000), sendo todo o fluxo desviado para campos agrícolas.

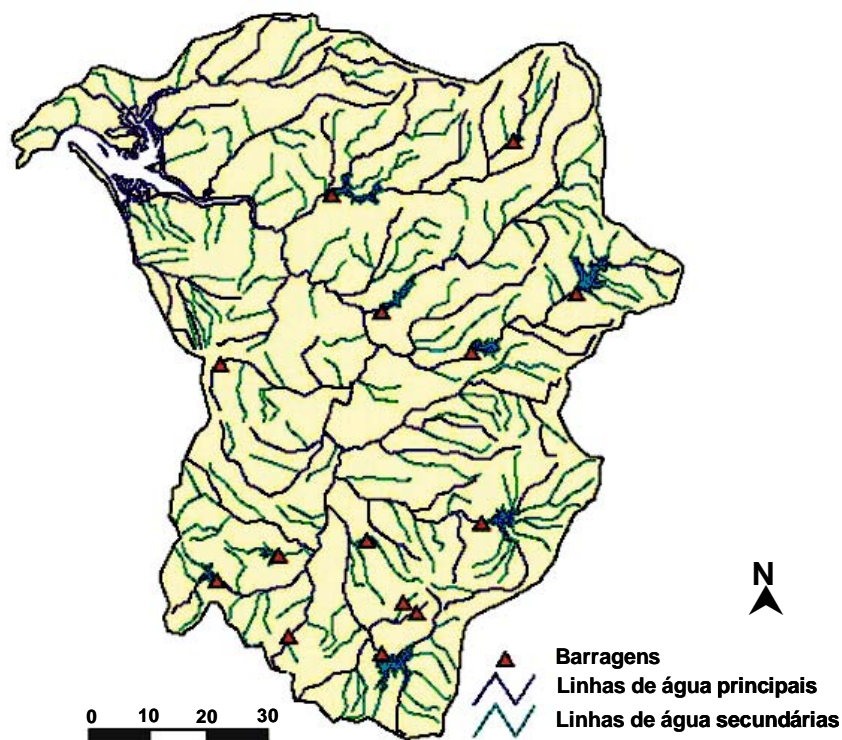


Figura 2.7 – Localização das barragens na Bacia Hidrográfica do Sado.
(in Andrade *et al.*, 2004).

2.3.2. Marés

No estuário do Sado, as marés são semi-diurnas e regulares (Psuty & Moreira, 2000; Andrade *et al.*, 2006). Na classificação de Hayes (1975, in Perillo, 1995), o estuário é do tipo mesotidal elevado, com amplitudes de maré que atingem, na embocadura, 1,3m e 3,5m, em águas mortas e águas vivas, respectivamente. Para o interior do estuário, a amplitude de maré eleva-se, alcançando 3,99m (Herdade do Pinheiro) e 4,14 (Montalvo) em preia-mar de águas vivas (Andrade *et al.*, 2006).

Face aos reduzidos caudais fluviais, a influência do oceano é indubitavelmente dominante no estuário, sendo a contribuição do regime fluvial e do vento significativas,

apenas em condições extremas. O estuário do Sado pode assim ser considerado um estuário *dominado pela maré*, na classificação de Dalrymple *et al.* (1992, *in* Perillo, 1995).

Em consequência das flutuações do caudal do rio Sado, verificam-se grandes variações sazonais da intrusão salina. A cunha salina, que no Verão penetra até Alcácer, pode, no Inverno, avançar apenas até ao nível da ilha do Cavalo (Vale & Sundby, 1980).

2.3.3. Circulação estuarina

A circulação estuarina é dominada pela propagação da maré, face aos tributários fluviais pouco caudalosos.

Do ponto de vista hidrodinâmico, existe uma assimetria acentuada na propagação da maré nos canais norte e sul. O movimento de saída de água processa-se, fundamentalmente, através do canal sul, mais profundo, com correntes de maior intensidade, enquanto que a entrada se faz, predominantemente, pelo canal norte (Âmbar *et al.*, 1982, *in* Andrade *et al.*, 2006). O desfasamento entre a circulação nos dois canais é bem evidente no momento de baixa-mar ao nível do Outão, verificando-se o início do movimento de enchente no canal norte, enquanto no canal sul o movimento de saída de água do estuário é ainda apreciável (Âmbar *et al.*, 1982, *in* Andrade *et al.*, 2006).

A entrada de água doce no estuário faz-se fundamentalmente via Canal de Alcácer, uma vez que os outros tributários fluviais (Canal de Águas de Moura e Canal da Comporta) apresentam caudais negligenciáveis. A circulação da água doce é influenciada pelos baixios que separam o canal norte do canal sul e pelos aterros da Eurominas e Setenave (figura 2.4), os quais determinam uma concentração dessa água junto à Setenave, antes de se encaminhar para oeste, no canal sul, funcionando esta zona como um reservatório de água doce (Costa, 1988).

A zona entre o cais da Setenave e a ilha do Cavalo é apontada por Wollast (1978, *in* Andrade *et al.*, 2006) como uma zona tampão, funcionando como uma fronteira entre duas áreas estuarinas com gradientes de salinidade diferentes: alto estuário e baixo estuário. O alto estuário (a montante da zona tampão) é caracterizado por um forte gradiente de salinidade, ao contrário do baixo estuário (a jusante) que exhibe fraco gradiente de salinidade, evidenciando influências mais fluviais e marinhas, respectivamente.

Considerando a forte variação sazonal e interanual do caudal do rio Sado decorrente da variação na precipitação na bacia, a fronteira entre as duas zonas varia de posição, para montante ou jusante, não representando de modo algum um limite estático.

Considerando as profundidades baixas existentes no estuário, o efeito da corrente de maré traduz-se por uma mistura acentuada na vertical (Hidroprojecto, 1999-2003) podendo ser classificado como um estuário *parcialmente misturado* ou *totalmente misturado*, na classificação de Pritchard (1952, *in* Davis & FitzGerald, 2004).

2.4. Importância ecológica do estuário do Sado

Os estuários constituem um recurso natural de notável importância pelo elevado nível de produtividade primária, pela diversidade de habitats que englobam, pela riqueza da fauna e flora que encerram, por constituírem local de reprodução, berçário e invernada para muitas espécies, por serem suporte de numerosas cadeias alimentares e estarem na origem de recursos económicos de grande interesse.

O estuário do Sado constitui um caso singular – um rio pouco caudaloso que, correndo para norte, se abre num imenso estuário (só superado em Portugal pelo estuário do Tejo), representando uma das mais importantes zonas húmidas portuguesas.

O facto de, por condições de navegabilidade e outras, o desenvolvimento industrial e a ocupação humana se ter confinado à margem norte do estuário (faixa Setúbal – Mitrena), permitiu que grande parte da margem sul ficasse preservada das pressões antrópicas (com excepção para o turismo em Tróia), apresentando ainda transectos com sucessões de ambientes marinhos a terrestres, constituindo por si só um aspecto ímpar de património natural, pouco frequente em áreas litorais tão próximas de grandes cidades.

A Reserva Natural do Estuário do Sado (RNES) contempla um importante património natural, com uma notável diversidade paisagística, constituído pela enorme diversidade das comunidades biológicas que a habitam permanente ou temporariamente. A RNES, criada em Outubro de 1980, pelo Decreto-Lei 430/80 de 1 de Outubro, inclui uma área total de 23160 ha, dos quais cerca de 13000 ha correspondem ao estuário (Neves *et al.*, 2004) (figura 2.8).

A RNES foi reconhecida Área Protegida incluída na Lista das Zonas Húmidas de Importância Internacional (Convenção de Ramsar) a 7 de Maio de 1996. Classificado como Zona de Protecção Especial (ZPE) para a avifauna pelo Decreto-Lei 384-B/99 de 23 de Setembro, numa área de 24632,5ha e Sítio da Lista Nacional da Directiva de Habitats (Resolução do Conselho de Ministros 142/97 de 28 de Agosto), numa área de 30968ha, no âmbito do Plano da Rede Natura 2000, o estuário é ainda classificado como Biótopo Corine, numa área de 30200ha e como Important Bird Área in Europe (IBA), numa extensão de 20000ha (Farinha

& Trindade, 1994). Na RNES ocorrem com regularidade mais de 25000 aves aquáticas de cerca de 40 espécies (Neves *et al.*, 2004), 34 das quais com estatuto de conservação no contexto comunitário (Directiva da Aves), com grande relevância na atribuição do estatuto de protecção atribuído ao estuário do Sado.

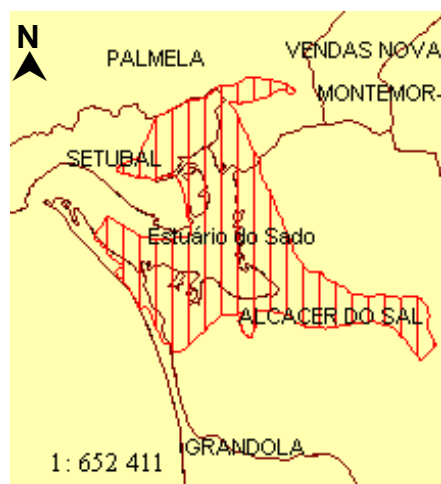


Figura 2.8 – Reserva Natural do Estuário do Sado (*in* ICN, 2006).

A dimensão da relevância ecológica do estuário do Sado, pode ser estimada pelo conjunto de critérios correspondidos, na sua avaliação como zona húmida de importância internacional (*in* ICN, 2006):

- * Bom exemplo representativo de uma zona húmida característica da respectiva região biogeográfica.

- * Bom exemplo representativo de uma zona húmida com funções hidrológicas, biológicas ou ecológicas essenciais para o funcionamento natural de uma bacia hidrográfica importante ou sistema costeiro.

- * Alberga um apreciável elenco de espécies ou subespécies de plantas ou animais raros, vulneráveis ou em perigo de extinção ou um número apreciável de indivíduos de uma ou mais destas espécies.

- * Possui especial valor para a manutenção da diversidade genética e ecológica de uma região, devido à qualidade e peculiaridades da sua flora e fauna.

- * Possui especial valor como habitat de plantas e animais num estágio crítico do seu ciclo biológico.

- * Abriga regularmente mais de 20000 aves aquáticas.

* Abriga regularmente um número significativo de indivíduos pertencentes a grupos particulares de aves aquáticas indicativos de valores de zonas húmidas, produtividade ou diversidade.

* Abriga regularmente um por cento dos indivíduos de uma população de uma espécie ou subespécie de aves aquáticas.

* Abriga uma proporção significativa de subespécies, espécies ou famílias de peixes autóctones, contribuindo assim para a diversidade biológica global.

* É uma importante fonte de alimento de peixes, local de desova, *nursery* e/ou rota de migração da qual as populações de peixes dependem.

Das espécies que possuem estatuto de conservação nacional e internacional, um número significativo ocorre no estuário do Sado. Espécies como a Garça-vermelha (*Ardea purpurea*), o Pernilongo (*Himantopus himantopus*), a Águia-sapeira (*Circus aeruginosus*) e a Chilreta (*Sterna albifrons*), utilizam as margens do estuário para nidificação. Outras elegem esta área como local de invernada como o Alfaiate (*Recurvirostra avosetta*) e o Flamingo (*Phoenicopterus ruber*) (Farinha *et al.*, 2001). Quanto a outros exemplos faunísticos importantes do ponto de vista conservacionista, destaca-se a ocorrência da Lontra (*Lutra lutra*), a presença da única população residente a nível nacional de Roaz-corvineiro (*Tursiops truncatus*), várias espécies de invertebrados e a muito rica ictiofauna.

Embora as aves sejam indubitavelmente o grupo mais representativo dos vertebrados terrestres (figura 2.9), há também a referir a ocorrência de mamíferos como a raposa (*Vulpes vulpes*), a doninha (*Mustela nivalis*), o texugo (*Meles meles*), a geneta (*Genetta genetta*) e o rato (*Microtus cabreræ*); uma comunidade de anfíbios muito diversificada, que habita preferencialmente as salinas abandonadas, os arrozais, charcas e canais de rega e répteis, como as cobras-de-água e os cágados, que se encontram essencialmente nas zonas com substrato arenoso (Neves *et al.*, 2004).

As comunidades vegetais dos sapais deste estuário apresentam um interesse especial, uma vez que, em conjunto com o estuário do Tejo, representam o limite norte da ocorrência de várias espécies mediterrânicas.

A nível de espécies vegetais, o estuário do Sado é particularmente importante para *Melilotus segetalis fallax* (inscrita na Directiva Habitats) e para os géneros *Limonium*, *Arthrocnemum* e *Atriplex* (Farinha *et al.*, 2001).

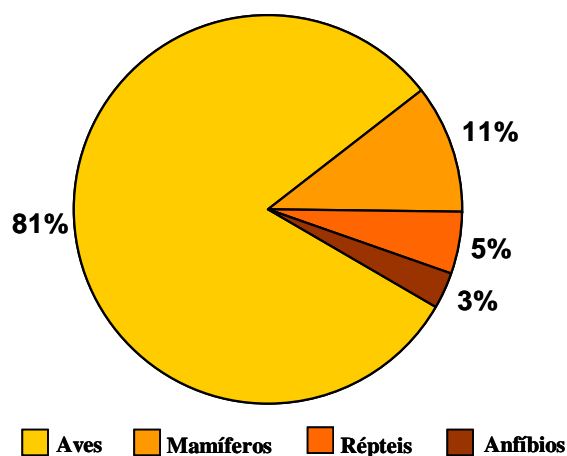


Figura 2.9 – Representatividade das classes taxonómicas de vertebrados terrestres inventariadas na RNES (adapt. de Pereira *et al.*, 2006).

Recursos económicos marinhos do estuário

Das 55 espécies que representam a ictiofauna do estuário (Sobral & Gomes, 1997, *in* Neves *et al.*, 2004), muitas utilizam este ecossistema como maternidade, revelando a particular importância que deve ser dada à conservação das condições naturais desta zona. Algumas espécies têm um elevado valor comercial, destacando-se os linguados (*Solea vulgaris* e *Solea senegalensis*), o robalo (*Dicentrarchus labrax*), o salmonete (*Mullus surmuletus*), o sargo (*Diplodus vulgaris*), a enguia (*Anguilla anguilla*), o goraz (*Pagellus bogaraveo*), a dourada (*Sparus aurata*) e o charroco (*Halobatrachus didactylus*), este último muito ligado às comunidades piscatórias locais, dando nome ao habitante ribeirinho, que é conhecido por “Charroco”.

Relativamente aos invertebrados, os mais relevantes são o choco (*Sepia officinallis*), o polvo (*Octopus vulgaris*), o caranguejo (*Carcinus maenas*), o berbigão (*Cerastoderma edule*), o canivete (*Solen marginatus*), a lambujinha (*Scrobicularia plana*), a ameijoia (*Ruditapes decussata*), para além dos anelídeos como a minhoca-do-mar (*Hediste diversicolor*) e o minhocão (*Marphysa sanguinea*) que, embora não destinados a consumo alimentar, constituem um recurso com valor económico, sendo utilizados como isco na pesca desportiva e profissional (Bruxelas *et al.* 1992).

2.5. Actividade humana no estuário do Sado

Nos arredores de Setúbal foram encontrados diversos vestígios pré-históricos dos períodos Paleolítico e Neolítico (Zbyszewski *et al.*, 1976), ligados à exploração ostreícola e piscícola, o que atesta a existência, desde então, de povoaamentos na região.

Em Tróia e Setúbal, conhecem-se ruínas romanas ligadas à transformação do pescado e, em vários pontos da margem estuarina, ligadas à produção de ânforas (Dhanani, 2002). O complexo industrial de Tróia e Setúbal terá sido abandonado no século VI, quando o fim do império romano levou ao declínio das rotas comerciais e dos mercados consumidores.

Durante vários séculos, a zona envolvente ao estuário foi pouco habitada e as populações residentes vivem essencialmente dos recursos piscícolas que as águas estuarinas lhes ofereciam. Nas zonas mais interiores do estuário, explorava-se o sal, produto que constituiu a principal actividade económica da região entre os séculos XIII e meados do século XX (Romero, 2002), para além da cultura do arroz (planta introduzida na Península Ibérica pelos Árabes, no século VIII (Romero, 2002)). A partir de 1930, com a implementação do Plano de Rega do Alentejo, a cultura do arroz expandiu-se, sendo ainda hoje bastante relevante na região, não só pela área que ocupam os arrozais, mas também pelo retorno económico que gera.

Embora a actividade salineira e a orizicultura abranjam grandes áreas à volta do estuário, não ocorreu uma fixação elevada de populações, provavelmente devido ao paludismo e à malária (Neves *et al.*, 2004), que eram doenças endémicas até ao século XX.

Na actualidade, o estuário do Sado apresenta, como todos os grandes estuários, uma intensa actividade humana. Associado ao facto de se encontrar apenas a 40km de Lisboa, a cidade de Setúbal tem sofrido um desenvolvimento considerável, constituindo hoje, com uma população de mais de 100000 habitantes, a quarta maior cidade do país.

A ocupação da zona costeira do estuário apresenta uma assimetria acentuada (figura 2.10), existindo na sua margem direita uma forte pressão antrópica, associada à cidade de Setúbal, ao desenvolvimento de um dos mais importantes portos portugueses e à implantação industrial, concentrada sobretudo na península da Mitrena.

As principais instalações do porto ocupam uma extensão de cerca de 2km ao longo da margem direita do estuário, abrangendo uma extensa frente urbana da cidade de Setúbal, com terminais de carga, instalações terrestres e um terminal de ferries de ligação a Tróia.

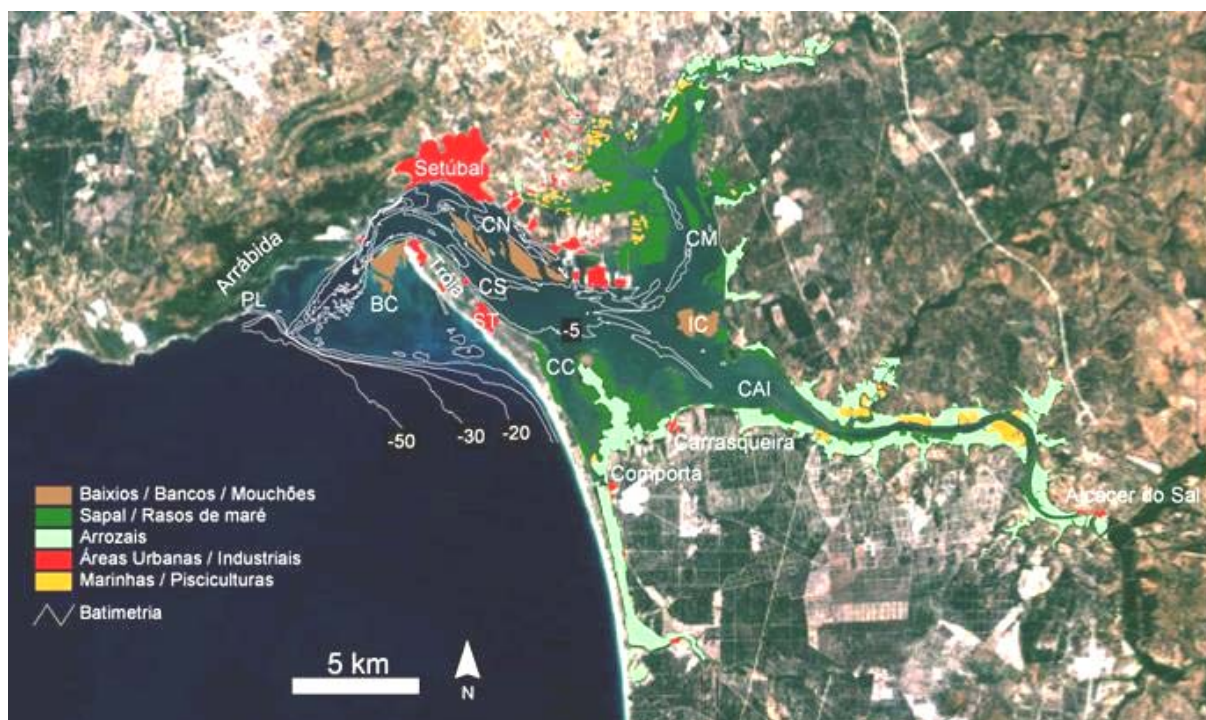


Figura 2.10 – Ocupação do solo nas margens do estuário do Sado (*in Andrade et al., 2006*).

Na zona industrial da Mitrena estão instaladas numerosas unidades, nos sectores dos adubos químicos, fitofarmacêuticos (pesticidas, herbicidas e fungicidas), pasta de papel e papel, bioquímica, indústria metalomecânica, indústria naval de reparação de navios, produção eléctrica, actividades portuárias, assim como pequenas unidades transformadoras ligadas às artes gráficas, produção de embalagens e componentes plásticos, alimentação, reparação auto, etc.. Destaca-se ainda a cimenteira da SECIL no Outão e pequenas unidades industriais na zona ribeirinha da cidade de Setúbal ou dispersas no aglomerado urbano.

Nas águas estuarinas, a pesca com embarcações tradicionais tem alguma relevância, com o registo de 213 embarcações em 2003 (Martins & Serrano, 2004, *in Neves et al., 2004*), para além da actividade marisqueira que envolverá cerca de 300 mariscadores (*op. cit.*). Para além da pesca como actividade profissional, há a registar inúmeras embarcações de pesca desportiva.

Nas margens do estuário, a aquacultura teve nos últimos anos grande desenvolvimento, estando licenciados 58 estabelecimentos de piscicultura, correspondendo a cerca de 500ha, embora muitos pareçam estar inactivos (Neves *et al.*, 2004). As oriziculturas, em grande expansão nas últimas décadas, ocupam na actualidade uma área de cerca de 10000ha (Romero, 2002) e elevam a BHS à região mais produtiva do país. Pelo contrário, as

áreas ocupadas pelas salinas (ou marinhas) têm vindo a decrescer, devido ao abandono da exploração de sal, conversão em arrozais e pisciculturas. O sal de Setúbal, que outrora era conhecido pela sua qualidade em toda a Europa e constituía um produto de exportação com peso na economia do país, ocupa hoje o último lugar na produção nacional, sendo uma actividade em contínua decadência.

Há ainda a referir as actividades recreativas e uso balnear, que muito têm atraído o turismo para a zona de Tróia e Setúbal, estando estas zonas sujeitas a pressões crescentes decorrentes do desenvolvimento anunciado neste sector.

2.6. Ocupação do solo na bacia hidrográfica do Sado

Nas margens do estuário do Sado, sob protecção da RNES, existem ainda extensas zonas intertidais, que cobrem cerca de 6500ha (Farinha & Trindade, 1994) sendo as mais importantes as que se situam na margem direita do Canal de Águas de Moura. Dos conteúdos morfossedimentares representados nas margens estuarinas, destacam-se os rasos de maré e os sapais (figura 2.11), correspondendo os primeiros a extensos fundos aplanados desprovidos de vegetação halófitas, ocupando a zona inferior do domínio tidal e os segundos, a superfícies colonizadas por vegetação halófitas, incluindo apenas o domínio do alto sapal. A classe do raso de maré e sapal indiferenciados e sapal renaturalizado (figura 2.11) têm uma menor expressão, sendo no entanto de realçar o último, por representar áreas devolvidas ao meio natural por abandono da prática agrícola (Andrade *et al.*, 2006).

As zonas de praia estuarina, ocupadas por areia, têm neste estuário uma representatividade muito baixa, sendo as margens essencialmente lodosas.

As margens do estuário são também em larga escala ocupadas por salinas/pisciculturas e arrozal (figura 2.11), áreas que foram reclamadas ao domínio intertidal, com conseqüente diminuição das zonas de sapal e raso de maré.

A ocupação do solo na BHS é dominada pelos espaços agrícolas, cuja extensão representa 50,1% da área total da bacia, 72% dos quais correspondem a áreas de uso exclusivamente agrícola (Hidroprojecto, 1999-2003) (figura 2.12). Segue-se a área ocupada por explorações florestais (33,1%), agro-florestais (12,5%) e espaços com matos e incultos (3,6%).

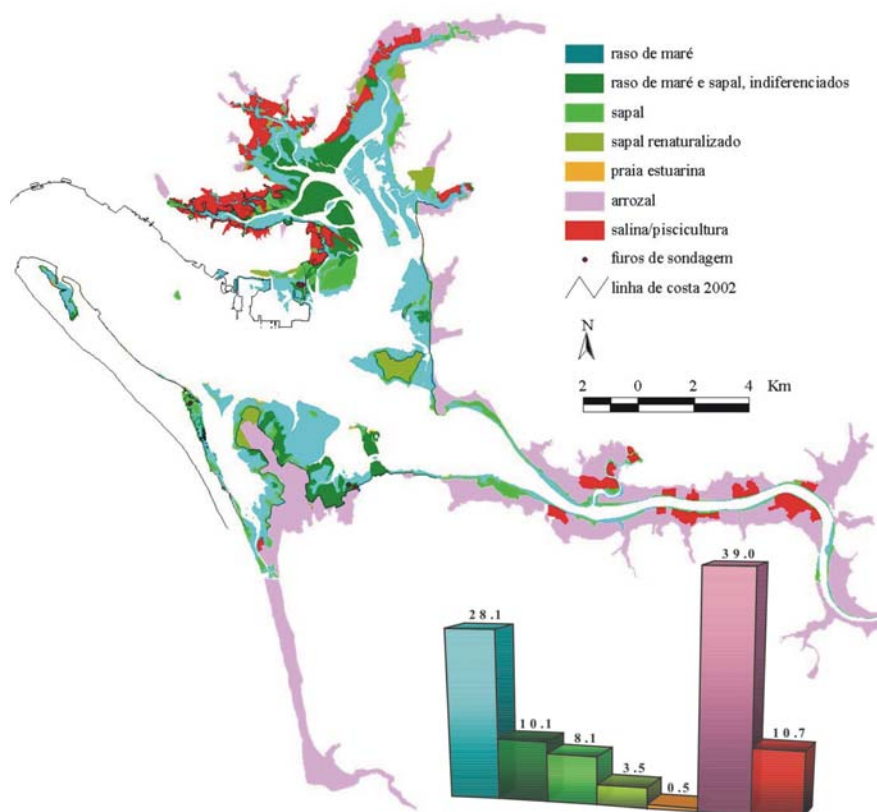


Figura 2.11 – Representatividade das classes de ocupação do solo nas margens do estuário do Sado (in Andrade *et al.*, 2004).

As áreas contabilizadas como salinas/pisciculturas incluem explorações abandonadas, mas delimitadas

Nos espaços agrícolas utilizados existe um predomínio das culturas anuais (59%), com destaque para os cereais, enquanto as culturas permanentes, com destaque para o olival, representam apenas 2,9%. As culturas de regadio ocupam uma área de apenas 5,7%, representadas essencialmente pela orizicultura e a restante área agrícola é ocupada por zonas agrícolas heterogéneas, onde se incluem as explorações agro-florestais (figura 2.12).

Dos espaços com uso florestal, destacam-se as folhosas (sobreiro, azinheira e eucalipto) com 69,5% de superfície florestal e as resinosas (pinheiro) com 8,3% (Hidroprojecto., 1999-2003).

Refira-se por fim, que os espaços urbanos e industriais ocupam uma área de 0,86% e 0,42% do total da BHS, respectivamente, concentrando-se essencialmente nas cidades de Setúbal, Évora e Alcácer do Sal, caracterizando-se por um elevado índice de dispersão por toda a bacia, predominantemente agrícola.

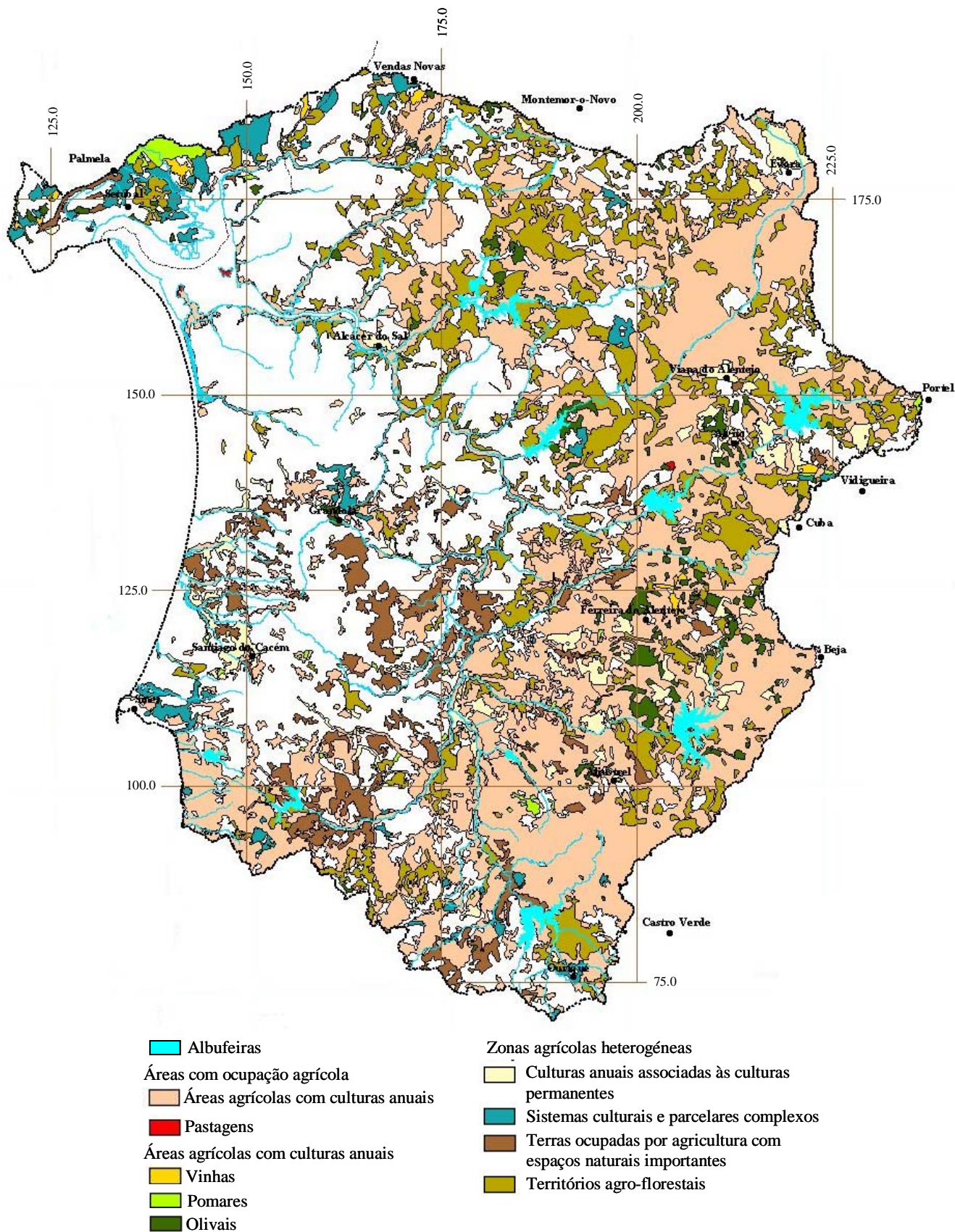


Figura 2.12 – Ocupação agrícola na BHS (Hidroprojecto., 1999-2003).
 Quadricula quilométrica do sistema de Hayford-Gauss

2.7. Principais problemas ambientais no estuário do Sado

O estuário do Sado, como todas as áreas estuarinas, apresenta um dinamismo e uma riqueza incontestáveis, mas simultaneamente uma grande vulnerabilidade perante as pressões antrópicas.

Como principais factores de ameaça à manutenção das condições naturais, que permitam a plena funcionalidade deste ecossistema de excelência, identificam-se: a poluição de origem industrial, urbana e agrícola; as captações de água na bacia hidrográfica; a artificialização das margens do estuário (expansão portuária e indústrias); o desenvolvimento turístico e a exploração desregrada dos recursos.

2.7.1. Poluição industrial

Na bacia hidrográfica do Sado, a área ocupada por unidades industriais corresponde a menos de 1%, encontrando-se muito dispersas, em contraste com a zona envolvente do estuário, em particular na sua margem direita, junto a Setúbal (figura 2.13).

Das fontes pontuais de poluição identificadas na BHS, 93% (contra 7% do domínio urbano) correspondem a actividades industriais, (Hidroprojecto, 1999-2003). Das unidades industriais em laboração na actualidade, o sector pecuário (suiniculturas, boviniculturas e aviários) destaca-se com uma representação de 28%, em paralelo com os 21% do sector agro-alimentar (lagares de azeite, adegas e destilarias, fábricas de conserva e outras). As suiniculturas e boviniculturas estão bem representadas na margem direita do estuário e na zona NE da bacia (figura 2.13), constituindo uma fonte poluente importante.

Considerando os dados obtidos no inventário nacional de saneamento básico elaborado em 1994 (Hidroprojecto, 1999-2003), a actividade industrial na BHS era caracterizada por uma situação de saneamento ainda menos eficaz que a actual, com 65% das unidades a procederem a descargas directas nas linhas de água, contra os 44% à data da elaboração do plano da BHS. Há a considerar ainda que, dos restantes 35% ligadas a sistemas de água residuais (SAR), muitos resíduos industriais chegam ao estuário sem tratamento, uma vez que em 2000, 13% dos efluentes das SAR's não sofriam tratamento nas ETAR's, já para não referir que em muitos casos estas estações procedem a tratamentos ineficientes.

Na margem direita do estuário localiza-se um grande número de unidades industriais potencialmente poluidoras, as quais descarregaram os seus efluentes directamente no estuário, durante décadas.

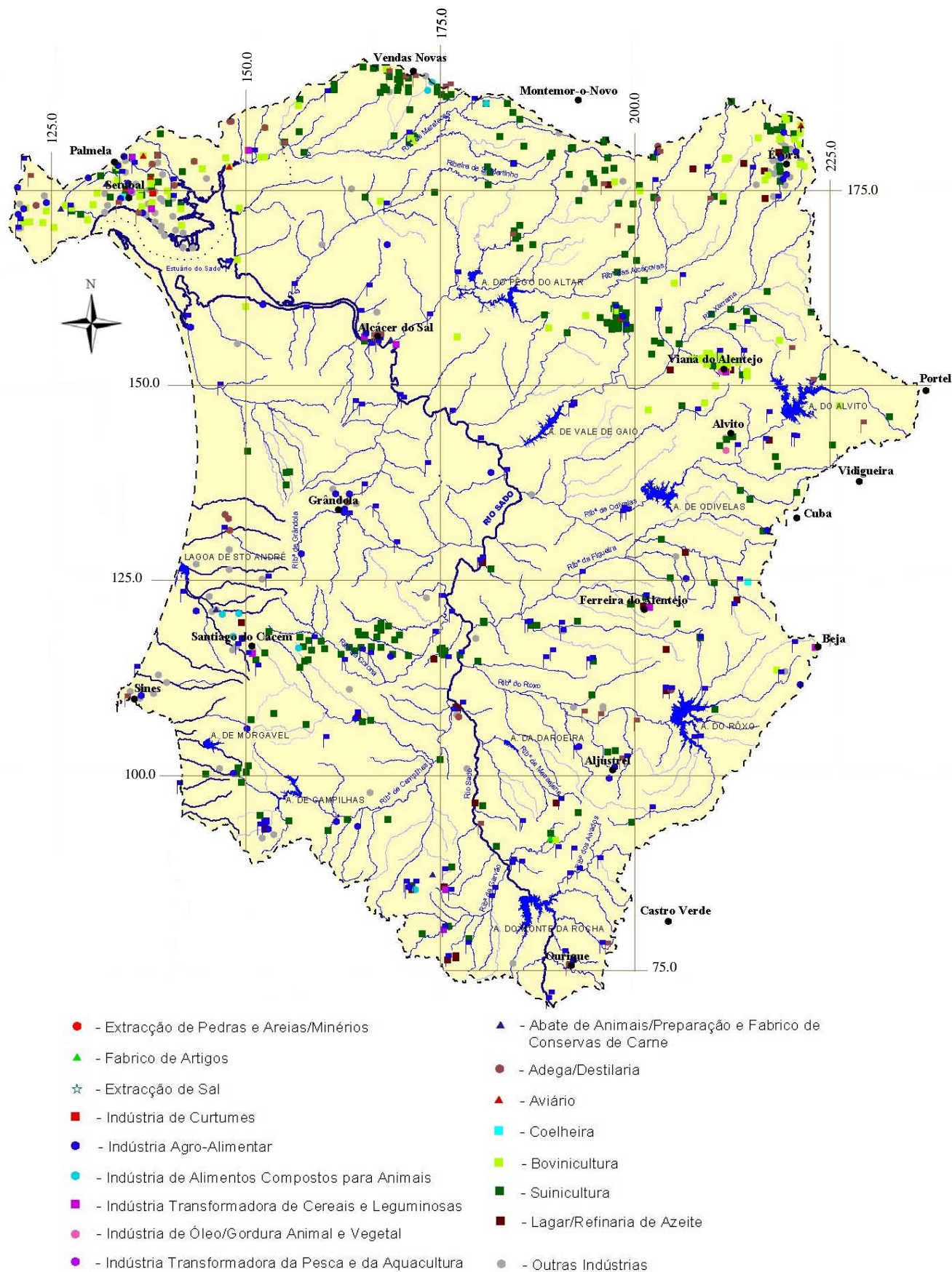


Figura 2.13 – Poluição pontual industrial na BHS (Hidroprojecto, 1999-2003).
 Quadrícula quilométrica do sistema de Hayford-Gauss

Para as unidades industriais por nós inventariadas em Março de 2006 (anexo 1), a situação actual apresentada é bem diferente da verificada num passado recente (Catarino *et al.*, 1987 – anexo 1). Com excepção de uma pequena unidade industrial, actualmente todas canalizam os seus resíduos domésticos para estações de tratamento de águas residuais (ETAR) e todos os resíduos industriais (perigosos ou não) são seleccionados, armazenados e regularmente recolhidos por empresas certificadas, com destino à sua valorização, destruição ou depósito em aterro.

Em todo o tipo de indústrias visitadas, na zona entre o limite Oeste da cidade de Setúbal e o fim da estrada da Mitrena (margem norte do estuário do Sado), há actualmente uma preocupação com as questões ambientais, mais propriamente com o destino dos resíduos sólidos e líquidos, não só por imposição da legislação, como também pela necessidade do cumprimento da mesma para financiamentos comunitários e certificação das empresas.

Das unidades industriais instaladas nesta zona, destacam-se as referenciadas na tabela 2.1, pela sua dimensão, proximidade ao estuário, impacte paisagístico e provável impacte na qualidade das águas estuarinas. A selecção das unidades industriais aqui destacadas tem ainda em consideração a emissão de gases para a atmosfera e a vulnerabilidade dos processos de transporte de materiais perigosos.

INDÚSTRIA	ACTIVIDADE
Maurifementos	Produção de fermentos e leveduras
Transminas	Transvase de concentrado de Cu (ramal ferroviário – armazém – navios) Transvase de fuel óleo (navios – oleoducto)
EDP	Produção eléctrica
Matadouro	Abate de animais
Sapac Terminais Portuários	Transvase de agro-alimentares, cimentos e granéis líquidos (ácidos sulfúrico e fosfórico, soda cáustica e melação)
Sapac Agro	Produção de fitofarmacêuticos
Sopac	Produção de adubos
Portucel	Produção de pasta de papel
Lisnave	Reparação de navios
Setefrete/cimenteiras Secil e Cimpor	Transvase e armazenamento temporário de <i>clinker</i> e <i>petcoque</i>
Eco-oil	Recepção e tratamento de misturas e águas oleosas da lavagem de navios
Tanquisado	Transvase e armazenamento de produtos petrolíferos

Tabela 2.1 – Estabelecimentos industriais potencialmente mais poluentes na zona norte do estuário do Sado.

Nos últimos anos tem-se assistido ao encerramento de várias unidades industriais na BHS e em particular na zona industrial de Setúbal o que, em paralelo com o melhoramento do sistema de saneamento básico e introdução de medidas minimizadoras de impacte ambiental pelas indústrias instaladas, terá conduzido a uma redução nas descargas de poluentes nas águas do estuário.

Pelas características particulares que exibem, as explorações mineiras abandonadas na BHS (figura 2.14 e anexo 2) assumem especial relevância no contexto da poluição das linhas de água, devido à lixiviação das escombrelas e/ou galerias, originando efluentes contaminados por metais pesados. A própria água da mina pode causar impacte no ecossistema circundante, devido aos baixos valores de pH que frequentemente exhibe, factor que contribui para o aumento da capacidade de dissolução e transporte de elementos químicos, sob a forma de lixiviados, por vezes a distâncias consideráveis da sua origem (Oliveira *et al.*, 2002).

Embora as explorações mineiras imprimam, de uma forma geral, um forte impacte no meio envolvente, a área afectada pelos efeitos poluentes sobre os ecossistemas é muito inferiores à afectada pelas actividades agrícolas (dados da Agência Europeia do Ambiente, *in* Oliveira *et al.*, 2002). No entanto, ao nível dos metais pesados, as concentrações que podem ser originadas pela actividade mineira supera aquelas que são produzidas pela actividade agrícola.

Do diagnóstico ambiental das principais minas abandonadas e/ou inactivas do país, realizado por Oliveira *et al.* (2002), 11 estão dentro do limite da BHS (figura 2.14), não estando consideradas as minas de Aljustrel, por ainda se encontrarem em actividade (manutenção). Neste diagnóstico, constatou-se que a influência dos materiais resultantes da actividade mineira se faz sentir no meio envolvente, mesmo depois do abandono da exploração, constituindo as escombrelas a maior fonte de contaminação. Assim, as águas de escorrência das escombrelas, originadas pela infiltração das águas das chuvas no material acumulado no exterior da mina, bem como as águas que contactam com as frentes expostas das explorações, exhibem concentrações anómalas dos metais explorados, resultado de processos químicos de dissolução.

Todos os casos avaliados neste estudo apontam para o efeito poluente dos sulfuretos, que sendo muito vulneráveis aos agentes atmosféricos, em resultado do seu baixo potencial de oxi-redução, se transformam facilmente em presença do oxigénio dissolvido nas águas pluviais. A oxidação dos sulfuretos implica a diminuição dos valores de pH das águas de

escorrência, situação que favorece a estabilização dos metais em solução (permitindo o transporte), para além de induzir um maior poder dissolvente.

Das 172 ocorrências minerais na BHS (figura 2.14), destacam-se as minas de Aljustrel (figura 2.15), Lousal (figura 2.16) e Caveira (figura 2.17), pela amplitude dos trabalhos mineiros aí desenvolvidos durante décadas que, tendo contribuído em larga escala para a carga poluente em metais pesados drenada nas linhas de água da bacia, também deixaram impresso nas populações que delas dependiam um valor cultural incontestável, razão pela qual são alvo de estudos para futura musealização, processo já iniciado na área mineira de Lousal.

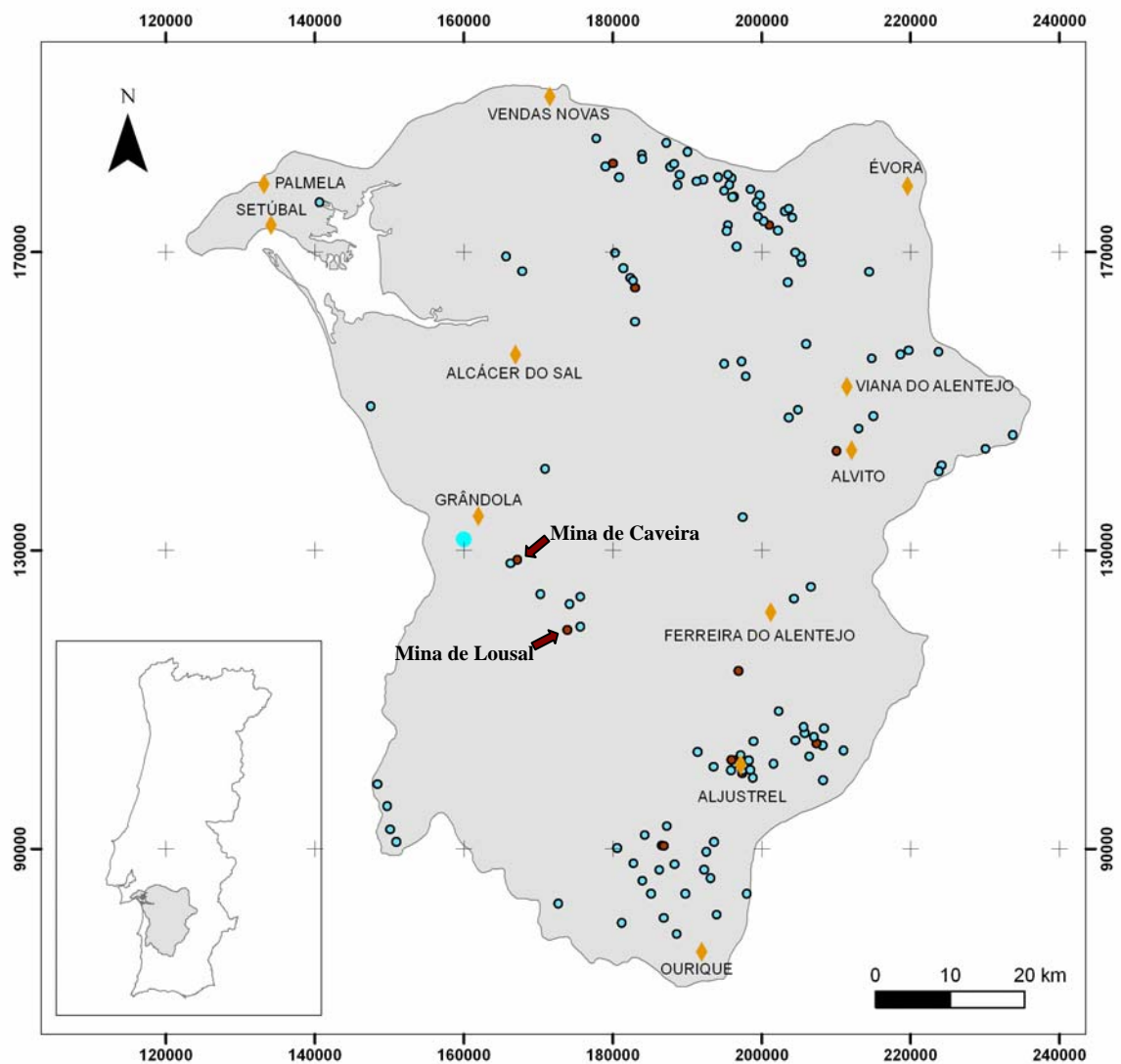


Figura 2.14 – Ocorrências minerais exploradas na BHS.

- Ocorrências minerais exploradas (abandonadas ou em manutenção).
- Ocorrências minerais abandonadas com estudo de impacto ambiental.
- ◆ Sedes de Concelho



Figura 2.15 – Minas de Aljustrel (couto mineiro de Feitais): aspecto da exploração abandonada (em cima à direita) e águas ácidas da lixiviação das escombrelas (em cima à esquerda e em baixo).



Figura 2.16 – Mina de Lousal: aspecto das escombrelas e instalações da mina abandonada (à esquerda) e águas ácidas da lixiviação das escombrelas a direita).

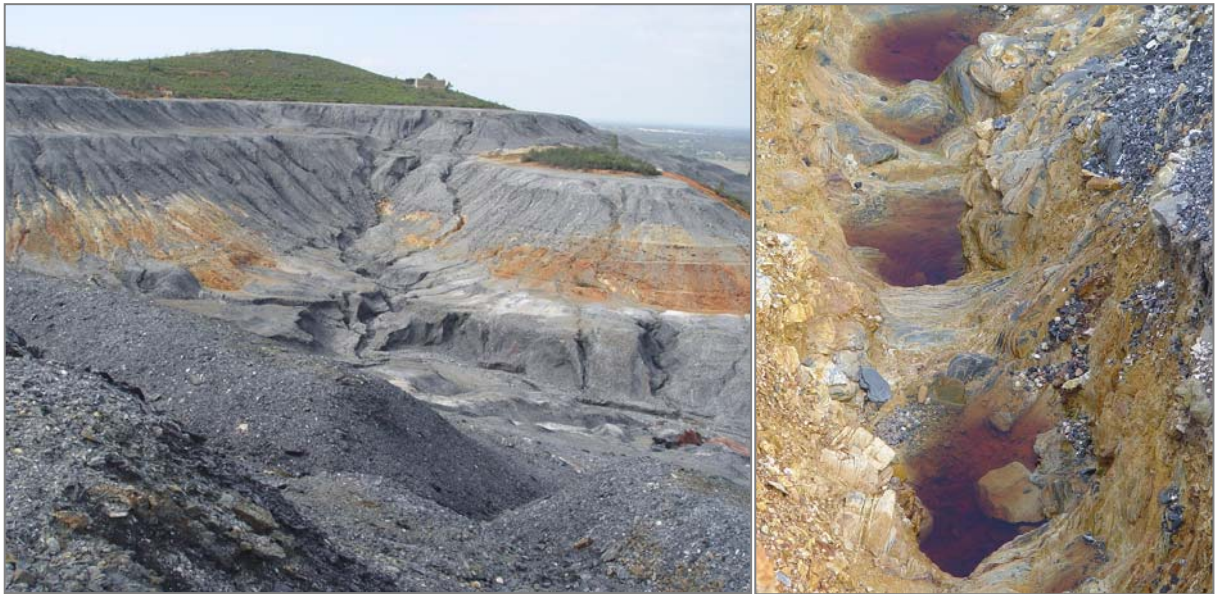


Figura 2.17 – Mina de Caveira: aspecto geral das escombrelras (à esquerda) e das águas ácidas da lixiviação das escombrelras (à direita).

2.7.2. Poluição urbana

A ocupação urbana da BHS corresponde a menos de 1% da área total da bacia, com uma densidade populacional baixa (figura 2.18), que ronda os 31,2 habitantes/km² (Hidroprojecto, 1999-2003). O índice de dispersão na BHS é muito elevado, existindo poucos aglomerados urbanos com peso significativo, podendo distinguir-se Setúbal e Évora.

O facto de a ocupação urbana apresentar um elevado índice de dispersão, tem atrasado a ligação das pequenas povoações a redes de águas residuais. Embora nos últimos anos tenha ocorrido uma significativa melhoria da situação, o saneamento básico é ainda considerado como insuficiente (Salazar, 1997; Hidroprojecto, 1999-2003).

A poluição de origem urbana, que representa apenas 7% da totalidade das fontes pontuais de poluição estimadas (Hidroprojecto, 1999-2003), corresponde em grande parte às cidades de Setúbal e Alcácer do Sal, só a primeira, com cerca de 51% e o conjunto das duas com 74% do volume total de efluentes domésticos (Costa, 1988).

O grande desenvolvimento urbano da região de Setúbal a partir da década de 60, teve influência directa na qualidade da água do estuário, devido ao aumento do volume dos efluentes domésticos, lançados directamente no estuário do Sado. Entre 1960 e 1981, a população de Setúbal duplicou, passando de cerca de 50000 para cerca de 100000 habitantes,

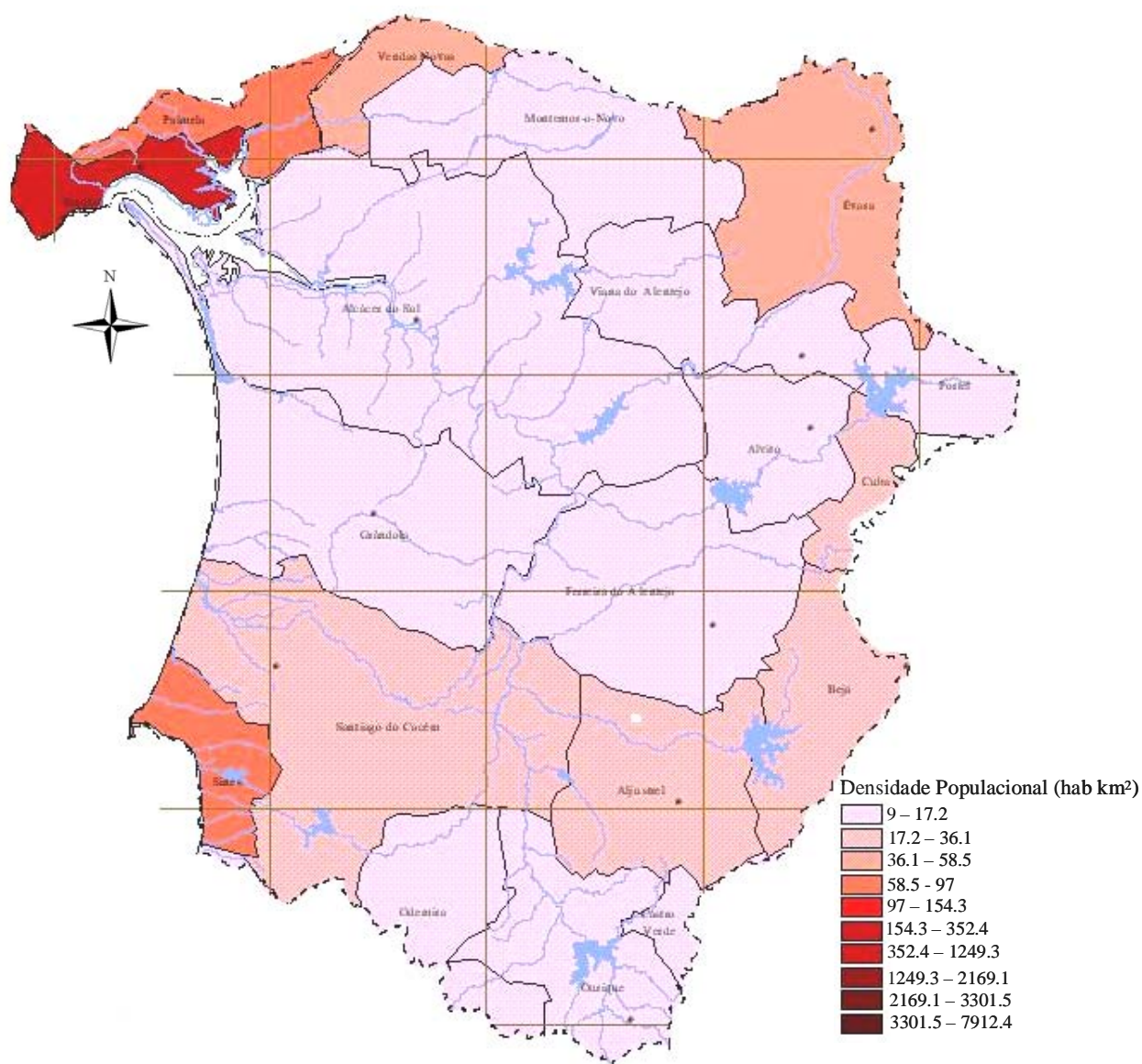


Figura 2.18 – Densidade populacional na BHS.
(adapt. de Hidroprojecto, 1999-2003).
Quadrícula quilométrica do sistema de Hayford - Gauss

tendo-se verificado um aumento paralelo nos pequenos aglomerados urbanos nas áreas marginais do estuário (Praias do Sado, Santo Ovídeo, Faralhão) (Ferreira, 1990).

As águas residuais da cidade de Setúbal foram, até 2003, descarregadas directamente nas águas estuarinas através da ribeira do Livramento. Desde essa data, os efluentes da cidade são encaminhados para a ETAR de Setúbal. Refira-se ainda a existência de outras cinco ETAR's que, construídas nas décadas de 80 e 90, recolhem as águas residuais dos

aglomerados urbanos que servem, nomeadamente de Pontes, Aldeia Grande, Castanhos, Mitrena e Faralhão.

2.7.3. Poluição agrícola

Os espaços agrícolas dominam a ocupação do solo na BHS, com cerca de 50% da área total da bacia. Neste domínio, a orizicultura merece especial destaque, ocupando mais de 10000ha (Romero, 2002), dos quais 2500ha na RNES (Neves *et al.*, 2004), constituindo zonas húmidas artificiais importantes na alimentação de algumas aves aquáticas. Localizando-se essencialmente na margem sul do estuário, com especial incidência na zona da Comporta, Carrasqueira e Canal de Alcácer (figura 2.11), esta é uma das regiões de produção de arroz mais importantes do país. Na sua maioria, os arrozais estabeleceram-se em áreas de sapal, contribuindo desta forma para a diminuição das áreas intertidais estuarinas que, em paralelo com os poluentes químicos (fertilizantes e pesticidas) que lançam no estuário, constituem os principais factores negativos da implantação desta cultura.

A actividade agrícola representa a principal fonte de poluição difusa na BHS, escoando águas de irrigação contaminadas por tratamentos fitossanitários e pela adubação das culturas de regadio, águas de zonas de floresta e pastagem e ainda as escorrências das unidades agro-pecuárias.

De um modo geral, verifica-se que há aumento da exportação de poluentes (essencialmente orgânicos) com origem nas actividades agrícolas para jusante da rede hidrográfica, sendo o estuário a zona mais afectada. A principal fonte de poluição difusa é a agricultura (com especial destaque para as culturas de regadio), com níveis de poluição superiores aos de origem urbana, para alguns nutrientes como o fósforo e azoto (Hidroprojecto, 1999-2003), conduzindo à carência bioquímica de oxigénio e à eutrofização das águas.

2.7.4. Captações de água

Paralelamente à poluição de diversas origens, o aumento progressivo da captação de água para actividades agrícolas, diminui os caudais e conseqüentemente a capacidade autodepuradora do sistema natural, potenciando de forma significativa os efeitos da poluição.

Este efeito é particularmente importante no estuário do Sado, onde, como já foi referido anteriormente, desaguam três sistemas fluviais, dois dos quais com caudais negligenciáveis durante todo o ano (Canal de Águas de Moura e Canal da Comporta) e o rio

Sado, caracterizado por uma concentração elevada do caudal nos meses de Inverno, reduzindo-se a caudais pouco significativos na época de estiagem. Se a este facto se somar o aprisionamento das águas nas 14 barragens existentes na BHS e nos inúmeros diques de irrigação, a dimensão das consequências levantadas pela captação de água origina problemas ambientais, essencialmente sentidos ao nível do estuário.

Esta situação é ainda agravada pela intensificação das descargas das agro-indústrias (adegas, lagares de azeite e fábricas de tomate) que, nos meses secos, estão no seu período de maior laboração.

2.7.5. Artificialização das margens do estuário

As saliniculturas constituíram, provavelmente, a primeira tentativa de artificialização das margens do estuário, ainda na época da colonização romana. No entanto, estes biótopos artificiais representam, para muitas espécies de aves, locais de primordial importância como zonas de refúgio, nidificação e alimentação, quer no Inverno, quer durante as passagens migratórias. Embora instaladas sobre as zonas de sapal, este biótopo, em termos de habitat para as aves, não diverge significativamente do original, adicionando alguma segurança porque nele não se regista o fluxo periódico das marés (Romero, 2002).

Os aterros da península da Mitrena (cais da Eurominas e Setenave) e as instalações do porto de Setúbal, são sem dúvida as alterações mais visíveis decorrentes da fixação humana nas margens do estuário do Sado, conduzindo a artificialização intensa da margem do estuário, entre Setúbal e o Canal de Águas de Moura. Acresce a estas alterações, as dragagens frequentes nos fundos da entrada do estuário e na zona do cais da Setenave (com o objectivo de manter a navegabilidade do estuário).

A destruição de zonas intertidais e a influência na circulação das águas estuarinas, assim como a introdução de fontes poluidoras no seio do estuário (unidades industriais e movimento de navios) são os principais factores negativos.

2.7.6. Desenvolvimento turístico

A restinga de Tróia oferece condições muito atractivas para a localização de empreendimentos turísticos, com a serra da Arrábida e a baía de Setúbal como cenário de fundo e uma extensa costa de praia, orlada por dunas preservadas.

Nas últimas décadas, a ocupação deste ambiente de excelência não pautou pela harmonia com o ambiente, com a edificação do complexo turístico da Torralta, orientado para

um turismo de massas. A implosão de duas das seis torres do antigo complexo turístico em Setembro de 2005, marcou o arranque de um novo ciclo, que pretende compatibilizar o desenvolvimento turístico de Tróia com a preservação do ambiente. Esta é, pelo menos, a convicção dos governantes e de alguns ambientalistas, que apontam como mais valias do projecto da Sonae, a procura de uma efectiva sustentabilidade no uso dos recursos naturais existentes, conciliando o desenvolvimento económico com a protecção do ambiente.

2.7.7. Exploração desregada dos recursos

As cerca de duas centenas de embarcações actualmente autorizadas a operar no estuário, praticam a pesca artesanal de cerca de 73 espécies de peixes (Neves *et al.*, 2004), havendo regulamentação para o controlo do pescado. No entanto, a fiscalização é ineficiente e há conhecimento de práticas ilegais, nomeadamente a apanha de juvenis (Neves *et al.*, 2004) e a prática do arrasto que contribui, através do revolver dos fundos, para o empobrecimento das populações que deles dependem, permanente ou temporariamente (Costa, 1988; Pessoa, 1999).

Relativamente aos anelídeos, capturados para utilização como isco na pesca, a legislação existente é frequentemente desrespeitada (Bruxelas *et al.*, 1992) e tem vindo a ser intensificada como consequência do aumento da procura. A intensificação da captura destes invertebrados poderá conduzir à sua redução ou eliminação do estuário, com consequências ao nível das cadeias alimentares. Por outro lado, a perturbação física dos sedimentos provocada por esta actividade, conduz ao aumento da turbidez da água e consequente diminuição da taxa fotossintética, para além de alterações ambientais que afectam a fauna bentónica.

A sobreexploração de moluscos no estuário do Sado nos anos 60/70 constituiu, de entre todos os recursos, o caso mais evidente de prática desregada com efeitos nefastos no número de indivíduos. O caso das ostras (*Crassostrea angulata* e *Ostrea edulis*), dos búzios (*Trunculariopsis brandaris* e *Trunculariopsis trunculus*) e das amêijoas (*Ruditapes decussata* e *Veneropsis spp.*), são disso um exemplo, existindo actualmente em número muito reduzido.

A somar ao efeito das capturas avultadas durante décadas (que em grande parte não eram declaradas na lota), a alteração da qualidade das águas estuarinas pela poluição introduzida pelas indústrias implantadas na região na década de 70, provocou um acentuado declínio na produção ostreícola. A elevada mortalidade destes animais, coincidente com a

instalação da Setenave, é hoje atribuída ao uso de tintas *anti-foiling* que contêm tributil de estanho (Bruxelas *et al.*, 1992; Pessoa, 1999).

A sobreexploração do búzio na década de 70, coincidente com o declínio da produção ostreícola, conduziu à drástica redução do número de indivíduos, em boa parte devido à diminuição das ostras, de que os búzios são predadores.

2.8. Sapais do estuário do Sado

2.8.1. Evolução recente

Os sapais ocupam na actualidade, cerca de 11,5% da margem do estuário (Andrade *et al.*, 2006), constituindo uma faixa estreita e descontínua, com maior expressão na margem direita do Canal de Águas de Moura e nas zonas da Carrasqueira e Comporta (figura 2. 10).

As plataformas intertidais do estuário do Sado, constituídas por sapais e rasos de maré, desenvolveram-se entre as cotas -1,8m e +2,0m (Moreira, 1992). As zonas mais altas (zonas de sapal), colonizadas por vegetação halófitas, apresentam nas últimas décadas sintomas de regressão (Moreira, 1992; Andrade *et al.*, 2006). A zona mais baixa, não vegetada, corresponde aos rasos de maré, está em franca expansão. A fronteira entre os dois conteúdos intertidais é materializada por uma escarpa, que pode medir entre 0,5 – 2,0m.

A mancha de sapal, tão importante nas funções ecológicas que desempenha, apresenta um desenvolvimento horizontal negativo, justificado pela erosão e recuo da sua margem externa por um lado, e pelo facto da sua margem interna, em quase toda a sua extensão, se encontrar balizada por diques, que impedem a inundações das marés. Este facto é só por si negativo, uma vez que impede a migração das manchas de sapal para o interior, num período em que a subida do NMM é uma realidade.

Andrade *et al.* (2006), sugerem que a erosão do baixo sapal (hoje praticamente ausente no estuário) está na origem dos sedimentos acumulados nos rasos de maré, havendo assim uma redistribuição de material nas margens do estuário, com um sapal em franca regressão, em favor do assoreamento dos rasos de maré, que já ocupam 28% da área marginal do estuário.

De um modo geral, as condições climáticas existentes nesta zona, favorecem o processo de erosão das margens do sapal: em Verões quentes formam-se frequentemente fendas de retracção no solo argiloso do sapal, seguindo-se Invernos com períodos de chuvas

concentradas, que aceleram o desmoronamento das margens, ficando esse material disponível para se acumular nos rasos de maré, topograficamente mais baixos.

Por outro lado, visto que a descarga fluvial é negligenciável no Verão e as aflúências vultosas do rio Sado já não se fazem sentir devido à retenção das águas nas barragens, são as descargas controladas dessas mesmas barragens que proporcionam (no Inverno ou no início da Primavera) a chegada de sedimentos fluviais ao estuário, funcionando como um suplemento sedimentar para as zonas de sapal.

Para além da erosão das margens do sapal e do fraco contributo fluvial (sedimentos finos), os sedimentos disponíveis para a acumulação nos rasos de maré podem ainda ter origem no delta de vazante do estuário externo (sedimentos arenosos) (Moreira, 1992).

Os mecanismos de recuo da escarpa que representa a frente do sapal no estuário (descritos por Moreira, 1992) estão relacionados com vários factores que dependem, entre outros, do tipo e densidade de vegetação, da presença de animais escavadores e das características sedimentológicas do solo de sapal. Em várias frentes, as actividades antrópicas contribuíram directa ou indirectamente na erosão do sapal, estimando-se um recuo médio de 17cm/ano, no período de 1978-1989 (Moreira, 1992).

Embora a regressão da mancha de sapal (especialmente do baixo sapal) seja um facto preponderante no estuário do Sado, em locais abrigados, como a Norte da península da Mitrena e a Este da Ilha do Cavalo, regista-se uma acreção horizontal, que atingiu valores de 1m/ano para o mesmo período de tempo (Moreira, 1992).

De uma forma geral, o estuário interno apresenta uma tendência para a acreção, com taxas de acumulação médias de 9mm/ano, que superam largamente a subida do NMM verificada desde o século XIX, estimada em cerca de 1-2mm/ano (Andrade *et al.*, 2006).

Assiste-se assim a um reajustamento na morfologia das margens estuarinas, face à subida do NMM, feito essencialmente à custa de redistribuição de sedimentos.

A zona de sapal onde foram recolhidos os sedimentos estudados localiza-se no Faralhão, a norte da península da Mitrena (figura 2.19), uma das zonas do estuário com maior expressividade destes ambientes. Embora o Faralhão constitua uma zona com um crescimento demográfico crescente, desde a década de 60, a influência antrópica que aqui se faz mais notar, está relacionada com a proximidade da industrializada península da Mitrena (figura 2.19) e cidade de Setúbal.

Esta zona, completamente descaracterizada, foi alvo de forte intervenção antrópica, primeiro através da reclamação das áreas de sapal para a instalação de salinas (agora

transformadas em pisciculturas) e depois no crescimento urbano e industrial, com o aterro de grandes áreas de sapal para a instalação de cais (porto de Setúbal, cais Transminas, cais Sapec, cais Eco-oil, cais Lisnave e cais Eurominas).



Figura 2.19 – Localização do local de estudo (sapal do Faralhão).

2.8.2. Composição e importância da cobertura vegetal

A vegetação dos sapais é relativamente pobre do ponto de vista florístico. Estes ambientes são quase exclusivamente colonizados por um reduzido número de espécies, com características morfológicas e fisiológicas bem adaptadas ao habitat peculiar em que se desenvolvem.

O baixo sapal apresenta uma composição florística pobre, com 9 espécies identificadas (Moreira, 1987), não excedendo as 6 espécies diferentes nos levantamentos locais, revelando o elevado grau de especialização da flora relativamente às condições limitantes deste ambiente. Este domínio, designado na origem por morraçal, é dominado pela presença de *Spartina marítima* (morraça), muitas vezes constituindo povoamentos quase puros desta planta (anexo 3), situação favorecida pela emissão de estolhos longos (até 1m), que promovem a colonização monoespecífica e pela emissão de raízes profundas, que lhe conferem

vantagem na competição. Em associação com *Spartina marítima*, ocorre *Arthrocnemum perene*, *Puccinellia marítima*, *Suaeda marítima* e *Salicornia nitens* (Moreira, 1987).

O alto sapal revela uma maior diversidade, com 26 espécies e 14 como o número máximo em cada local, identificadas pela mesma autora. As espécies mais frequentes são *Halimione portucaloides*, *Arthrocnemum glaucum*, *Arthrocnemum fruticosum*, *Arthrocnemum perene*, *Suaeda vera*, *Juncus maritimus*, *Limonium vulgare* e *Inula crithmoides*, algumas identificadas neste trabalho (anexo3). No limite interior da plataforma de preia-mar de águas vivas, onde o solo é mais evoluído, domina o *Juncus maritimus*, em povoamentos que se designam por Juncais.

A vegetação dos sapais, pela sua capacidade de sequestrar metais pesados do meio envolvente, desempenha um papel de grande interesse ecológico pelo facto de, na generalidade, e em sequência da sua localização, os sapais estarem sujeitos a importantes descargas poluentes, tal como acontece, ou pelo menos aconteceu, até um passado muito recente, nos sapais do estuário do Sado. A vegetação dos sapais actua assim como um sumidouro, contribuindo para o aprisionamento das partículas em suspensão na água do estuário.

Assim, os poluentes chegados ao meio aquático, devido à afinidade com as fases particuladas, podem ser depositados na camada superficial dos sedimentos ou ser incorporados pelas plantas do sapal. O ciclo de transporte desses poluentes passa então a fazer-se nas cadeias tróficas e tem como destino final os sedimentos locais, no caso de morte e soterramento desses seres vivos.

A tomada de metais pesados pelas plantas está, muitas vezes, relacionada com as concentrações totais existentes nos sedimentos (Rozema *et al.*, 1990 e Otte, 1991, *in* Caçador, 1994), com a especiação química dos metais, que é determinada por propriedades físico-químicas dos sedimentos (Bruemmer *et al.*, 1986; Davies *et al.*, 1986; Alloway *et al.*, 1988 e Otte, 1991, *in* Caçador, 1994) e ainda com factores intrínsecos às próprias plantas, tais como a idade, o estado fisiológico e o tipo de metabolismo (Cataldo & Wildung, 1983, *in* Caçador, 1994), para além do tipo de plantas.

A título de exemplo, refira-se o comportamento de *Halimione portucaloides* (dicotiledónea), que nos sapais do estuário do Sado, revelou maiores acumulações de cobre e zinco que *Spartina marítima* (monocotiledónea). No entanto, estudos nos sapais do estuário do Tejo (Caçador, 1994) não revelaram diferenças significativas nas concentrações destes metais nos tecidos destas plantas, quando estas se encontravam no mesmo sapal, podendo

inferir-se que as diferentes condições ambientais a que estão sujeitas estas duas espécies, consequência da sua distinta localização no sapal (alto sapal/baixo sapal), podem gerar diferenças na disponibilidade dos metais.

Por um lado, a absorção de metais pelos halófitos retira do meio aquático os elementos poluentes introduzidos pelo Homem, promovendo a depuração natural do ecossistema. Quando as plantas morrem, os seus detritos orgânicos ficam retidos no solo do sapal e o conteúdo metálico desses detritos fica, na maior parte dos casos, sob uma forma indisponível para nova absorção (Reboredo, 1988). Desta forma, a transferência de metais do meio aquoso para os sedimentos, constitui uma reciclagem natural e os teores de metais nos sedimentos irão estar associados à matéria orgânica. Por outro lado, se os halófitos possuírem uma razoável capacidade bioacumulativa e estiverem na base de cadeias tróficas, haverá inevitavelmente uma contaminação de todos os elos dessa cadeia.

Para além da maior ou menor capacidade de bioacumulação de metais pelos halófitos, a sua estrutura radicular e a existência de estolhos entrelaçados, promove a retenção de partículas (orgânicas e/ou minerais) transportadas em suspensão na água do estuário, conduzindo a um efeito semelhante ao da bioacumulação, ou seja, a depuração do meio aquático.

Embora alguns halófitos possam constituir um excelente material forrageiro, o seu interesse económico é reduzido, tendo sido explorados para tal no passado. Contudo, a preservação dos sapais e indirectamente das comunidades halofíticas que aí se encontram é essencial para a protecção de autênticos santuários de vida selvagem que, de uma forma controlada, podem constituir pólos de desenvolvimento turístico e pedagógico de excelência.

3. MÉTODOS

3.1. Trabalho de campo

O trabalho de campo foi realizado em duas etapas e consistiu na execução de duas sondagens em sapal do Estuário do Sado, na Ponta do Faralhão, a norte da Herdade da Mitrena (Carta Militar à escala de 1:25 000, Folha 455 – Águas de Moura, editada em 1994; coordenadas UTM 29SNC1897463469 (Figura 3.1). A recolha dos testemunhos de sondagem foi efectuada com um amostrador do tipo van der Horst.

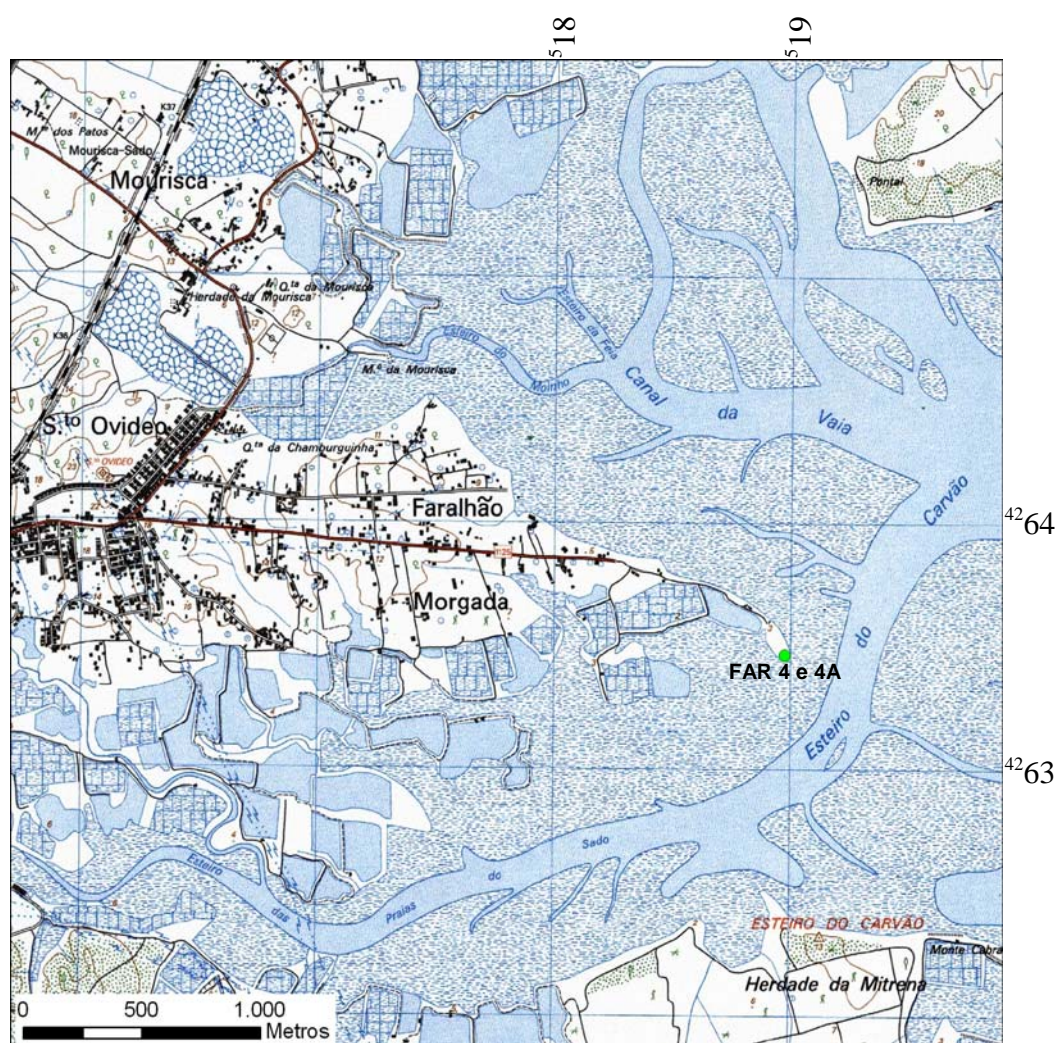


Figura 3.1 - Localização das sondagens FAR 4 e 4A. Extracto da Folha 455 da Carta Militar de Portugal (1:25 000) editada em 1994, do Instituto Geográfico do Exército. As coordenadas referem-se à quadrícula quilométrica U.T.M. Fuso 29-Elipsóide Internacional-Datum Europeu.

A primeira sondagem (FAR 4), com profundidade total de 242 cm, foi realizada em 13 de Agosto de 2003, tendo-se recolhido os 84 cm de sedimentos mais superficiais para amostragem posterior e caracterizado o restante no local. A segunda sondagem (FAR 4A), com profundidade total de 76 cm, foi realizada em 28 de Março de 2005, no mesmo local da primeira. Os testemunhos recolhidos foram imediatamente envolvidos em película plástica, devidamente etiquetados e transportados para o laboratório.

A cota da boca da sondagem (3,53m) foi obtida através de levantamento topográfico, efectuado com uma estação total Zeiss e ligada posteriormente à rede geodésica nacional.

3.2. Ensaios laboratoriais

No laboratório, os testemunhos foram seccionados em lâminas com 1 cm de espessura. O estudo sedimentológico e geoquímico das amostras recolhidas processou-se nos Laboratórios do Departamento de Geologia da F.C.U.L..

A sondagem FAR 4 foi destinada ao estudo geoquímico. Nela foram seleccionadas 13 amostras (profundidade entre 0 e 34 cm) nas quais, depois de secas e moídas em moinho de ágata foi determinado, na Universidade de Bordéus (França), o excesso natural de ^{210}Pb e o radionuclido artificial ^{137}Cs por espectrometria γ , utilizados como traçadores cronométricos para estimar taxas de sedimentação. As mesmas amostras foram usadas para análise geoquímica (elementos maiores e menores), juntamente com outras quatro, seleccionadas entre os 41 cm e os 76 cm de profundidade.

A sondagem FAR4A foi utilizada para os estudos sedimentológicos. Foram seleccionadas 39 amostras, de 2 em 2cm para a determinação do teor de matéria orgânica (MO), carbonato de cálcio e análise textural. O teor de humidade e o pH foram medidos em todas as amostras do testemunho (75 amostras).

3.2.1 Teor de humidade

As amostras húmidas, constituídas por lâminas de 1cm de espessura foram pesadas logo após o corte. Após secagem na estufa a 60°C, durante pelo menos 48 horas, procedeu-se a nova pesagem, obtendo o peso em água por diferença ponderal.

O teor de humidade de cada amostra é calculado dividindo o peso em água pelo peso da amostra seca.

3.2.2 pH

As determinações do pH dos sedimentos foram efectuadas na amostra total após secagem em estufa a 60°C, com um aparelho de medição InoLab pH 730, pelo método electrométrico especificado na norma E 203 do LNEC (1967a) e classificados segundo Pratolongo (*in* Costa, 1999) (tabela 3.1).

pH do solo	Designação
4,5 ou menor	Hiperácido
4,6 a 5,5	Ácido
5,6 a 6,5	Subácido
6,6 a 7,5	Neutro
7,6 a 8,5	Subalcalino
8,6 a 9,5	Alcalino
9,6 ou maior	Hiperalkalino

Tabela 3.1. – Escala de pH dos solos de Pratulongo (*in* Costa, 1999)

3.2.3 Teor de carbonato de cálcio (Calcimetria)

A determinação do teor de carbonato de cálcio (neste ambiente de sapal, maioritariamente presente devido à ocorrência de bioclastos) é realizada nas amostras secas e desagregadas com o pilão de borracha. Utilizando o calcímetro 08.35 EIJKELKAMP, efectuam-se as determinações segundo a norma que acompanha o aparelho. No entanto, realiza-se previamente uma análise expedita, que consiste na adição de cerca de 1 ml de HCl (diluído a 10%) a aproximadamente 1g de sedimento, observando-se a existência/inexistência de reacção. Nesta análise, à lupa binocular, avalia-se ainda a intensidade da reacção, sendo esta determinante na quantidade de sedimento a utilizar na calcimetria.

A análise expedita da totalidade da amostra revelou inexistência de reacção, pelo que se assumiu que o teor de carbonato de cálcio é nulo.

3.2.4 Teor de matéria orgânica

A determinação do teor de matéria orgânica (MO) foi efectuada por dois métodos: titulação e perda por ignição na mufla.

O primeiro, segundo a norma E 201 do LNEC (1967b), consiste na oxidação do carbono orgânico da amostra com dicromato de potássio e ácido sulfúrico concentrado, seguida de titulação do excesso de dicromato de potássio com sulfato ferroso. A percentagem

da matéria orgânica é estimada a partir do teor de carbono orgânico, com base em fórmula empírica, admitindo que aquela contém em média 58% de carbono e que com esta técnica são oxidados aproximadamente 77% do carbono da matéria orgânica.

O segundo, consiste na perda de matéria orgânica por ignição, na mufla, à temperatura de 550°C durante duas horas. A amostra é previamente desagregada e seca em estufa a 60°C. O teor em matéria orgânica é dado por diferença ponderal entre o peso da amostra antes e depois da queima na mufla, tendo o cuidado de arrefecer as amostras num excicador antes da pesagem final.

3.2.5 Análise textural

A separação entre a fracção grosseira ($> 63\mu\text{m}$) e a fracção fina ($< 63\mu\text{m}$) fez-se com o recurso a crivagem por via húmida. Neste processo foi utilizada uma porção, nunca superior a 30g, de amostra total seca e desagregada. O material que passou o peneiro de $63\mu\text{m}$ (finos) foi usado para efectuar a granulometria de finos, depois de seco num banho de areia e desagregado num almofariz com pilão de borracha. A fracção grosseira, retida no peneiro de $63\mu\text{m}$, foi pesada após secagem em estufa a 60°C e foi calculada a percentagem de grosseiros e finos na amostra total.

Com o objectivo de inferir sobre a distribuição granulométrica das partículas de matéria orgânica na fracção fina ($< 63\mu\text{m}$), procedeu-se à caracterização dimensional da fracção silto-argilosa de duas amostras, depois de destruída a MO. Para tal, a preparação das amostras consistiu na eliminação da MO da amostra inferior a $63\mu\text{m}$, com água oxigenada durante uma semana, após o que se fez a lavagem das amostras até obter valores de pH neutros, seguindo-se o quarteamento a húmido.

A caracterização dimensional da fracção silto-argilosa foi efectuada por difracção de um feixe Laser, utilizando um sedimentógrafo MALVERN – modelo Mastersizer 2000 - Hydro 2000 MU, em amostras com matéria orgânica. O *software* do aparelho divide automaticamente a amostra em várias classes e fornece a percentagem de material existente em cada uma, obtendo-se um histograma da distribuição, para cada amostra. Foi ainda obtida a percentagem de material existente em seis classes dimensionais ($63\mu\text{m}$ - $32\mu\text{m}$; $32\mu\text{m}$ - $16\mu\text{m}$; $16\mu\text{m}$ - $8\mu\text{m}$; $8\mu\text{m}$ - $4\mu\text{m}$; $4\mu\text{m}$ - $2\mu\text{m}$ e inferior a $2\mu\text{m}$) coincidentes com os limites atribuídos por Friedman & Sanders (1978) respectivamente para siltes muito grosseiros, siltes grosseiros, siltes médios, siltes finos, siltes muito finos e argilas. A preparação da amostra para análise no sedimentógrafo, consistiu na pesagem de 0,06g de material $<63\mu\text{m}$, ao qual se

adicionaram 30cm³ de água desionizada e algumas gotas de desfloculante (mistura de 36g de *calgon* e 8g de carbonato de sódio em 1 litro de água destilada), a fim de evitar a floculação das partículas finas. A suspensão foi colocada alguns minutos na tina de ultra-sons, para desagregar totalmente as partículas e depois colocada no copo de análise do sedimentógrafo.

Na classificação dos sedimentos com teores elevados de partículas finas recorre-se geralmente a diagramas triangulares. Neste trabalho utilizaram-se o de Pejrup (1988) e o de Flemming (2000). A classificação de Pejrup propõe um diagrama inovador, baseado em considerações de índole hidrodinâmica. Com esta classificação distinguem-se 16 classes texturais e com base na razão silte/argila, obtêm-se “grupos hidrodinâmicos”, o que permite ter a percepção dos níveis energéticos que condicionaram a deposição do sedimento. A classificação de Flemming, uma das mais recentes propostas classificativas deste tipo de sedimentos, apresenta o conteúdo em areia como o indicador principal de hidrodinamismo, contemplando também a razão areia/vasa. Distinguem-se 6 classes texturais, representando as classes extremas uma areia (conteúdo em vasa <5%) e uma vasa (conteúdo em vasa > 95%). Embora as duas classificações apresentem como objectivo a caracterização do hidrodinamismo que presidiu à deposição dos sedimentos, a de Fleming tem a vantagem de complementar com uma terminologia descritiva acessível. Embora estes dois autores considerem o limite silte/argila 2µm, foram projectados os resultados utilizando o limite 2µm (adoptado por Friedman & Sanders, 1978) e 4µm (proposto por Wentworth e Udden *in* Pettijohn, 1975).

Os teores em material > 63µm são muito pequenos, não justificando a realização de granulometria neste tipo de partículas. No entanto, esta fracção foi analisada com o auxílio de uma lupa binocular, tendo sido identificada a sua composição e avaliada a percentagem de cada componente por estimativa visual.

3.2.6 Análise Geoquímica

As amostras destinadas a análise geoquímica sofreram crivagem a seco, num crivo acrílico de 2mm, após o que foram moídas em moinho de ágata.

Foram analisados os teores em sódio, magnésio, alumínio, potássio, cálcio, titânio, manganês, ferro e sílica (elementos maiores) e cobre, cobalto, chumbo, zinco e crómio (elementos menores) nos sedimentos da sondagem FAR4 (21 amostras).

O teor em sílica foi determinado pelo método gravimétrico - Fusão com Carbonato de Sódio seguindo uma adaptação do procedimento descrito por Washington (1930) (anexo 4).

Os restantes elementos foram determinados por espectrometria de absorção atómica por chama, usando as amostras de sedimento em solução. Este método baseia-se no facto de os átomos de diferentes elementos, no seu estado fundamental, absorverem energia com um comprimento de onda característico e de a absorvância (A) ser proporcional à concentração atómica (Rowland, 1997), sendo que $A = \text{Log}_{10} (I_0/I)$ (Lei de Beer - Lambert), em que I_0 representa a intensidade do raio de luz incidente e I , a intensidade de luz emergente da chama (figura 3.2). Desta forma, determina-se a concentração de cada elemento na amostra a partir da absorvância apresentada para um comprimento de onda específico.

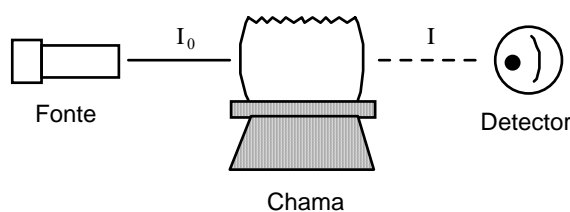


Figura 3.2 – Ilustração do processo de absorção atómica (*in* Caetano, 2004).

A preparação das amostras para análise por espectrometria de absorção atómica faz-se recorrendo ao método ataque fluorídrico – perclórico com volatilização do silício, seguindo uma adaptação da descrição do método por Pinta (1971) (anexo 4).

A solução de amostra preparada para ser analisada no aparelho de espectrometria de absorção atómica por chama é sujeita a uma diluição prévia, tendo em conta a concentração esperada para os vários elementos, de acordo com a concentração na amostra-padrão.

Nestes sedimentos, a diluição efectuada foi de 2/100 para todas as leituras excepto para o titânio e manganês, cujas concentrações na amostra-padrão são muito baixas. Na diluição da amostra para leitura do alumínio e do cálcio, adiciona-se ainda 1 ml de cloreto de potássio e 1 ml de óxido de lantânio, respectivamente, para corrigir as interferências nas leituras (elementos existentes na amostra que alteram por excesso ou defeito as concentrações dos elementos a detectar). No caso da preparação da amostra para a leitura do titânio, adiciona-se cloreto de potássio (1 ml) para evitar a ionização na chama.

O espectrómetro de absorção atómica por chama possui uma fonte de radiação que é uma lâmpada de cátodo. Esta lâmpada é uma fonte de luz estável, necessária para emitir um espectro característico do elemento a determinar. Em regra, é necessária uma lâmpada para

cada elemento, existindo porém algumas lâmpadas que podem ser utilizadas para determinar elementos diferentes.

Os iões em solução têm que passar para o estado gasoso para possibilitarem a sua detecção, recorrendo para isso a uma chama (fonte de calor) que vai transformar a amostra num aerossol que alimenta o queimador. Durante a combustão, os átomos do elemento a detectar são reduzidos ao estado atómico fundamental, absorvendo luz de um comprimento específico, sendo possível determinar a quantidade de luz absorvida por meio de comparação com uma curva padrão.

Podem utilizar-se diferentes tipos de chama, que são obtidos através do uso de diferentes misturas de gases, de acordo com a temperatura de queima necessária para a determinação de cada elemento. Nesta análise foi usada uma chama oxidante de ar-acetileno a 2000°C para a análise de sódio, magnésio, potássio, ferro, manganês, cobre, cobalto, chumbo e zinco; uma chama redutora de ar-acetileno a 2000°C para o cálcio e uma chama de protóxido de azoto-acetileno para o alumínio e titânio.

No tabuleiro de leitura, colocam-se as amostras intercaladas (de 5 em 5) com os padrões internacionais, que são seleccionados de acordo com o sedimento/rocha a ser analisado e que sofrem todo o processo de preparação anteriormente descrito (método ataque fluorídrico – perclórico com volatilização do silício). Introduzem-se ainda os padrões de leitura com os elementos puros diluídos. As diluições são realizadas conforme instrução do aparelho, tendo em conta a sensibilidade máxima de leitura para cada elemento.

Na quantificação dos voláteis existentes em cada amostra foi utilizado o método da perda ao rubro ou *loss on ignition* (LOI), que consiste na determinação por diferença ponderal, antes e depois da amostra ser levada ao rubro num bico de Mecker, aproximadamente durante 30 minutos, atingindo temperaturas entre os 700 e os 800°C. A diferença ponderal corresponde não só à eliminação da matéria orgânica, mas também à perda de água e de todos os voláteis que existam na amostra.

Os resultados obtidos para os óxidos dos elementos maiores (anexo 10), foram convertidos para valores percentuais dos respectivos elementos, dividindo o peso percentual do óxido pela razão massa do óxido/massa do elemento.

3.2.7. Geocronologia isotópica: aplicação à determinação da taxa de sedimentação

A geocronologia isotópica utiliza-se para estimar a idade dos sedimentos numa coluna sedimentar. A datação é baseada na determinação, de forma quantitativa, da distribuição vertical de um determinado radioisótopo contido nos sedimentos. Devido a uma desintegração natural, os sedimentos mais antigos, situados a maiores profundidades, contêm uma quantidade menor do radioisótopo analisado.

O isótopo natural mais utilizado para datação, a uma escala de tempo que contemple o desenvolvimento industrial do Homem, é o ^{210}Pb , especialmente adequado para datar sedimentos depositados nos últimos 150 anos. A utilização dos registos do radioisótopo artificial ^{137}Cs é ultimamente bastante frequente, como método de validação da cronologia obtida com o ^{210}Pb (Cundy & Croudace, 1996; Brack & Stevens, 2001; Cruces *et al.*, 2005; Xueqiang & Matsumoto, 2005; Sousa *et al.*, 2006).

As taxas de sedimentação referem-se à quantidade de material (de origem mineral e orgânica) depositado durante um intervalo de tempo, sendo a sedimentação medida em termos da acumulação vertical ao longo do tempo (mm/ano).

Mais recentemente, as modificações nas taxas de sedimentação nos sapais têm sido propostas como meios para monitorização das modificações nos ambientes costeiros. Uma vez que os sapais se situam na zona intertidal, é razoável assumir-se que a taxa de acreção vertical nestes ambientes, determinada nos sedimentos mais modernos, é aproximadamente igual à taxa local de subida do nível do mar (Bricker-Urso *et al.*, 1989). Embora a taxa de sedimentação seja afectada por vários factores, tais como a disponibilidade de sedimentos e o coberto vegetal da superfície do sapal, a geocronologia dos sedimentos modernos tem recorrido com frequência a marcadores como os dois radioisótopos aqui referenciados.

3.2.7.1. Isótopo ^{210}Pb

O isótopo ^{210}Pb , tem um período de semi-vida de 22,3 anos, o que lhe confere uma importância especial na datação de sedimentos modernos, abrangendo um período de cerca de 150 anos (Nittrouer *et al.*, 1983). Uma vez que as taxas de acumulação em ambientes costeiros rondam os milímetros por ano, os últimos 100 anos de sedimentação estão representados no último metro de sedimentos, o que satisfaz as condições da sondagem analisada.

O Chumbo-210, um radioisótopo da série de desintegração do ^{238}U , forma-se naturalmente nos sedimentos e rochas que contenham o isótopo-pai, assim como na atmosfera, como um subproduto do gás radão-222 (^{222}Rn), a partir do rádio-226 (^{226}Ra) (Attendorn & Bowen, 1997). A transformação do ^{226}Ra em ^{210}Pb , *in situ*, conduz a uma componente do chumbo (*supported* ^{210}Pb) que constitui uma actividade de base nos sedimentos. O excesso de actividade do ^{210}Pb (*unsupported* ^{210}Pb), usado na datação, é originado pelo chumbo que é adsorvido pelas partículas sedimentares, proveniente da rápida desintegração do ^{222}Rn na atmosfera (Attendorn & Bowen, 1997). Uma vez depositado e incorporado nos sedimentos, a actividade do ^{210}Pb em excesso, será função da quantidade inicial e do seu período de semi-vida. A cronologia dos sedimentos numa sondagem é então determinada pela medição da actividade do ^{210}Pb em excesso em cada profundidade, por comparação com a actividade medida nos sedimentos do topo da sondagem, uma vez que a fracção de ^{210}Pb *supported* é constante em profundidade.

Na determinação de taxas de acumulação com recurso ao radioisótopo ^{210}Pb pressupõe-se que os fluxos de sedimentos e de chumbo são constantes (Nittrouer *et al.*, 1983) o que, não se verificando, conduz a erros nas taxas inferidas. Para além desta questão pertinente, há ainda a considerar a possível perturbação dos sedimentos superficiais por processos físicos e biológicos, que afectam a interpretação dos perfis do radioisótopo. Para testar a validade das taxas de acumulação obtidas com o ^{210}Pb , faz-se a comparação com o perfil do radioisótopo artificial ^{137}Cs , cuja data da primeira emissão e máximo de acumulação atmosférica se conhecem com precisão (Nittrouer *et al.*, 1983).

3.2.7.2. Isótopo ^{137}Cs

O Césio-137 é um radioisótopo artificial, libertado nos testes nucleares nos anos 50 e 60 e como resultado de acidentes em instalações nucleares, como foi o caso de Chernobyl em 1986. A primeira ocorrência na atmosfera data de 1954 (Cundy & Croudace, 1996; Brack & Stevens, 2001; Cearreta *et al.*, 2002) e corresponde aos registos mais profundos de actividade do ^{137}Cs nos sedimentos. O valor máximo de actividade deste radioisótopo, corresponde à sua máxima acumulação atmosférica, registada em 1963-1964 (Mebus & Helmut, 1990). O ^{137}Cs é fortemente adsorvido pelas partículas sedimentares no fundo dos lagos ou estuários e o perfil de actividade do isótopo nos sedimentos mimetiza a sua produção atmosférica, se não ocorrerem perturbações na sedimentação.

O ^{137}Cs apresenta um período de semi-vida de 30,2 anos e representa uma ferramenta muito útil na datação dos sedimentos modernos e determinação de taxas de sedimentação nos últimos anos, em especial como método complementar da cronologia obtida com recurso ao ^{210}Pb .

4. CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DO SAPAL DO FARALHÃO

4.1. Características gerais do sapal do Faralhão

A península do Faralhão está situada na margem direita do Canal de Águas de Moura, onde vão desembocar o Canal da Vaia e o Esteiro do Carvão (figura 4.1), uma das zonas do estuário onde as manchas de sapal têm maior expressão.

O aglomerado populacional do Faralhão cresceu sobre as zonas de sapal e a margem sul da península do Faralhão, virada para a industrializada península da Mitrena, sofreu grande alteração devido à instalação de salinas, actualmente convertidas em pisciculturas (figura 4.1).



Figura 4.1 - Enquadramento da península do Faralhão.

Encontram-se na área três ambientes, perfeitamente definidos: o alto sapal, o baixo sapal e o raso de maré.

A área do alto sapal é praticamente plana, marginada por uma escarpa viva, que aqui atinge cerca de 60cm, que materializa o contacto brusco com o raso de maré (tipicamente não vegetado) em quase toda a sua extensão (figura 4.2).



Figura 4.2 – Aspectos do contacto alto sapal/raso de maré.

As margens do alto sapal apresentam-se escavadas na base e sobressalientes no topo, o que promove o seu desmoronamento (figura 4.3), e conduz à redução da mancha de sapal. Na margem norte da península do Faralhão identificam-se pequenas manchas de baixo sapal, colonizado por povoamentos isolados de *Spartina maritima* (figura 4.4).

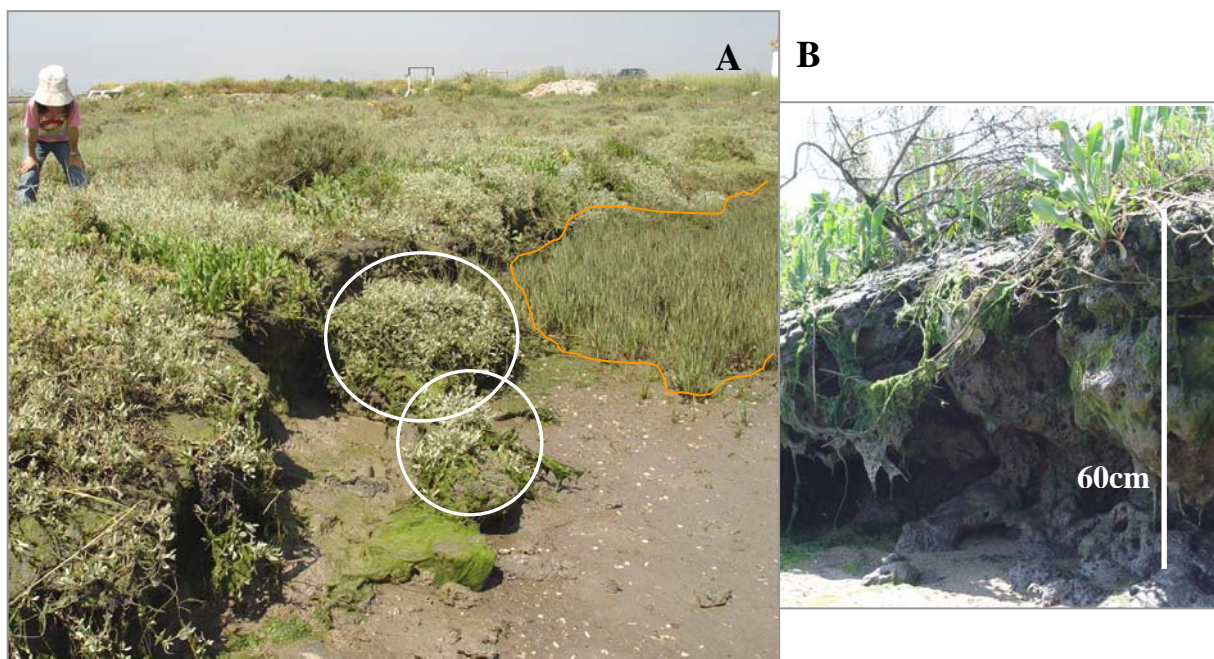


Figura 4.3 – Desmoronamento do alto sapal (branco) sobre o raso de maré e mancha de baixo sapal (laranja) (A); pormenor da morfologia da escarpa que margina o alto sapal (B).



Figura 4.4 – Mancha de *Spartina marítima* (baixo sapal) na margem norte da península do Faralhão.

A distinção entre o domínio de alto e baixo sapal é aqui uma tarefa facilitada, não só pela descontinuidade morfológica materializada pela escarpa, mas também pela composição do coberto vegetal (figura 4.5).

Os retalhos de baixo sapal são colonizados unicamente por *Spartina marítima*, enquanto no domínio de alto sapal foram reconhecidas seis espécies vegetais, parte das identificadas por Moreira (1987) para este domínio de sapal, no estuário do Sado. A vegetação identificada no alto sapal é constituída por: *Halimione portucaloides*, *Arthrocnemum fruticosum*, *Suaeda vera*, *Limonium vulgare*, *Inula crithmoides* e *Puccinellia marítima* (anexo 3).



Figura 4.5 – Domínios intertidais na margem norte da península do Faralhão.

4.2. Caracterização dos sedimentos analisados

As sondagens FAR4 e 4A, foram realizadas em pleno domínio de alto sapal, com início do furo à cota 3,53m. Considerando os limites altimétricos dos domínios de sapal referidos por Davis & FitzGerald (2004), os 41cm mais superficiais correspondem a alto sapal e os restantes a baixo sapal, estando a globalidade da coluna sedimentar amostrada no domínio de sapal (figura 4.6). Na série de pontos cotados ao longo de um perfil efectuado na direcção WSW-ENE (P4 a P8) (figura 4.6) foi identificado o limite entre alto e baixo sapal (figura 4.7) entre o ponto 5 (3,240m) e o ponto 6 (2,935). Os pontos 1 a 4 (perfil NNW-ESSE), com cotas que variam apenas 5cm (3,480 a 3,485m), estão todos situados em pleno alto sapal, uma superfície quase plana (figura 4.6) com vegetação típica. Os pontos 6 e 7 (figura 4.7) situam-se em baixo sapal, inequivocamente identificado pela presença de *Spartina marítima* e pelo desnível relativamente ao alto sapal, materializado por uma escarpa. O ponto 8 corresponde a raso de maré.

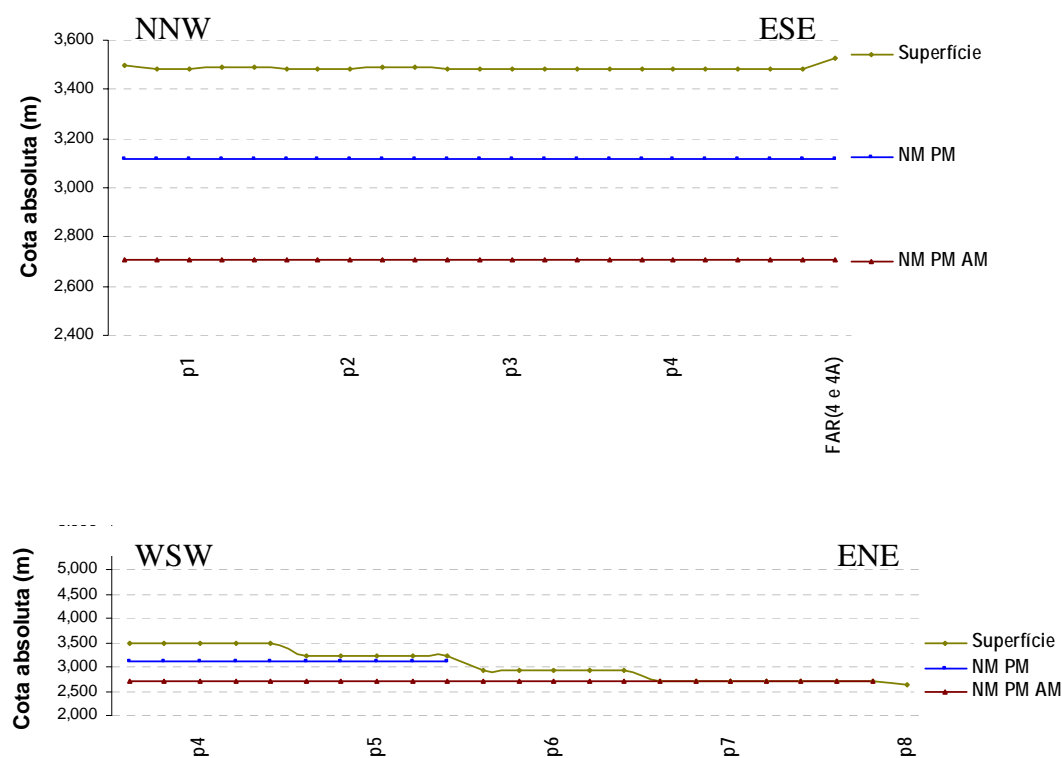


Figura 4.6 – Perfis topográficos efectuados na península do Faralhão.

As cotas absolutas são referenciadas ao zero hidrográfico (ZH).

P1 a P8 – ponto cotados; NM PM – Nível médio de preia-mar; NM PM AM – Nível médio de preia-mar de águas mortas.

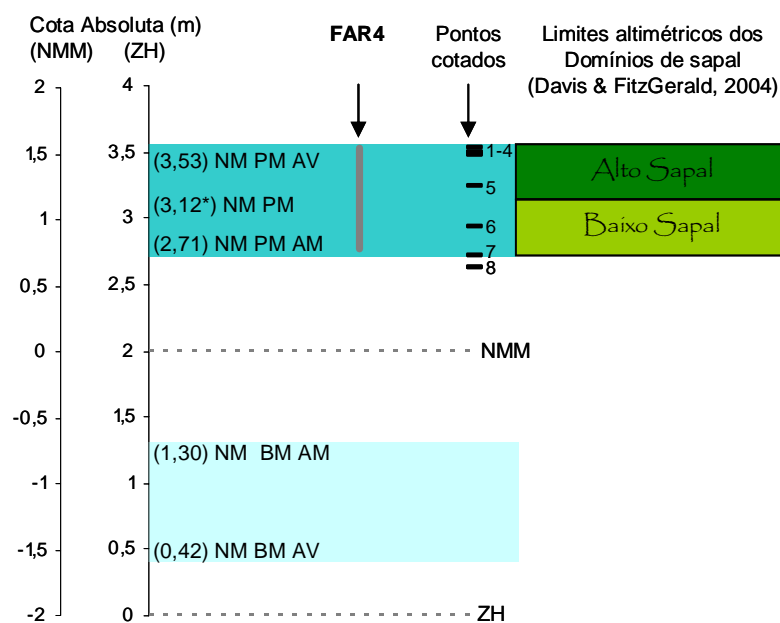


Figura 4.7 – Posição da sondagem FAR 4 (4A) relativamente aos níveis de referência das marés.

NM – Nível médio; BM – Baixa-mar; PM – Preia-mar; AV – Águas vivas; AM – Águas mortas; NMM – Nível médio do mar; ZH – Zero hidrográfico.

Os ensaios sedimentológicos e geoquímicos efectuados nos testemunhos das sondagens FAR4 e 4A, cujos resultados são apresentados e discutidos neste capítulo, visam caracterizar as condições geoambientais que presidiram à deposição dos sedimentos recolhidos no sapal da península do Faralhão.

4.2.1. Sedimentologia

4.2.1.1. Teor de humidade

O teor de humidade quantificado experimentalmente nos sedimentos corresponde à água capilar, isto é, a água sujeita a fenómenos de capilaridade que constitui películas contínuas em torno das partículas. Com este método, fica por avaliar a água de constituição, que integra a estrutura química das partículas sedimentares e a água higroscópica, fortemente adsorvida à superfície dos colóides - minerais de argila e húmus (Costa, 1999).

Os resultados obtidos para o teor de humidade dos sedimentos em profundidade, apresentam diferenças na ordem dos 50% (figura 4.8). Os valores superiores a 100% (que podem chegar a 150%) são registados, quase na totalidade, nos primeiros 20cm, significando

que, nestas profundidades, o peso da água é superior ao peso dos sedimentos. Para além do facto de se tratar do segmento mais superficial da coluna sedimentar e, naturalmente, apresentar valores de humidade mais elevados devido à proximidade com a água que inunda o sapal, a quantidade de matéria orgânica também contribui para estes resultados, tornando o solo mais leve. Pode estabelecer-se uma boa correlação entre a variação o teor de humidade e da matéria orgânica (figura 4.9), principalmente nos primeiros 20cm (onde os teores de MO são mais significativos): a teores de matéria orgânica mais elevados, correspondem também valores mais altos para o teor de humidade.

Outro factor que geralmente influencia o teor de humidade nos sedimentos é a sua textura. Os sedimentos analisados nunca apresentam mais que 3,2% de partículas da dimensão das areias, e é só no sector mais superficial que apresentam valores superiores a 1% (Anexo 5). Se por um lado a representatividade das partículas grosseiras é baixa, por outro, parte dessas partículas é constituída por matéria vegetal (ou mesmo a totalidade, no segmento mais superficial) – tabela 4.1. O teor em matéria orgânica, de uma forma geral, vai diminuindo (figura 4.12 e tabela 4.1), aumentando a percentagem de argilas em profundidade (figura 4.19), levando ao aumento de água higroscópica, que não é avaliada neste método, induzindo a um decréscimo nos valores obtidos para o teor de água (figura 4.8).

Para profundidades superiores a 20cm, o teor de humidade apresenta valores na ordem dos 70% a 90% (Figura 4.8), não se fazendo notar com evidência o efeito da compactação devido à carga sedimentar, pois as profundidades são pequenas (sondagem curta de 80cm).

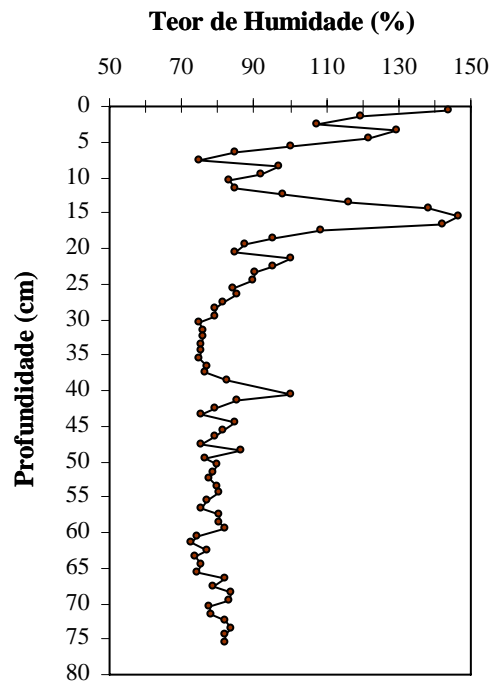


Figura 4.8 – Variação do teor de humidade em profundidade na sondagem FAR4A.

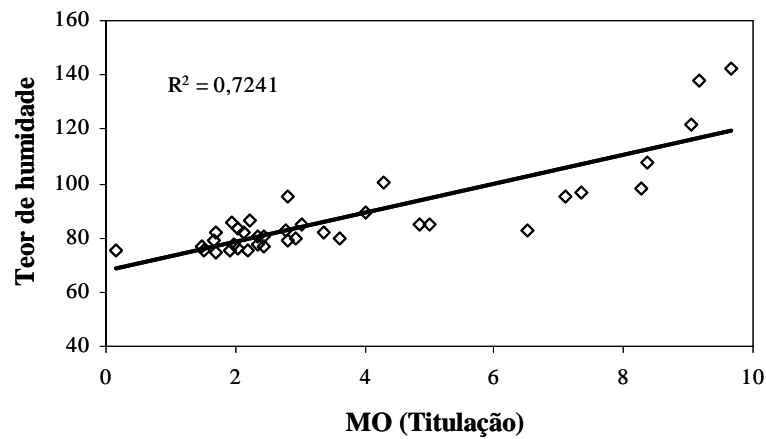


Figura 4.9 – Correlação entre o teor de humidade e a MO (titulação).

4.2.1.2. pH

O pH é uma medida da actividade dos hidrogénios (a valores maiores de pH corresponde uma menor concentração de H^+ na solução do solo), reflectindo a constituição química dos sedimentos e as numerosas reacções que neles ocorrem.

Os sedimentos analisados apresentam, na sua maioria, valores de pH que variam entre 5,5 e 7,0 (figura 4.10), sendo classificados na escala de Pratolongo como subácidos e ácidos, à excepção da base, onde os sedimentos são neutros (anexo 5)..

A acidificação do solo está ligada a várias origens, tais como: formação de ácidos húmicos por decomposição da matéria orgânica; produção de dióxido de carbono por animais que, reagindo com a água do solo origina ácido carbónico; hidrólise de sesquióxidos de ferro e de alumínio e de aluminossilicatos das fracções finas; perda por lixiviação de cationes básicos, como o cálcio, magnésio, potássio e sódio e ainda, à actividade antrópica (contaminação por drenagens ácidas da indústria mineira e utilização de fertilizantes, entre outras) (Costa, 1999). O pH afecta extraordinariamente a solubilidade de vários elementos, como o ferro e o alumínio (Costa, 1999) que se tornam solúveis para valores de pH baixos, facilitando a sua mobilidade na coluna sedimentar. Valores de pH baixos influenciam também os fenómenos de adsorção e trocas iónicas, diminuindo a capacidade de retenção de cationes pelos minerais de argila.

Embora com alguma irregularidade na sequência de valores encontrados ao longo da coluna sedimentar, pode identificar-se um aumento progressivo deste parâmetro em profundidade, mais evidente na metade mais profunda da sondagem. Os valores mais baixos (5,5 – ácidos) são encontrados aos 8, 14, 40 e 45cm de profundidade, correspondendo a ligeiros aumentos dos valores em M.O. (figura 4.12) embora, de uma forma geral, não exista uma boa correlação entre estes dois parâmetros (figura 4.11). Os valores mais altos (7,0 – neutros) são encontrados na base da sondagem, sem apresentarem qualquer correlação com o teor de humidade e com o teor em MO.

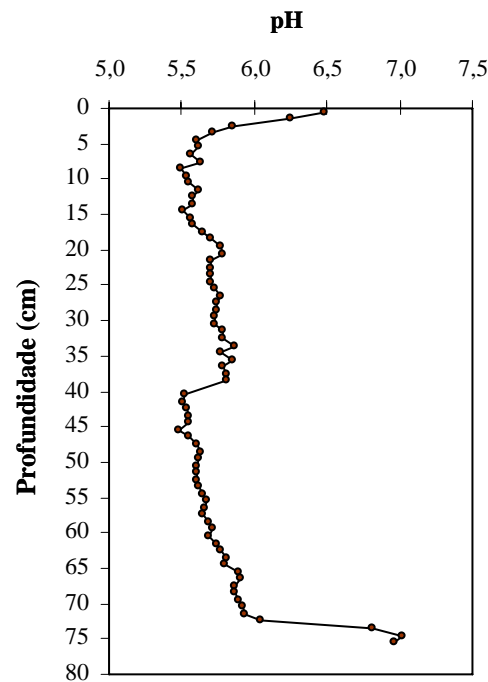


Figura 4.10 - Variação do pH em profundidade na sondagem FAR4A.

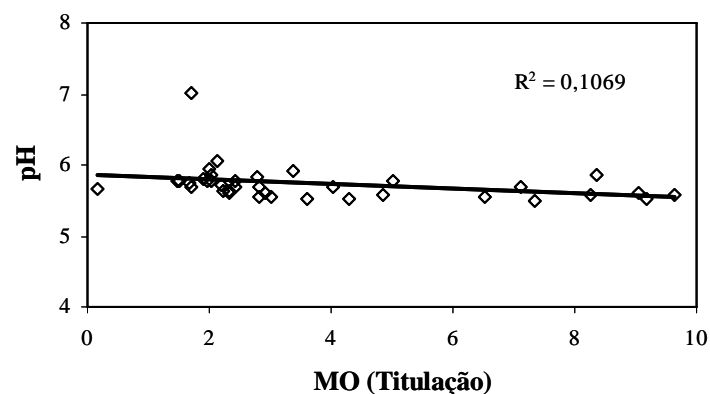


Figura 4.11. Correlação entre o pH e a MO.

4.2.1.3. Teor de Matéria Orgânica

A matéria orgânica do solo forma-se a partir dos organismos vivos, particularmente da matéria vegetal. Segundo Waksman (1936, *in* Costa, 1999), a matéria orgânica representa um complexo heterogêneo, genericamente designado por húmus. Para outros autores referidos por Costa (1999), o húmus constitui uma fracção da matéria orgânica com elevada resistência à decomposição e propriedades coloidais, fazendo-se acompanhar por outras substâncias

químicas que representam estádios mais precoces da humificação. Encarando o húmus de uma forma mais lata ou mais restrita, a presença de matéria orgânica no solo influencia claramente as suas propriedades físicas e químicas, aumentando a porosidade e a capacidade de retenção de catiões e água adsorvida e contribuindo para a acidificação.

Os resultados obtidos para o teor em matéria orgânica nos sedimentos estudados pelos dois métodos são distintos. A percentagem em matéria orgânica obtida pelo método da titulação (variável entre 0,2 e 9,7%) é sempre inferior à obtida pela perda por ignição na mufla (variável entre 10,5 e 21,5), embora o padrão de variação dos valores em profundidade seja semelhante (figura 4.12). Os valores mais elevados, obtidos pelo segundo método, podem ser atribuídos, não só à combustão da matéria orgânica, mas também à volatilização da água higroscópica (Costa, 1999).

Genericamente, o teor em matéria orgânica diminui com a profundidade (o que provavelmente está relacionado com a decomposição dos constituintes orgânicos nos sedimentos) e as oscilações nos valores obtidos através do primeiro método mimetizam as oscilações verificadas nos valores resultantes do segundo, existindo portanto uma boa correlação entre ambos (figura 4.13).

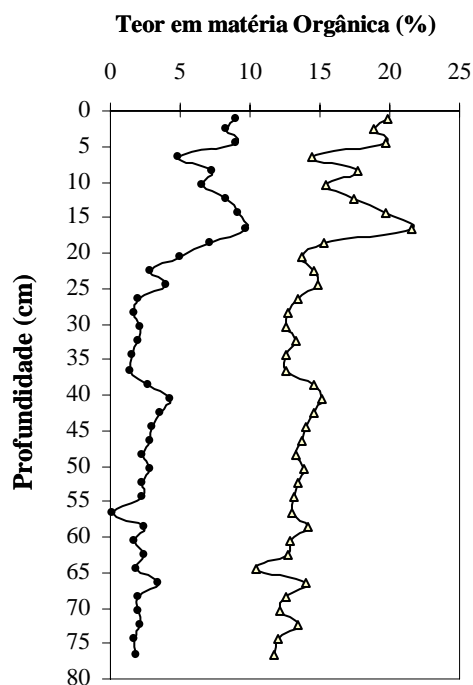


Figura 4.12 – Variação do Teor em Matéria Orgânica em profundidade na sondagem FAR4A.

—●— Titulação —▲— Perda por Ignição

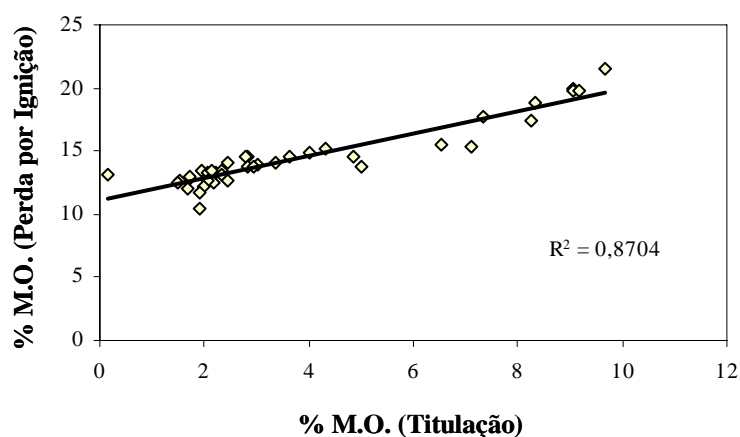


Figura 4.13 – Correlação entre os métodos de determinação da MO (Perda por ignição/Titulação).

O teor em voláteis determinado na sondagem FAR4 (figura 4.14), para as mesmas amostras alvo de análises geoquímicas, varia entre 14,1% e 22,9%, aumentando em direcção à superfície. Com este método obtêm-se valores superiores aos métodos anteriormente referidos, uma vez que as temperaturas atingidas são muito altas, reflectindo as perdas de água higroscópica e de constituição. Estes resultados apresentam uma boa correlação ($r^2=0,94$ e $r^2=0,88$) com os valores de matéria orgânica obtidos pelo método da titulação e da perda por ignição na mufla, respectivamente (figuras 4.15 e 4.16).

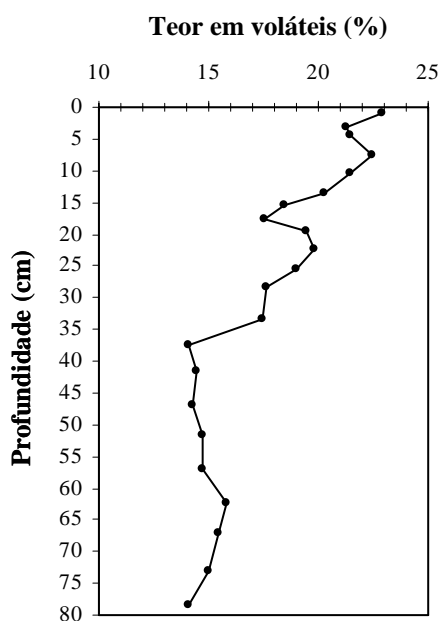


Figura 4.14 – Variação do teor em matéria orgânica em profundidade na sondagem FAR4 (LOI).

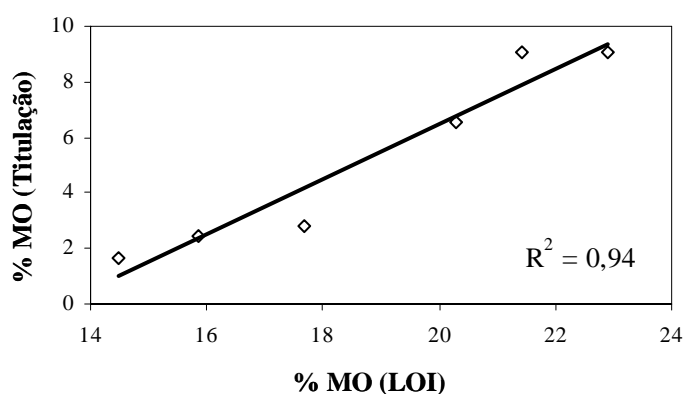


Figura 4.15 – Correlação entre os métodos de determinação da MO (Titulação/LOI).

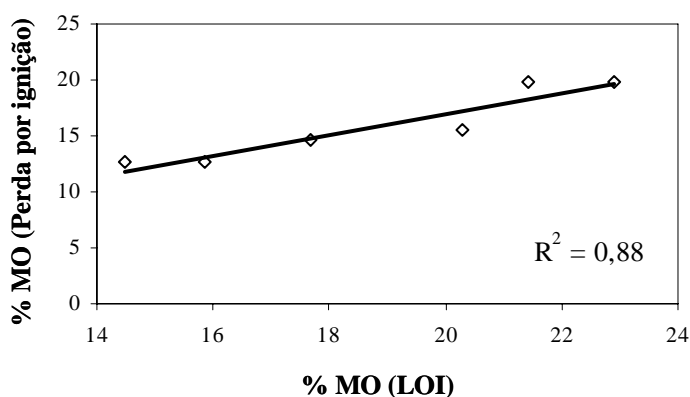


Figura 4.16 – Correlação entre os métodos de determinação da MO (Perda por ignição/LOI).

Apesar da correlação entre os métodos de determinação da matéria orgânica na sondagem FAR4A (titulação e perda por ignição na mufla) e a perda ao rubro (LOI) na FAR4 revelarem factores de correlação elevados, é de sublinhar o facto de se terem considerado poucos pontos, uma vez que a amostragem nas duas sondagens nem sempre foi realizada nas mesmas profundidades.

4.2.1.4. Análise Textural

O testemunho da sondagem é essencialmente constituído por sedimentos finos (< 63µm), que nunca atingem valores inferiores a 96,8% (figura 4.17). Os sedimentos da dimensão das areias estão presentes dos 0 aos 74cm, em percentagens muito reduzidas, apresentando valores superiores a 1% só nos primeiros 16 cm e a 52cm.

Os sedimentos com dimensões superiores a $63\mu\text{m}$ são constituídos essencialmente por matéria vegetal na zona superior da sondagem e por grãos de quartzo hialino, nas zonas mais profundas (tabela 4.1). Enquanto a matéria vegetal tem origem na cobertura do sapal, os grãos de quartzo devem ter origem nas litologias do enchimento da Bacia Sedimentar do Sado.

Quando os grãos de quartzo estão a constituir grande parte ou a totalidade da fracção grosseira, têm pouca ou nenhuma expressão nos teores de água (aumento da porosidade), uma vez que representam sempre menos de 1% na amostra total (tabela 4.1).

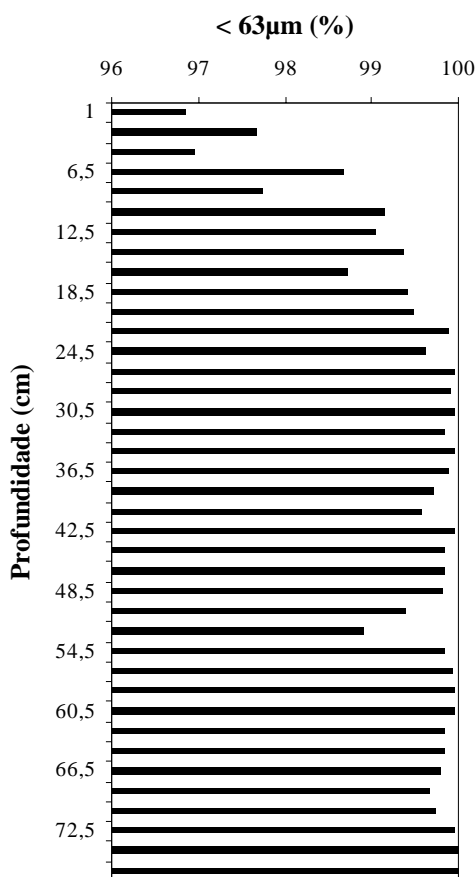


Figura 4.17 – Variação da percentagem de sedimentos finos em profundidade na sondagem FAR4A.

Em profundidade, há uma correlação negativa acentuada entre o conteúdo de siltes e argilas (figura 4.18), sendo de acentuar que, para profundidades maiores, a percentagem de argilas aumenta, ao contrário dos siltes (figura 4.19).

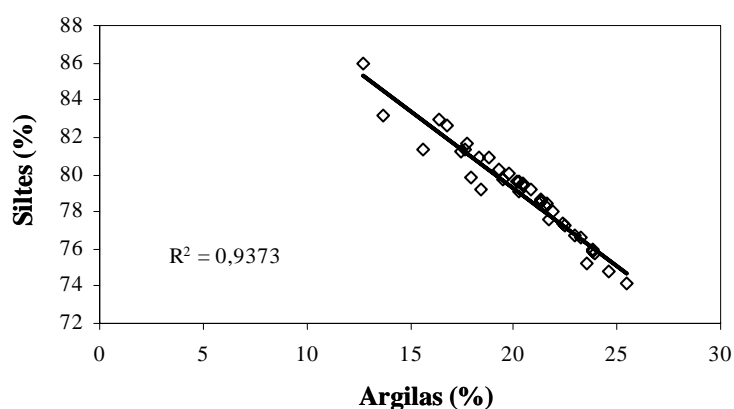


Figura 4.18- Correlação entre siltes e argilas em profundidade, na sondagem FAR4A.

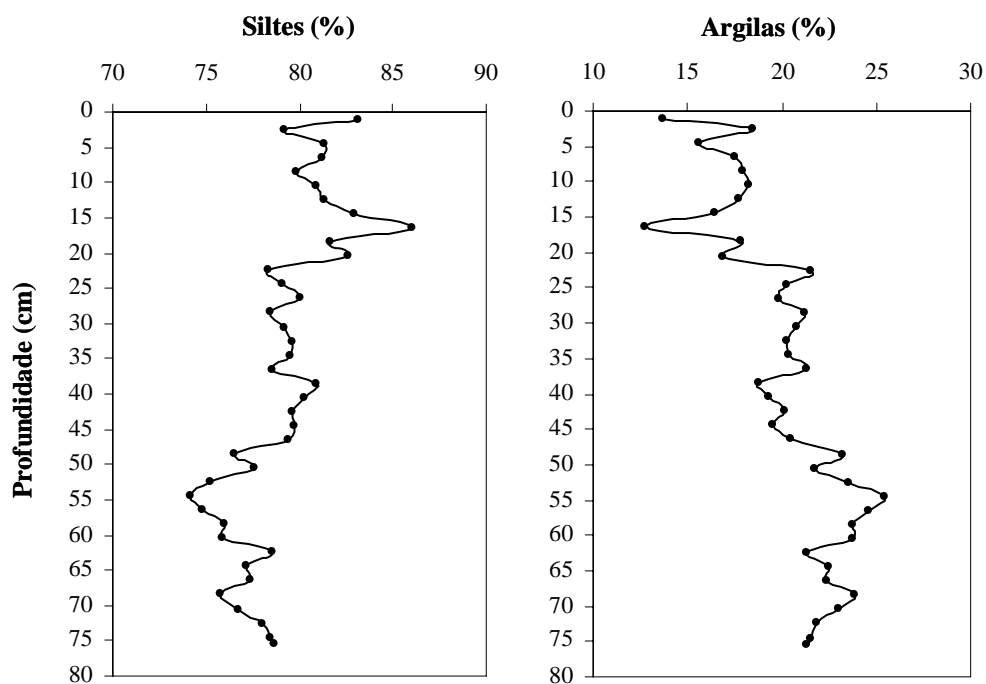


Figura 4.19 – Perfil de distribuição dos siltes e argilas (<math><2\mu\text{m}</math>) em profundidade, na sondagem FAR4A.

A projecção das amostras no diagrama de classificação textural de Pejrup (1988), conduz ao enquadramento das mesmas em classes hidrodinâmicas distintas, quando se modifica o limite entre siltes e argilas de $4\mu\text{m}$ para $2\mu\text{m}$ (figura 4.20). Assim, quando se considera o limite superior das argilas igual a $4\mu\text{m}$, todas as amostras se projectam na classe hidrodinâmica D-III (figura 4.20-A). Quando se considera a dimensão $2\mu\text{m}$ para o limite

superior das argilas, a percentagem de siltes aumenta e conduz à inclusão de várias amostras numa classe de maior hidrodinamismo – D-IV (figura 4.20-B).

Prof. (cm)	> 63 μ (%)	Fracção > 63 μ (%)		Amostra total (%)	
		Grãos de quartzo	Matéria vegetal	Grãos de quartzo	Matéria vegetal
1	3	-	100	-	3,15
2,5	2	-	100	-	2,32
4,5	3	-	100	-	3,05
6,5	1	-	100	-	1,31
8,5	2	-	100	-	2,27
10,5	0,5	-	100	-	0,84
12,5	0,5	-	100	-	0,97
14,5	0,5	10	90	0,16	0,57
16,5	1	10	90	0,13	1,15
18,5	0,5	10	90	0,06	0,53
20,5	0,5	10	90	0,05	0,47
22,5	0,2	70	30	0,09	0,01
24,5	0,5	10	90	0,06	0,32
26,5	0	20	80	0,04	< 0,01
28,5	0,2	20	80	0,06	0,03
30,5	0	80	20	0,03	< 0,01
32,5	0,2	80	20	0,15	0,02
34,5	0,2	80	20	0,03	0,01
36,5	0,2	80	20	0,09	0,01
38,5	0,5	20	80	0,06	0,22
40,5	0,5	10	90	0,05	0,37
42,5	0,2	20	80	0,04	0,02
44,5	0,2	10	90	0,08	0,08
46,5	0,2	80	20	0,14	0,02
48,5	0,2	70	30	0,16	0,02
50,5	1	90	10	0,60	< 0,01
52,5	1,5	80	20	0,98	0,12
54,5	0,2	50	50	0,16	< 0,01
56,5	0,2	10	90	0,06	< 0,01
58,5	0	20	80	0,04	< 0,01
60,5	0	10	90	0,04	< 0,01
62,5	0,2	90	10	0,16	< 0,01
64,5	0,2	50	50	0,15	< 0,01
66,5	0,2	100	-	0,19	-
68,5	0,5	90	10	0,33	< 0,01
70,5	0,2	90	10	0,26	< 0,01
72,5	0,2	30	70	0,04	< 0,01
74,5	0	-	-	-	-
76,5	0	-	-	-	-

Tabela 4.1 – Percentagem e composição da fracção superior a 63 μ m na sondagem FAR4A, por estimativa visual.

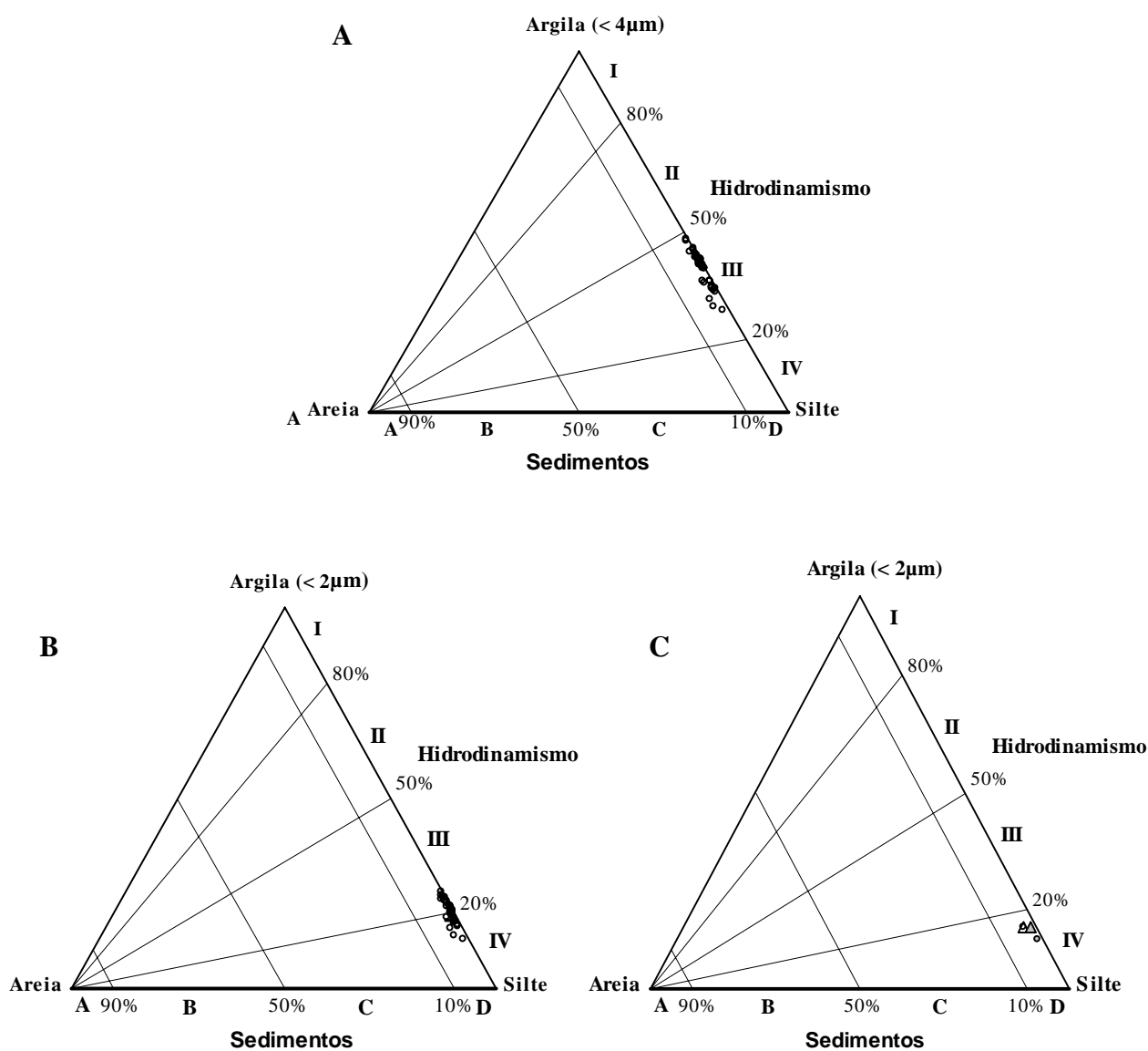


Figura 4.20 – Classificação das amostras no diagrama ternário de classificação textural de Pejrup (1988), considerando o limite silte/argila em $4\mu\text{m}$ (A) e em $2\mu\text{m}$ (B). Em C faz-se a comparação da classificação em duas amostras, com e sem MO.

- Δ Amostra sem MO (4,5cm) Δ Amostra sem MO (16,5cm)
- \circ Amostra com MO (4,5cm) \circ Amostra com MO (16,5cm)

As amostras que são incluídas na classe D-IV de Pejrup (figura 4.20) situam-se entre os 0 e os 20 cm de profundidade, as que são incluídas na classe D-III correspondem ao intervalo 52-60 cm de profundidade e as restantes, posicionam-se no limite entre as duas classes consideradas.

Relacionando estes dados com os teores em matéria orgânica, verifica-se que as amostras classificadas na classe de maior hidrodinamismo (D-IV), correspondem a sedimentos com valores mais elevados em matéria orgânica (figura 4.12). Uma vez que os níveis energéticos de Pejrup são mais elevados quando os siltes predominam sobre as argilas e a análise textural se fez na amostra total (com matéria orgânica), fez-se a avaliação da interferência deste factor na classificação no diagrama ternário. Para tal, procedeu-se à projecção no diagrama de Pejrup das duas amostras com mais MO, versus a sua projecção depois de destruída a MO (figura 4.20 C). Embora os resultados (anexo 8) revelem que uma parte das classes dos siltes muito grosseiros (63-32 μ m) e dos siltes grosseiros (32-16 μ m) é constituída por matéria orgânica, a comparação dos resultados obtidos nas amostras com e sem MO (figura 4.20 C), revela que, mesmo sem a componente orgânica, a amostra se mantém dentro do mesmo grupo hidrodinâmico (IV), indiciando que a componente siltosa é efectivamente uma componente importante na fracção fina do sedimento, não alterando as ilações acerca do hidrodinamismo do meio.

Segundo o diagrama ternário de classificação textural simplificado de Fleming (2000), todos os materiais da coluna sedimentar são classificados como vasas (figura 4.21). No entanto, se considerarmos o diagrama ternário de classificação textural de Fleming (2000) com 25 domínios (figura 4.22), as amostras projectam-se em classes hidrodinâmicas distintas, conforme o limite superior das argilas seja considerado 2 μ m ou 4 μ m. No primeiro caso, as amostras são incluídas na classe E-II – silte ligeiramente argiloso e no segundo na classe E-III – silte argiloso (Fleming, 2000). Tal como na classificação de Pejrup (figura 4.20), os sedimentos revelam um nível energético do meio superior, quando o limite silte/argila é posicionado em 2 μ m.

Há que referir que as amostras foram projectadas nos diagramas triangulares, considerando a percentagem de areias como a totalidade das partículas grosseiras (>63 μ m), embora muitas amostras tenham matéria vegetal como únicos representantes dessa fracção e não grãos de quartzo (tabela 4.1). No entanto, as classes de menor hidrodinamismo consideram um conteúdo inferior a 10% em areia no caso de Pejrup (figura 4.20) e 5% no caso de Fleming (figura 4.21), o que significa que não se alterariam as classificações efectuadas a partir dos dois autores se destruíssemos a matéria orgânica na fracção grosseira e considerássemos apenas a matéria mineral.

Uma vez que a percentagem da componente detrítica é sempre inferior a 1% (tabela 4.1), o sedimento enquadra-se numa zona de hidrodinamismo baixo (Zona E – diagrama de

Fleming) (figura 4.22), enquanto a razão argila/silte aponta para um meio hidrodinâmico elevado (grupo II). Estes resultados sugerem um meio de deposição num regime hidrodinâmico relativamente baixo, embora a fracção fina esteja enriquecida na componente siltosa.

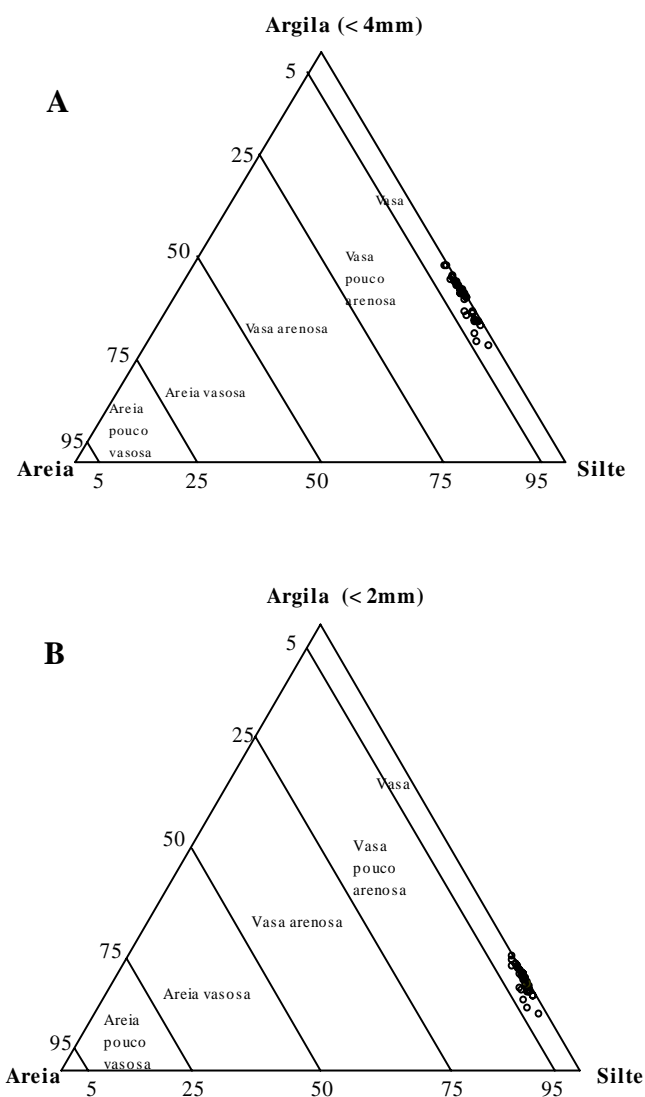


Figura 4.21 – Classificação das amostras no diagrama ternário simplificado de Fleming (2000), considerando o limite silte/argila em 4 μ m (A) e em 2 μ m (B).

Classe textural (razão areia/vasa)	Classe textural (razões areia/silte/argila)
Areia	S Areia
Areia pouco vasosa	A-I Areia pouco siltosa
	A-II Areia pouco argilosa
Areia vasosa	B-I Areia muito siltosa
	B-II Areia siltosa
	B-III Areia argilosa
	B-IV Areia muito argilosa
Vasa arenosa	C-I Vasa arenosa extremamente siltosa
	C-II Vasa arenosa muito siltosa
	C-III Vasa arenosa siltosa
	C-IV Vasa arenosa argilosa
	C-V Vasa arenosa muito argilosa
	C-VI Vasa arenosa extremamente argilosa
Vasa pouco arenosa	D-I Vasa pouco arenosa extremamente siltosa
	D-II Vasa pouco arenosa muito siltosa
	D-III Vasa pouco arenosa siltosa
	D-IV Vasa pouco arenosa argilosa
	D-V Vasa pouco arenosa muito argilosa
	D-VI Vasa pouco arenosa extremamente argilosa
Vasa	E-I Silte
	E-II Silte pouco argiloso
	E-III Silte argiloso
	E-IV Argila siltosa
	E-V Argila pouco siltosa
	E-VI Argila

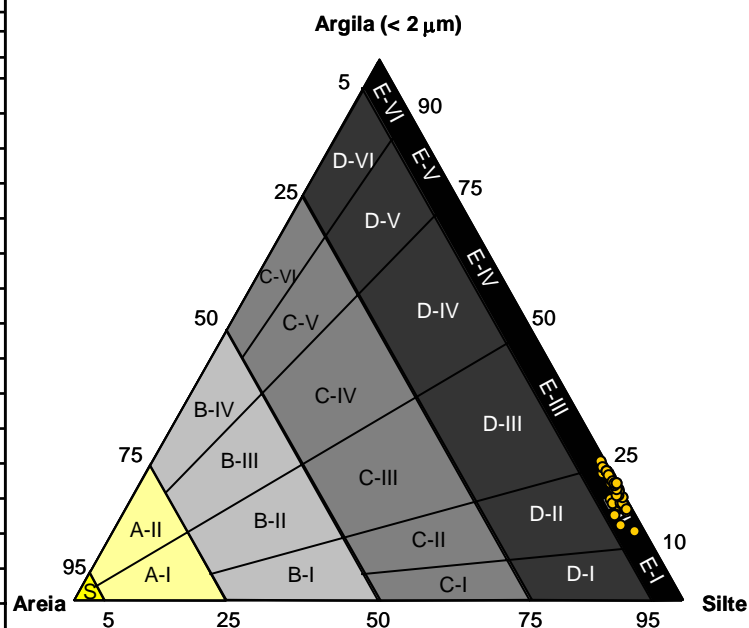


Figura 4.22 – Classificação das amostras no diagrama ternário de classificação textural de Fleming (adapt. de Fleming, 2000).

A análise da fracção fina do testemunho da sondagem revela que 26 das 39 amostras tratadas apresentam uma distribuição ligeiramente bimodal (anexos 6 e 9), com as classes dos siltes finos e das argilas a predominar. Esta característica está de certo relacionada com o facto de ocorrer acumulação de material na classe das argilas, devido a não se considerarem divisões nas dimensões inferiores $2\mu\text{m}$. É de notar, no entanto, a importância dos sedimentos com dimensões entre os $1,3\mu\text{m}$ e $0,6\mu\text{m}$ dentro da classe das argilas (anexo 7). A bimodalidade está mais marcada para profundidades superiores a 52cm (anexo 6). É também a esta profundidade que ocorre a mudança da classe modal (anexo 9) que, para profundidades menores é sempre a classe dos siltes finos ($8\mu\text{m}$) e dos 52 aos 72 cm passa a ser a classe das argilas, com apenas duas excepções (aos 62 e aos 66 cm). Assim, a distribuição granulométrica dos sedimentos apresenta uma assimetria dominada pelas texturas mais finas, que se acentua em profundidade. Esta assimetria também é sublinhada pela análise da média (figura 4.23) e da mediana (diâmetro que divide a distribuição em duas metades com pesos

iguais, uma constituída por partículas mais grosseiras e outra por partículas mais finas, ou seja, a dimensão que corresponde ao ponto em que a curva de frequências acumuladas cruza a linha dos 50%) que, tal como se pode observar nos gráficos do anexo 7 e tabela do anexo 9, se situa na classe dos siltes finos em todas as amostras.

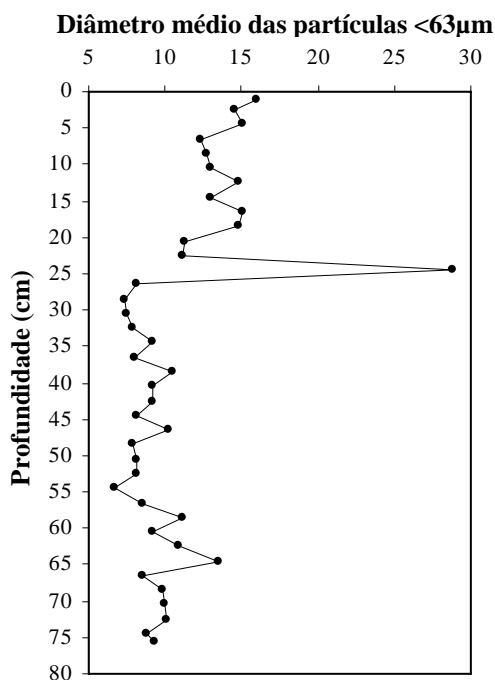


Figura 4.23 – Variação do diâmetro médio das partículas <math><63\mu\text{m}</math>, em profundidade, na sondagem FAR4A.

Após a exposição detalhada de todos os parâmetros sedimentológicos analisados, propõe-se a divisão da coluna sedimentar amostrada em três unidades - I, II e III (figura 4.24). Embora não se identifiquem descontinuidades acentuadas, existe, para os dois níveis assinalados (aos 20 e aos 40cm), uma mudança dos valores médios de cada parâmetro sedimentológico.

De uma forma geral, observa-se da base para o topo, uma tendência para maiores teores de humidade, valores de pH ligeiramente mais altos, teores de matéria orgânica mais elevados e um decréscimo da razão quartzo/MO na fracção grosseira (tabela 4.1 e figura 4.24).

Na unidade I (40 – 76 cm), encontram-se os teores de humidade mais baixos da sondagem (variando entre 72,7 e 100,1%). O pH varia entre 5,5 e 7,0, com a maioria das amostras classificadas como subácidas, embora no topo da unidade se registem cinco

amostras ácidas e na base três amostras neutras. O teor em MO é variável entre 0,2 e 4,3% (titulação) e 10,5 e 15,2% (perda por ignição) e a percentagem em sedimentos finos é elevada, entre 98,78 e 100% (com a dimensão média das partículas a reflectir a dominância dos siltes finos).

Na unidade II (20 – 40cm), o teor de humidade apresenta um intervalo de valores semelhante ao da unidade I (74,9 e 100,1%), registando-se no entanto valores mais elevados nas amostras do topo e da base desta unidade. Os valores de pH constantes e ligeiramente superiores (5,7 – 5,9) aos registados na unidade I, conduzem a que todas as amostras sejam classificadas como subácidas. Em paralelo com um ligeiro aumento dos valores de pH, ocorre uma diminuição dos teores em MO (1,5 – 5,0% na titulação e 12,5 – 14,8% na perda por ignição). A relevância dos materiais finos mantém-se (99,37 a 99,96%), assim como a classe dimensional representativa do diâmetro médio das partículas.

Na unidade III (0 – 20cm), o teor de humidade revela valores nitidamente superiores aos das unidades subjacentes (75,0 - 146,5%), paralelamente ao aumento do teor em MO (4,9 – 9,7% para a titulação e 14,5 – 21,5 para a perda por ignição) e à diminuição dos valores de pH (5,5 – 6,5), com três amostras classificadas como ácidas. A preponderância dos sedimentos finos mantém-se, mas diminui a percentagem relativamente às unidades I e II (96,9 – 99,4%) e a dimensão média das partículas indica a dominância dos siltes médios.

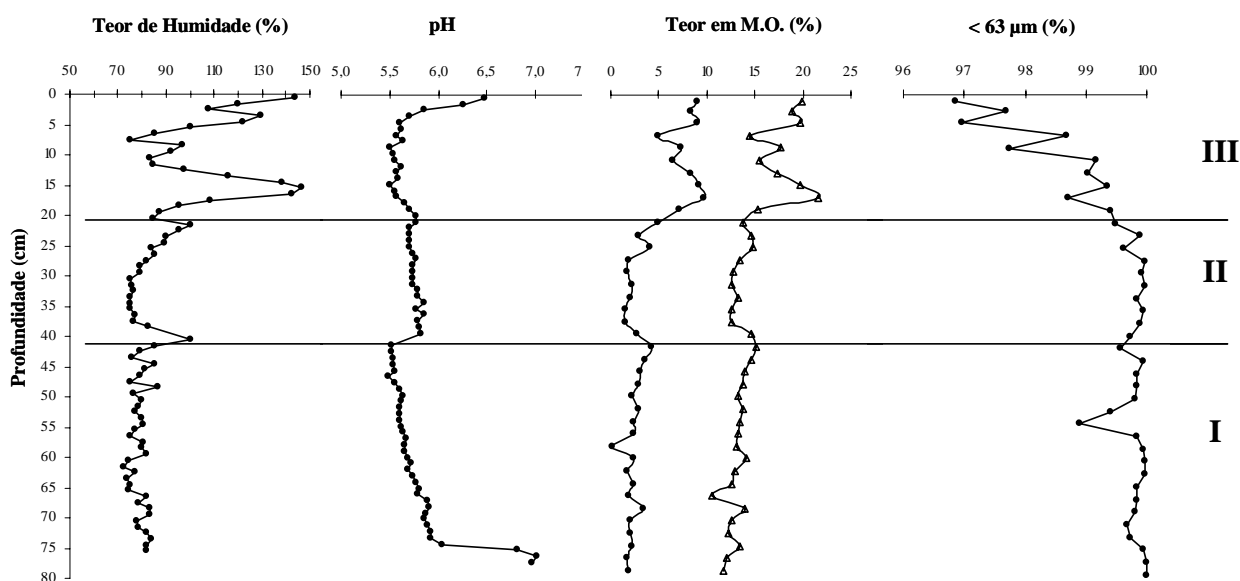


Figura 4.24 – Características sedimentológicas da sondagem FAR4A e unidades individualizadas.

4.2.2. Geoquímica

A análise geoquímica aos sedimentos do sapal da península do Faralhão foi efectuada na sondagem FAR4 (recolhida em 2003). Os padrões de referência para os elementos maiores e menores, assim como o erro analítico associado às análises efectuadas estão referidos no anexo 10. Os valores obtidos para os elementos maiores são apresentados na tabela 4.2 e os da matéria orgânica (LOI) e elementos menores (Cu, Co, Pb e Zn) são apresentados no anexo 10. O crómio encontra-se nos sedimentos em concentrações inferiores ao limite de detecção (3 mg/Kg).

Prof.média (cm)	Si	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Na	K
1,0	20,35	0,70	9,49	5,14	0,07	0,95	0,44	1,66	1,69
3,0	20,47	0,70	9,83	5,41	0,07	0,94	0,45	1,79	1,80
4,5	20,67	0,74	9,90	5,09	0,06	0,81	0,43	1,67	1,90
7,5	20,74	0,69	9,49	4,87	0,05	0,80	0,41	1,66	1,93
10,5	20,84	0,69	9,59	5,35	0,09	0,84	0,36	1,70	1,78
13,5	21,09	0,74	10,25	5,15	0,06	0,78	0,42	1,62	1,74
15,5	21,93	0,82	10,09	5,55	0,02	0,71	0,40	1,23	1,97
17,5	23,10	0,81	10,12	4,46	0,02	0,76	0,24	1,29	2,00
19,5	21,76	0,73	9,74	5,32	0,02	0,68	0,66	1,29	2,09
22,5	22,09	0,68	9,57	5,09	0,02	0,80	0,27	1,29	2,08
25,5	22,42	0,69	9,85	4,67	0,05	0,86	0,49	1,31	1,86
28,5	22,44	0,74	9,87	5,26	0,15	0,87	0,47	1,29	2,03
33,5	23,36	0,58	9,95	4,51	0,07	0,81	0,50	1,24	1,78
37,5	22,84	1,00	10,51	6,26	0,13	0,89	0,31	1,40	1,76
41,5	23,69	0,82	10,65	4,94	0,09	0,86	0,28	1,18	1,94
47,0	22,71	1,08	10,79	6,09	0,09	0,91	0,29	1,28	1,74
51,5	23,19	0,85	10,37	5,30	0,05	0,94	0,37	1,31	2,23
57,0	23,28	1,12	10,54	5,06	0,03	0,85	0,42	1,28	1,87
62,5	23,79	0,79	10,41	3,98	0,02	0,83	0,34	1,22	2,19
67,0	23,41	1,03	10,25	4,78	0,04	0,85	0,41	1,36	1,81
73,0	23,52	1,10	10,51	4,30	0,03	0,95	0,44	1,35	1,96
78,5	23,95	0,65	10,74	4,45	0,02	0,84	0,45	1,32	2,19

Tabela 4.2 – Valores percentuais dos elementos maiores em amostras da sondagem FAR4

4.2.2.1. Elementos maiores e L.O.I.

O silício, alumínio, ferro, potássio, sódio, magnésio, titânio, cálcio e manganês apresentam concentrações superiores a 0,1% nos sedimentos analisados, sendo por isso considerados elementos maiores (Adriano, 1986).

Os elementos mais abundantes nos sedimentos do Faralhão são o silício (Si) e o alumínio (Al), com concentrações que variam entre 20,4% e 24,0% para o primeiro e 9,5% e 10,8% para o segundo (figura 4.23).

A razão Si/Al (figura 4.26) tem um significado essencialmente textural, dando uma noção da proporção da componente de origem predominantemente siliciosa (que se encontra na componente grosseira do sedimento) *versus* componente argilosa (aluminossilicatos), que se concentra na fracção fina do sedimento. O perfil da razão Si/Al em profundidade apresenta um andamento oposto ao perfil da razão Silte/Argila (considerando aqui o limite para as argilas em 2 μ m), revelando valores menores para o silício e maiores para os siltes nos primeiros 20cm, invertendo-se esta tendência para profundidades superiores (figura 4.26). A MO pode se apontada como factor de controlo desta relação inversa, já que para níveis com menos MO (figura 4.14), há aumento de Al ou de Al e Si (figura 4.25). O enriquecimento de Al (e consequentemente decréscimo da razão Si/Al) para níveis em que a MO decresce, pode ser imputado ao aumento de aluminossilicatos. Por outro lado, o aumento da razão Si/Al (figura 4.26) ocorre em níveis em que a componente mineralógica siliciosa > 63 μ m aumenta (entre os níveis 15 e 20cm, na tabela 4.1). Relativamente ao padrão internacional – *Average Shale* (Salomons & Forstner, 1984), o valor da concentração em silício (27,3%) é superior a todas as amostras analisadas, ao contrário do alumínio (8%), que é superado pelos valores exibidos pelos sedimentos do Faralhão.

Os restantes elementos estão presentes em concentrações mais baixas e, por ordem de abundância encontra-se: ferro (4,0%-6,1%), potássio (1,7%-2,2%), sódio (1,2%-1,8%), magnésio (0,7%-1,0%), titânio (0,6%-1,1%), cálcio (0,2%-0,7%) e manganês (0,02%-0,2%).

O ferro, o terceiro elemento mais abundante nos sedimentos analisados, apresenta um perfil irregular, sem qualquer tendência evidente, representando uma origem detrítica. De uma forma geral, grande parte dos teores revelados são ligeiramente superiores aos valores do *Average Shale* (Salomons & Forstner, 1984) -4,7% - devendo tal facto estar relacionado com um enriquecimento regional das rochas neste elemento, nomeadamente das rochas mineralizadas da BHS (figura 4.29).

O potássio (K) revela um perfil de distribuição muito irregular, com uma tendência geral para aumentar em profundidade, o que pode estar associado ao incremento das argilas no mesmo sentido. Quando comparados com o *Average Shale* (2,7%), os teores analisados são sempre inferiores, o que pode estar relacionado com o tipo de argilas presente nos sedimentos.

A variação vertical do sódio (Na) mimetiza o perfil do teor em água (figura 4.27) do sedimento, pelo que deve ser interpretado com o reflexo dessa variação, pelo menos nos primeiros 30cm, apresentando uma correlação elevada ($r^2 = 0,94$) (figura 4.28).

O magnésio (Mg), com origem provavelmente detrítica, relacionada com a erosão de rochas máficas, apresenta concentrações sempre inferiores a 1% e inferiores aos teores do *Average Shale* (1,5%), com variações pouco significativas em profundidade.

O titânio (Ti) apresenta concentrações médias superiores abaixo dos 30cm, com valores sempre superiores aos do *Average Shale* (0,5%). A sua origem deverá corresponder a uma contribuição detrítica com possível origem em rochas ígneas. O titânio, quase sempre presente nas rochas ígneas, pode ocorrer na ilmenite, rútilo ou esfena, para além da piroxena, hornblenda e biotite.

O cálcio (Ca) está presente em concentrações muito baixas (0,2% a 0,7%), muito inferiores aos teores avaliados para o *Average Shale* (2,2%) e uma vez que não se identificou carbonato de cálcio, o cálcio existente provém apenas da constituição de partículas mineralógicas.

O manganês (Mn) apresenta um perfil muito irregular, com concentrações na sua maioria inferiores às do *Average Shale* (0,09%), comporta-se praticamente como um elemento de traço nestes sedimentos, embora seja um elemento muito disseminado nas rochas sedimentares, ígneas e metamórficas, entrando na constituição de uma grande variedade de minerais. É de realçar a ocorrência de inúmeras explorações abandonadas de manganês na BHS (figura 4.29) que, embora se situem na zona mais distanciada da bacia e correspondam a explorações de pequena dimensão, poderão ser responsáveis pelo incremento deste elemento nos sedimentos do estuário, a profundidades que rondam os 30cm (figura 4.25).

Nas figuras 4.30 a 4.32 apresentam-se os gráficos de correlação entre os elementos analisados e o silício, alumínio e a matéria orgânica (LOI), respectivamente. Com excepção da correlação Na/Si ($r^2=0,7$), Si/Al ($r^2=0,6$), Al/LOI ($r^2 = 0,9$), Si/LOI ($r^2=0,8$) e Na/LOI ($r^2=0,5$), todos os outros pares de elementos não apresentam correlações significativas, revelando uma evolução independente em profundidade.

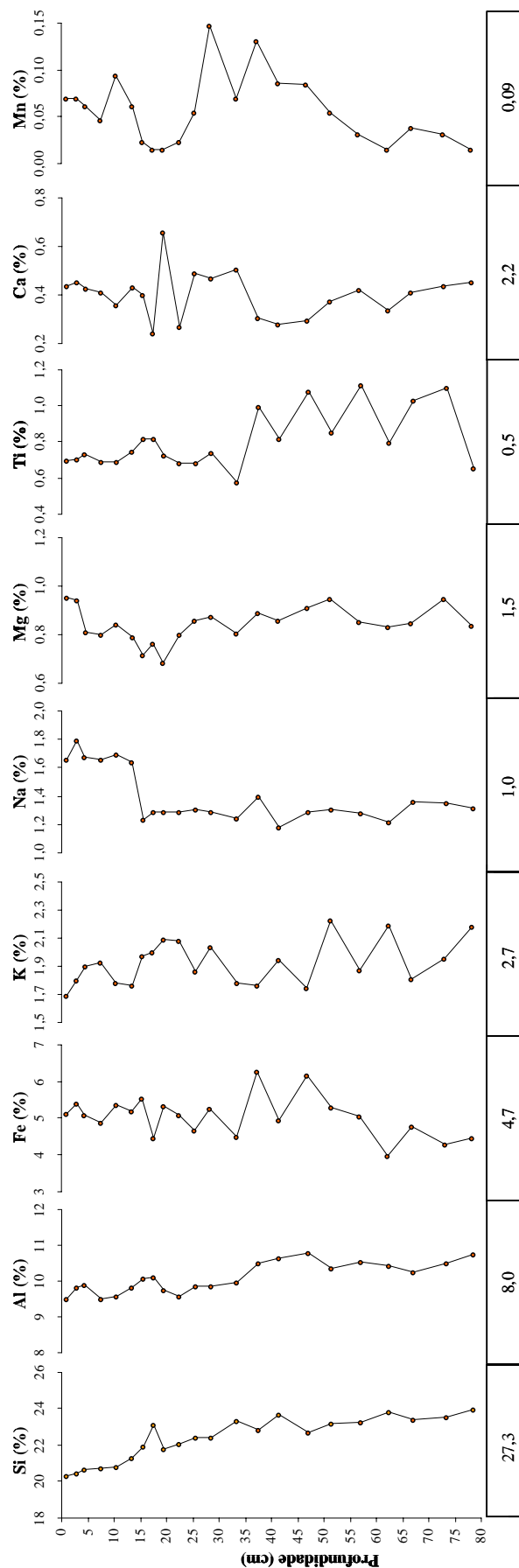


Figura 4.25 – Perfis verticais de concentração (%) de elementos maiores na sondagem FAR4 e concentrações desses elementos no *Average Shale* (Salomons & Forstner, 1984).

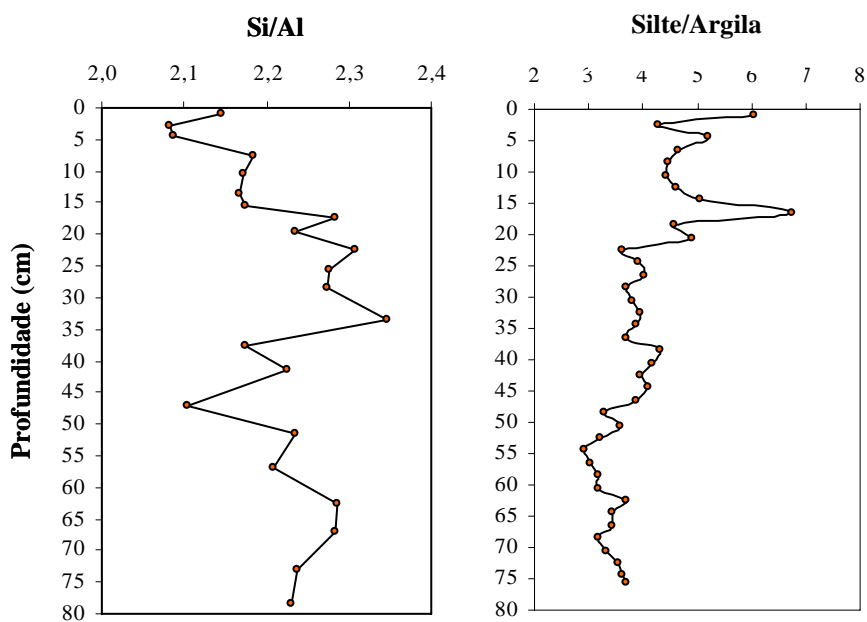


Figura 4.26 – Perfil da razão Silício/Alumínio na sondagem FAR4 e da razão Silte/Argila na sondagem FAR4A.

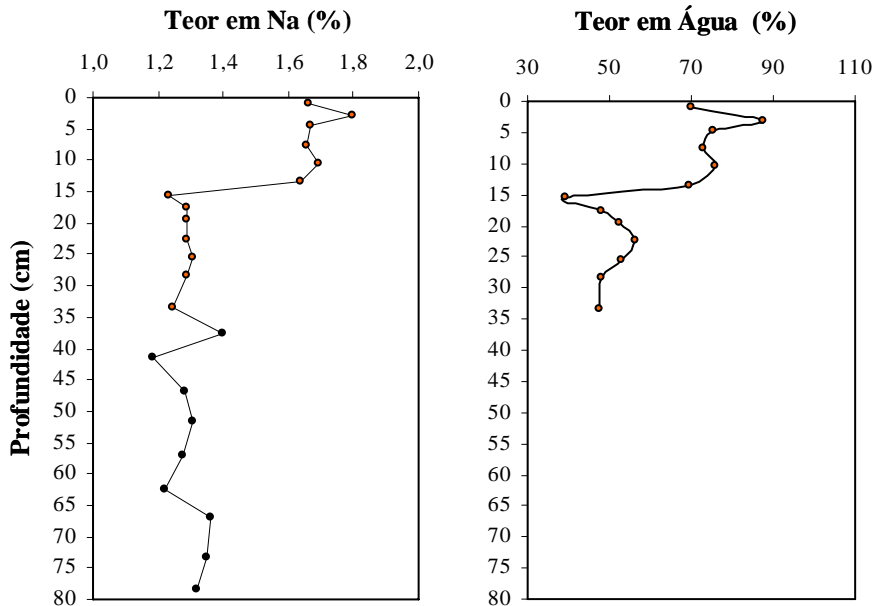


Figura 4.27 – Perfil de variação do teor em sódio (Na) e água, na sondagem FAR4.

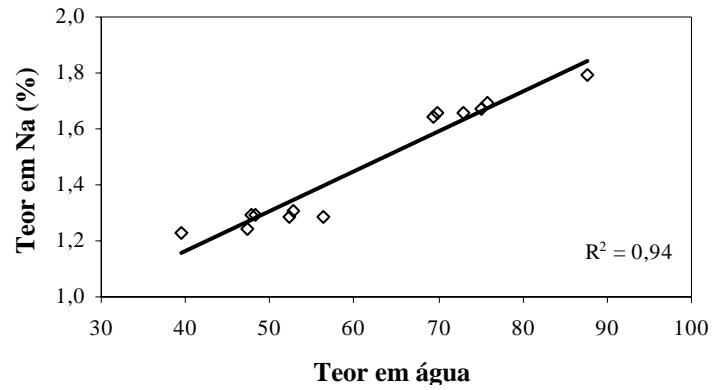


Figura 4.28 – Correlação entre o teor em Na e o teor em água nos sedimentos da sondagem FAR4.

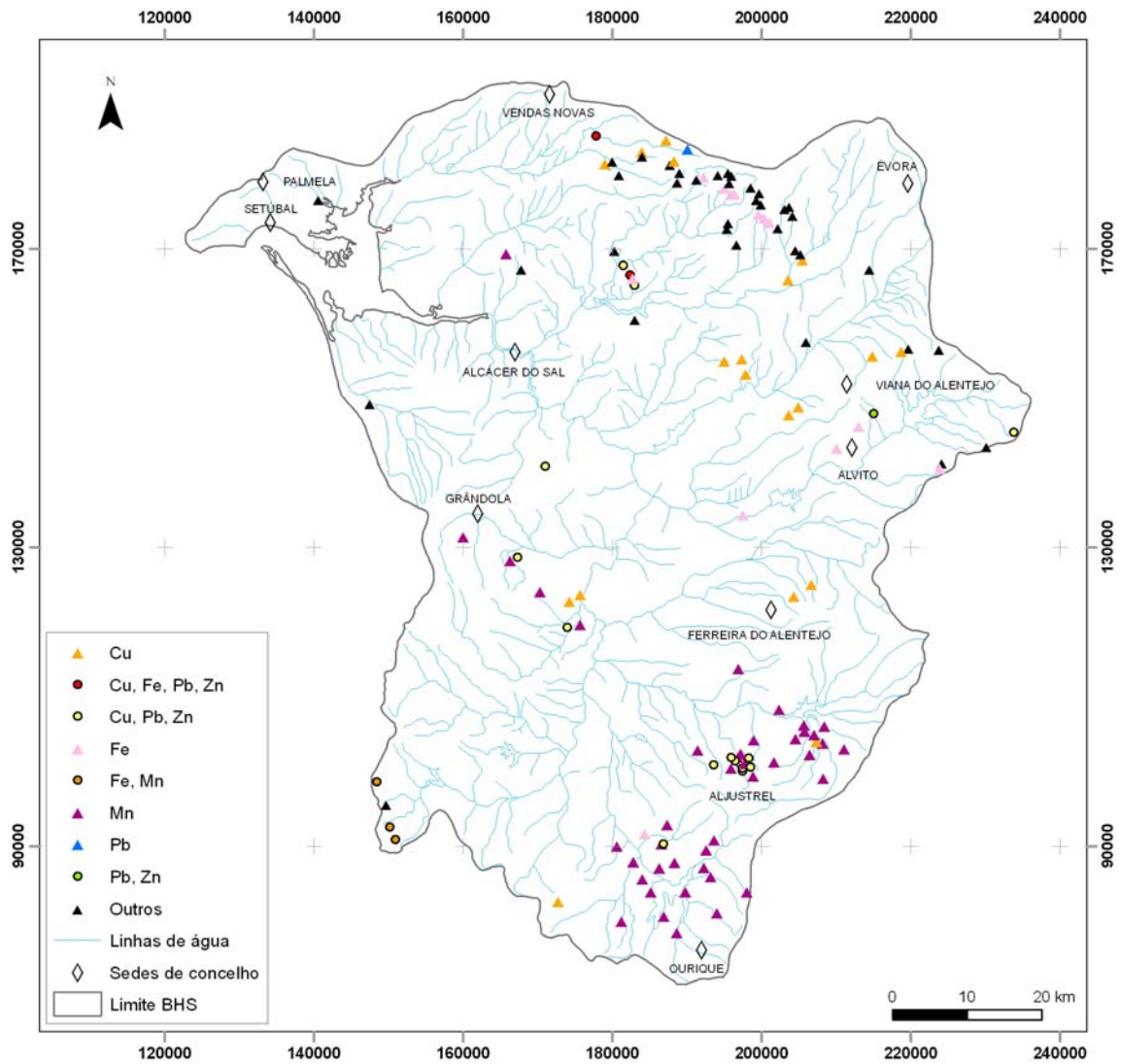


Figura 4.29 – Ocorrências minerais por elemento e rede de drenagem na BHS.
OBS: O número de ocorrências no mapa é inferior ao total (172) uma vez que muitas apresentam coordenadas coincidentes, por estarem muito próximas.

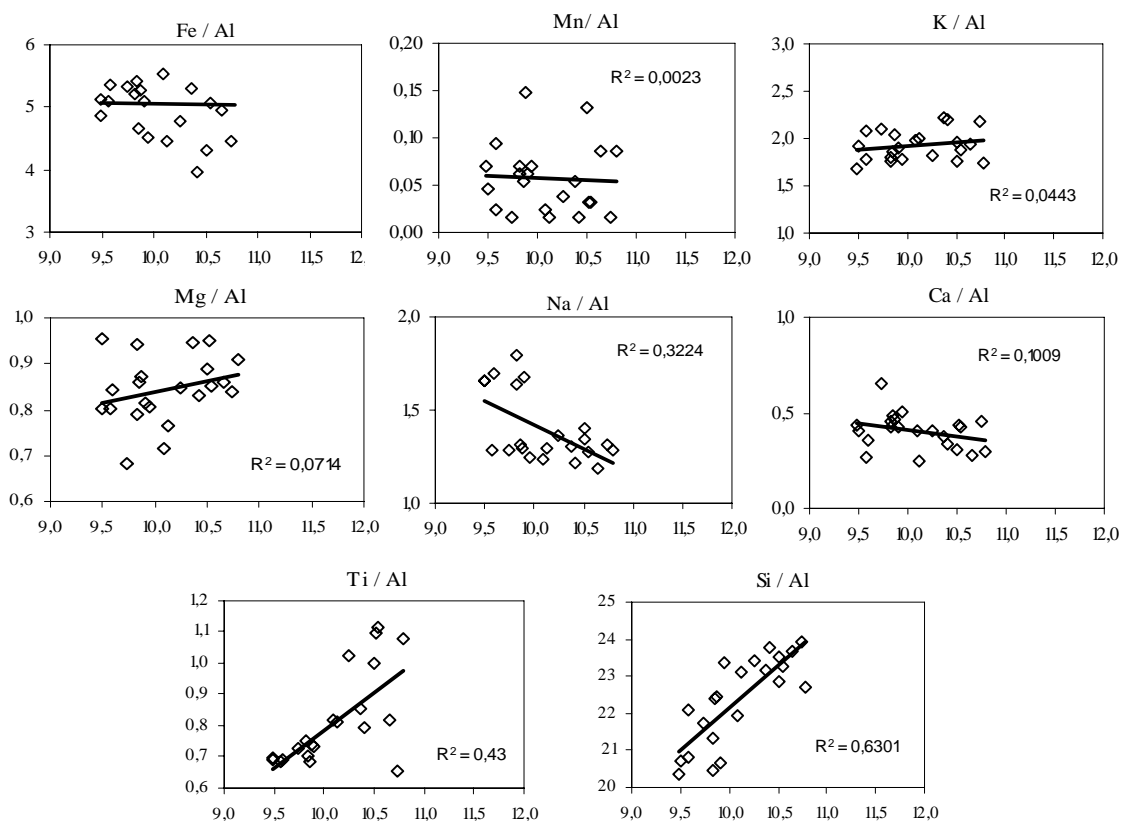


Figura 4.30 – Correlações entre os vários elementos e o alumínio.

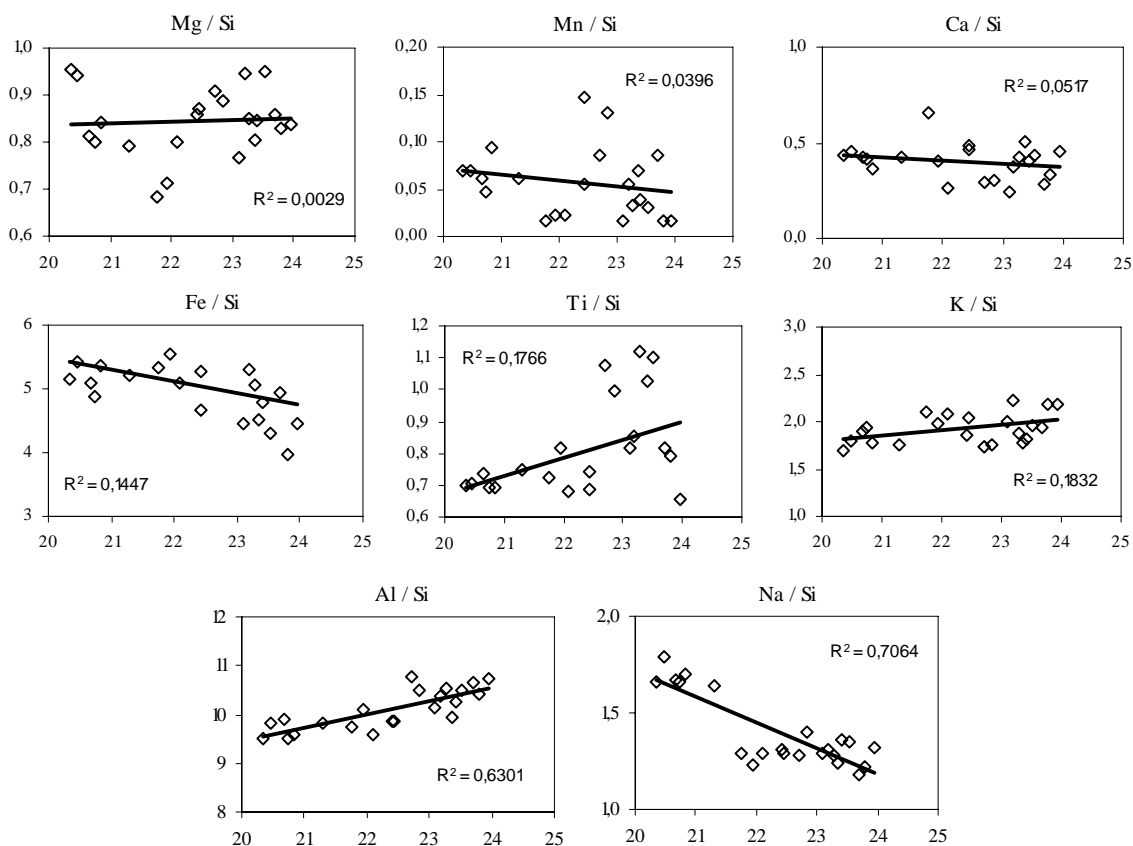


Figura 4.31 – Correlações entre os vários elementos e o silício.

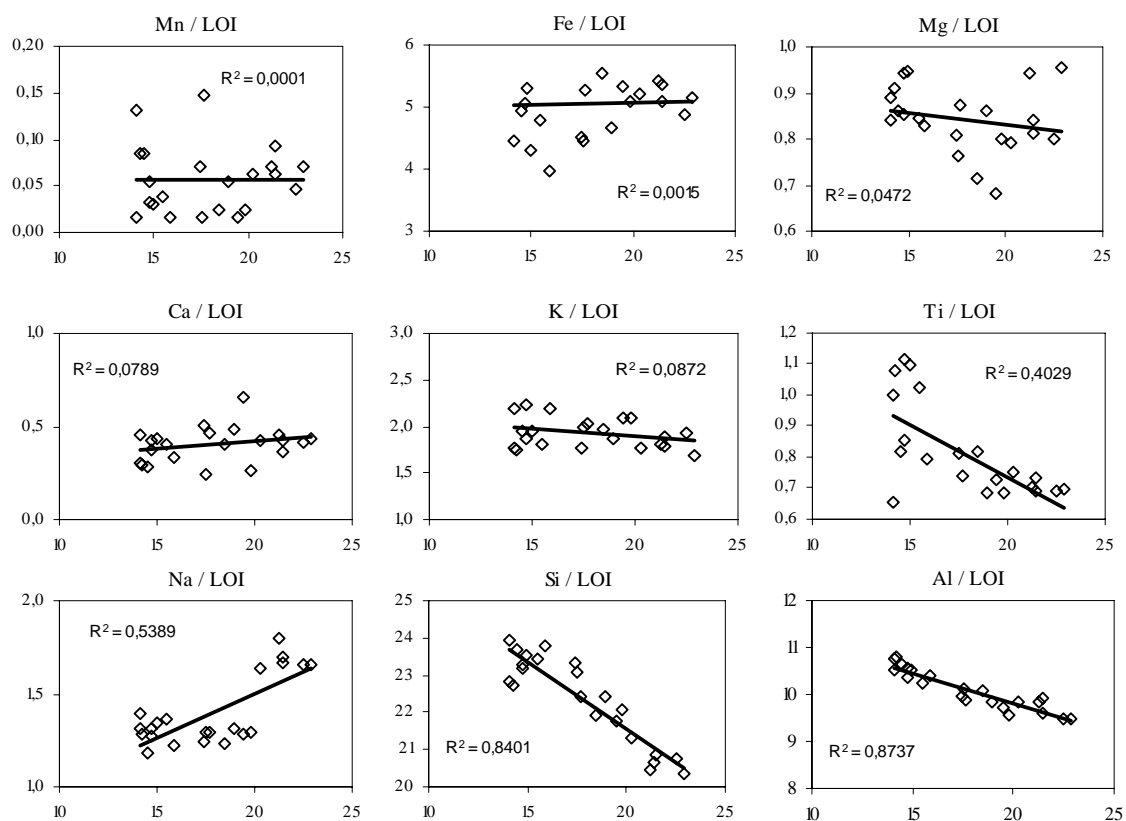


Figura 4.32 – Correlações entre os vários elementos e o LOI.

O sódio apresenta uma correlação negativa com o silício (figura 4.30) e positiva com o LOI (figura 4.32), que poderão ser explicadas pelo facto de o primeiro apresentar valores mais elevados nos 15cm mais superficiais da sondagem, onde o silício apresenta valores mais baixos e o LOI valores mais elevados; não há qualquer controlo ou afinidade entre o Na e o Si, embora o factor de correlação seja 0,70, porque o Na é fortemente condicionado pelo teor em água (figura 4.28), com teores mais elevados nos 15cm superficiais (figura 4.27), onde os sedimentos são mais porosos e enriquecidos em MO.

O silício apresenta uma correlação positiva com o alumínio (figura 4.30), aumentando os dois em profundidade. Quando existe uma grande heterogeneidade textural (sedimentos francamente arenosos a vasosos) estes dois elementos apresentam uma correlação negativa. Pelo contrário, aqui há uma grande homogeneidade de sedimentos, tendo o Si e o Al uma correlação positiva ($r^2=0,63$), aumentando ou empobrecendo simultaneamente. O empobrecimento destes dois elementos é compensado pelo aumento do teor em MO (LOI), facto que é comprovado pela correlação negativa destes dois elementos com o LOI (figura 4.30) ($r^2=0,84$ e $r^2=0,87$), para o Si e Al, respectivamente.

4.2.2.2. Elementos menores (metais pesados)

Embora os metais pesados se encontrem dispersos nos materiais parentais dos sedimentos, a contribuição natural é em muitos casos, nos últimos séculos, enriquecida com a contribuição antrópica, resultante de um vasto conjunto de actividades, entre as quais se destacam: agricultura; queima de combustíveis fósseis; indústria metalúrgica; indústria electrónica; indústria química; explorações mineiras; lamas de ETAR's; lixiviação de lixeiras e aterros (Alloway, 1995).

De entre os metais pesados geralmente associados a contaminação antrópica, apresentam-se resultados do cobre (Cu), do cobalto (Co), do chumbo (Pb) e do zinco (Zn).

Os perfis verticais de concentração dos metais analisados (figura 4.33), apresentam valores de ordens de grandeza diferentes mas com uma nítida descontinuidade situada a cerca de 30 cm de profundidade, acima da qual os metais exibem teores em média superiores aos exibidos a maiores profundidades. Acima desta descontinuidade (zona A) o Cu apresenta valores entre 46 e 136mg/kg, o Co, entre 14 e 40mg/kg, o Pb, entre 32 e 103mg/kg e o Zn entre 129 e 204mg/kg. Abaixo desta descontinuidade (zona B), os valores para o Cu variam entre 46 e os 51mg/kg, para o Co entre 14 e 30mg/kg, para o Pb entre 13 e 171mg/kg e para o zinco entre 67 e 162mg/kg. Com excepção do Co, de uma forma geral, os teores dos metais revelam uma nítida tendência para aumentar acima dos 30cm, relativamente à zona mais profunda (B).

A determinação da concentração de metais pesados em sedimentos recentes, tornou-se um procedimento comum para avaliar o impacto da contribuição antrópica numa dada área geográfica. Nos estuários, regiões costeiras geralmente adjacentes a zonas urbanas e industriais, os sedimentos acumulam metais pesados originários de uma vasta área de drenagem.

No entanto, a simples presença de metais nos sedimentos não pode ser atribuída a contaminação antrópica, uma vez que a origem terrígena tem de ser considerada. Segundo Loring & Rantala (1992), antes de distinguir concentrações naturais das de enriquecimento antropogénico, há que normalizar as concentrações relativamente ao efeito da textura, utilizando o alumínio (figura 4.34).

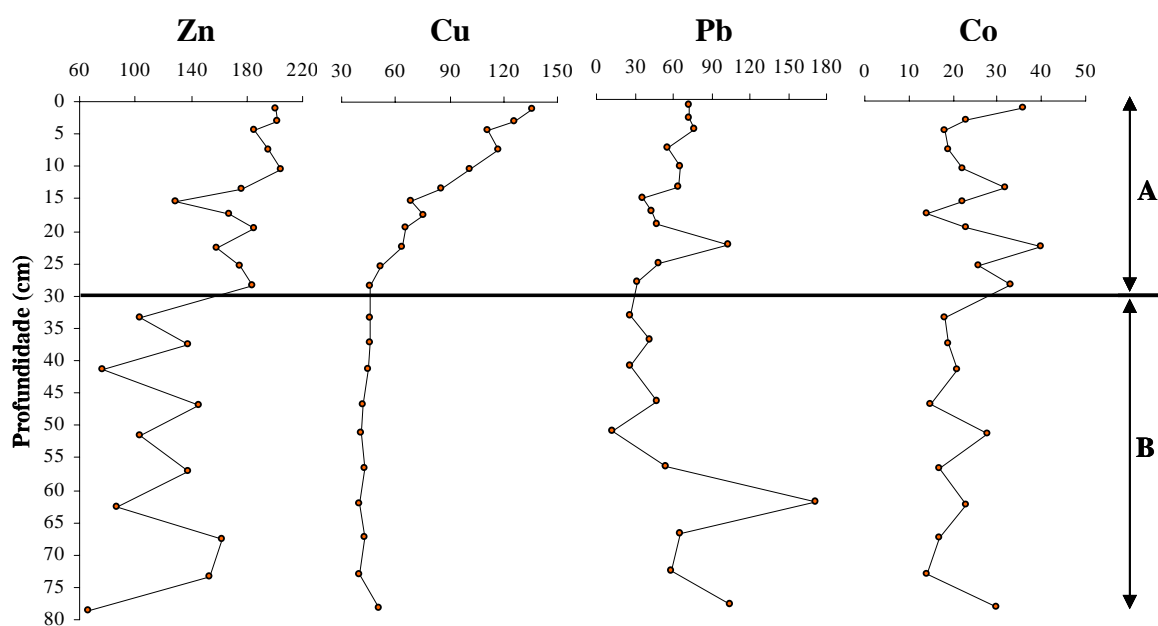


Figura 4.33 – Perfil vertical de concentração (mg/kg) de metais pesados na sondagem FAR4. (Zona A - concentrações mais elevadas, Zona B – concentrações mais baixas).

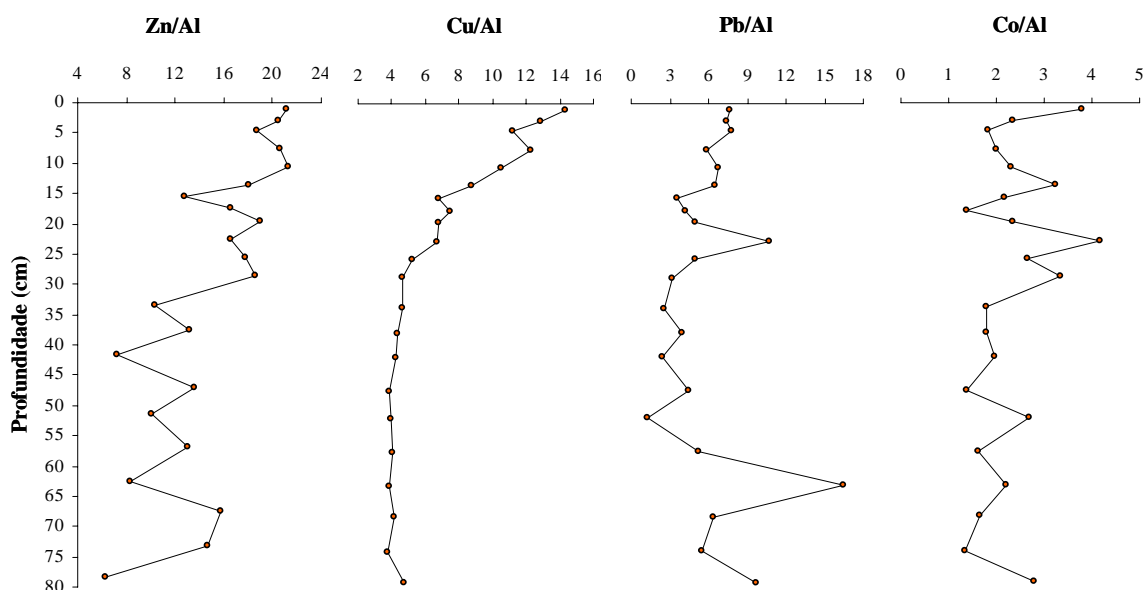


Figura 4.34 – Perfil vertical de concentração de metais pesados normalizados com o alumínio ($\text{Al} \times 10^{-4}$) na sondagem FAR4 (Zona A - concentrações mais elevadas, Zona B - concentrações mais baixas).

A selecção do alumínio está directamente ligada à variação da concentração dos metais relativamente à variação da fracção mineral, constituída essencialmente por aluminossilicatos (Loring & Rantala, 1992). De um modo geral, as concentrações dos metais

umentam com o predomínio da fracção silto/argilosa, representando o alumínio um elemento normalizador.

Uma vez que os sedimentos analisados são bastante homogéneos quanto à textura (vasas), as projecções normalizadas (figura 4.34) mimetizam os perfis de concentrações para os dois metais (figura 4.33), apresentando o mesmo andamento e revelando a descontinuidade de concentrações médias à mesma profundidade.

Para distinguir entre concentrações naturais e enriquecimento antropogénico, Loring & Rantala (1992) sugerem a projecção das concentrações dos metais *versus* alumínio (figura 4.35), interpretando os desvios à linearidade como contaminação antrópica. O Cu e o Zn exibem uma correlação negativa com o alumínio, com factores de correlação de 0,55 para o zinco e 0,51 para o cobre, podendo de alguma forma estar relacionado com o facto de os aluminossilicatos terem uma maior representatividade na metade inferior da sondagem, onde as concentrações de metais se podem enquadrar em níveis pré-industriais. O Co e o Pb não revelam correlações significativas com o alumínio o que indica que, de uma forma geral, a sua presença nos sedimentos é independente daquele elemento.

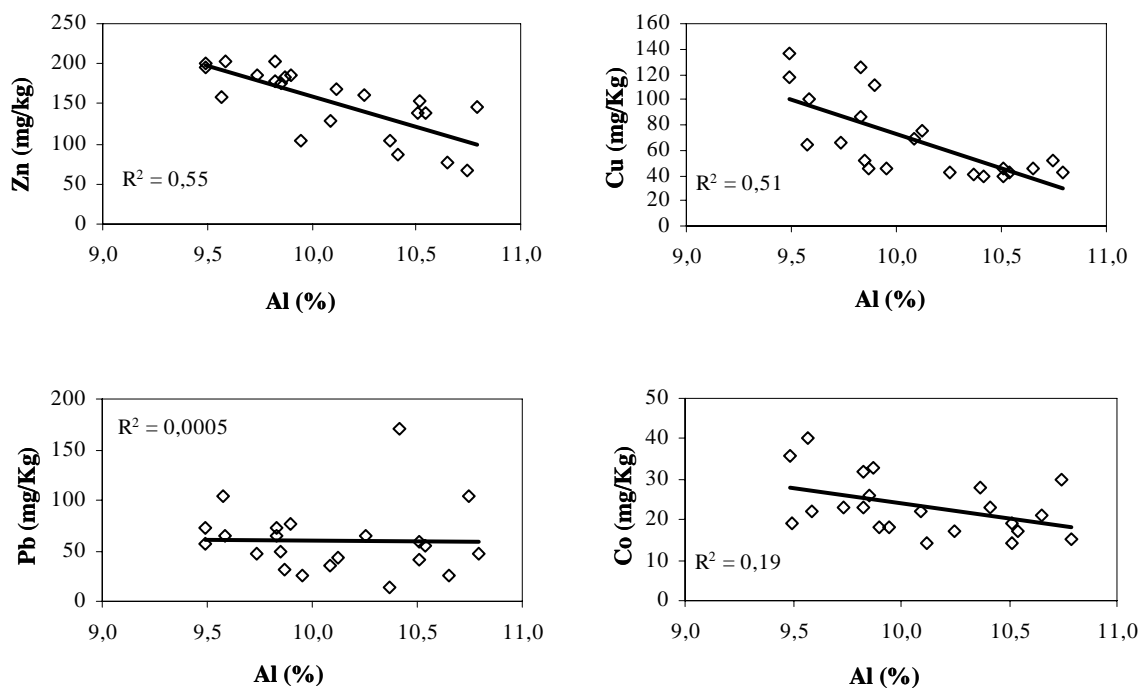


Figura 4.35 – Projecção das concentrações dos metais *versus* Al dos sedimentos da sondagem FAR4.

Uma vez que a matéria orgânica desempenha muitas vezes um papel importante na acumulação de metais pesados (Loring & Rantala, 1992), foram projectadas as concentrações dos metais *versus* teores de LOI (figura 4.36). Com a matéria orgânica como factor normalizador, o Cu e o Zn apresentam uma correlação positiva, aumentando as suas concentrações em sedimentos mais enriquecidos em matéria orgânica, com factores de correlação elevados ($r^2=0,79$ para o Cobre e $r^2=0,58$ para o Zinco), o que de alguma forma revela que há um controlo da matéria orgânica na concentração destes metais nos sedimentos. O Co e o Pb não apresentam correlações significativas com a MO, revelando uma ausência de controlo deste factor nas concentrações exibidas.

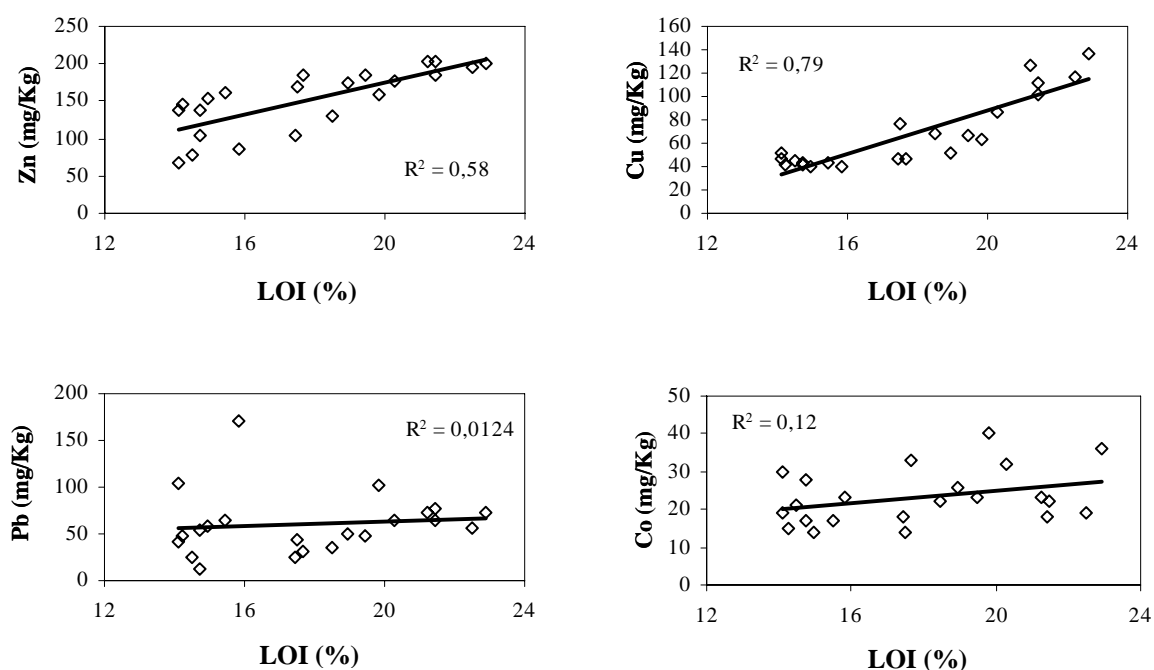


Figura 4.36 - Projecção das concentrações dos metais *versus* (LOI) dos sedimentos da sondagem FAR4.

Os perfis verticais das concentrações em metais pesados normalizados com o LOI (figura 4.37), apresentam os valores mais uniformizados em profundidade (especialmente na zona A, mais enriquecida em MO), relativamente aos valores normalizados com o alumínio (figura 4.34), permitindo no entanto estabelecer o limite entre a zona enriquecida e os valores pré-industriais ao mesmo nível (30cm), mais perceptível no Cu.

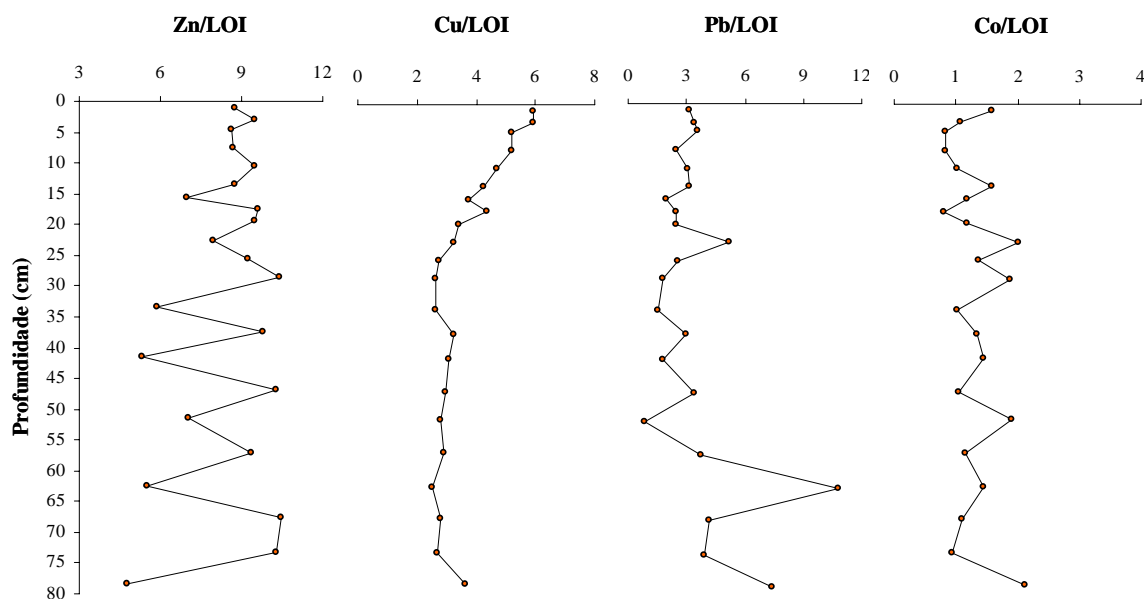


Figura 4.37 – Perfis verticais de concentração de metais pesados normalizados com a matéria orgânica (LOI) na sondagem FAR4 (Zona A- concentrações elevadas, Zona B- baixas concentrações).

4.2.2.2.1. Determinação dos factores de enriquecimento (FE)

Para estimar a contaminação dos sedimentos em metais pesados, é necessário conhecer os níveis de concentrações naturais desses metais, em sedimentos não contaminados (valores de fundo), para determinar o factor de enriquecimento (FE). Os valores de fundo podem ser estimados relativamente a valores médios de concentração dos metais em sedimentos com texturas equivalentes (padrões internacionais). Na tabela 4.3 apresenta-se a determinação do factor de enriquecimento para os metais e na figura 4.38, a variação do FE em profundidade, calculado relativamente aos valores da composição de “Average Shale” (Salomons & Forstner, 1984) de acordo com a expressão $FE = ([Metal]_{amostra} / [Al]_{amostra}) / ([Metal]_{AverageShale} / [Al]_{AverageShale})$ (Loring & Rantala, 1992).

Nos primeiros 30 cm, as concentrações de zinco são superiores às do *Average Shale* e atingem FE de 1,8, enquanto para profundidades superiores a 30cm as concentrações normalizadas são inferiores às do padrão internacional. As concentrações de Cu são superiores às do *Average Shale* nos 25cm mais superficiais e inferiores para baixo dessa profundidade, apresentando um enriquecimento superior ao zinco, com um FE máximo de 2,5 à superfície (tabela 4.3). Para o Pb, as concentrações normalizadas são sempre superiores às do *Average Shale* nos primeiros 30cm, embora a maioria das amostras analisadas em

profundidades superiores também exibam concentrações superiores às do padrão internacional. Apresenta um FE máximo de 6,6, embora os valores mais frequentes se situem entre 1 e 3. As concentrações do Co em profundidade apresentam valores muito irregulares, embora os valores superiores ao *Average Shale* se verifiquem essencialmente acima dos 30cm, onde atinge FE de 1,8.

Prof.média (cm)	FE (Zn)	FE (Cu)	FE (Pb)	FE (Co)	
1,0	1,8	2,5	3,1	1,6	
3,0	1,7	2,3	3,0	1,0	
4,5	1,6	2,0	3,1	0,8	
7,5	1,7	2,2	2,4	0,8	
10,5	1,8	1,9	2,7	1,0	
13,5	1,5	1,6	2,6	1,4	
15,5	1,1	1,2	1,4	0,9	
17,5	1,4	1,3	1,7	0,6	
19,5	1,6	1,2	2,0	1,0	
22,5	1,4	1,2	4,3	1,8	
25,5	1,5	0,9	2,0	1,1	
28,5	1,6	0,8	1,3	1,4	
33,5	0,9	0,8	1,0	0,8	
37,5	1,1	0,8	1,6	0,8	
41,5	0,6	0,8	1,0	0,8	
47,0	1,1	0,7	1,8	0,6	
51,5	0,8	0,7	0,5	1,1	
57,0	1,1	0,7	2,1	0,7	
62,5	0,7	0,7	6,6	0,9	
67,0	1,3	0,7	2,5	0,7	
73,0	1,2	0,7	2,2	0,6	
78,5	0,5	0,8	3,9	1,2	
Al (%)	Cu (mg/kg)	Zn(mg/kg)	Pb (mg/kg)	Co (mg/kg)	<i>Average Shale</i>
8	45	95	20	19	

Tabela. 4.3 – Factores de enriquecimento relativos ao padrão *Average Shale* (Loring & Rantala, 1992).

Embora a determinação do factor de enriquecimento a partir da composição de padrões internacionais texturalmente equivalentes seja a única alternativa na ausência de valores de referência regionais, a determinação directa das concentrações de fundo locais fornece sempre o melhor termo de comparação (Loring & Rantala, 1992), uma vez que se estão a considerar as fontes naturais dos metais pesados (erosão das rochas aflorantes da bacia hidrográfica). Com o objectivo de determinar um factor de enriquecimento que tivesse em conta a geologia local, optou-se por considerar duas zonas distintas nos perfis de concentração dos metais – uma zona mais superficial e com valores mais elevados (zona A) e outra mais profunda e exibindo concentrações mais baixas (zona B). Considerou-se que o limite entre a

ZA e a ZB se situa a cerca de 30 cm de profundidade, à qual está associada uma ruptura nos valores das concentrações dos metais e do FE calculados com o *Average Shale* (tabela 4.3).

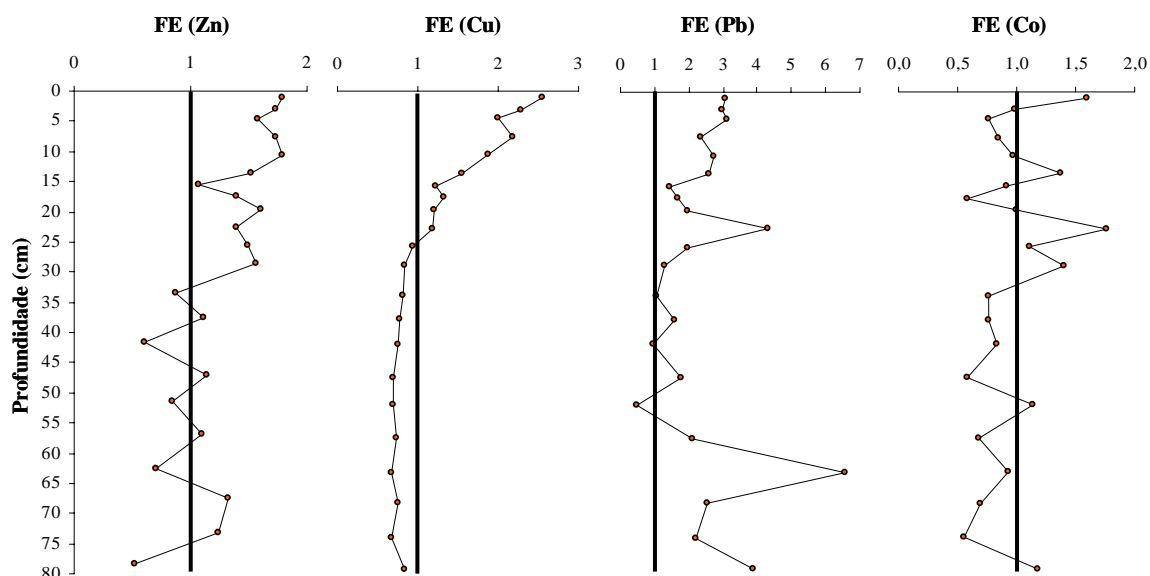


Figura 4.38 – Variação do Factor de Enriquecimento (FE) de metais pesados, relativamente ao padrão *Average Shale* na sondagem FAR4.

Aplicando a expressão de Loring & Rantala (1992), $FE = ([Metal]_{ZA}/[Al]_{ZA}) / ([Metal]_{ZB}/[Al]_{ZB})$, obtém-se um enriquecimento de 2,1 para o Cu, 1,6 para o Zn, 1,4 para o Co e 1,1 para o Pb (tabela 4.4). Embora da mesma ordem de grandeza, todos os metais apresentam um enriquecimento inferior com o padrão local, relativamente ao *Average Shale* (tabela 4.3), sendo máximo para o Cu e mínimo para o Pb.

		[Al] %	[Zn] mg/kg	[Cu] mg/kg	[Co] mg/kg	[Pb] mg/kg	[Pb] mg/kg*
ZA	(0-30 cm)	9,8	180	88	26	60	56
ZB	(30-79 cm)	10,5	118	44	20	61	49
		FE	1,6	2,1	1,4	1,1	1,2

Tabela 4.4 – Concentrações de alumínio e metais (médias), na zona de elevadas concentrações (ZA) e zona de baixas concentrações (ZB), na sondagem FAR4 e respectivos FE.

*Resultado do FE sem considerar os dois valores muito elevados exibidos no perfil do metal.

Embora os teores em metais apresentem valores médios superiores a partir dos 30cm, identificando-se, como já foi referido, uma zona superior enriquecida (zona A) relativamente a teores médios exibidos na zona inferior (zona B), a primeira pode ainda ser dividida em dois

troços: dos 0-10cm e dos 10-30cm. Não havendo uma descontinuidade de valores exibidos abaixo e acima dos 10cm, identificam-se no entanto, dois patamares com teores médios diferentes, para os quais se determinaram os FE (tabela 4.5).

		[Al] %	[Zn] mg/kg	[Cu] mg/kg	[Co] mg/kg	[Pb] mg/kg	[Pb] mg/kg*
ZA	(0-10cm)	9,7	198	118	24	69	69
	(10-30cm)	9,9	168	66	27	54	45
ZB	(30-79cm)	10,5	118	44	20	61	49
FE (0-10cm)			1,8	2,9	1,3	1,2	1,5
FE (10-30cm)			1,5	1,6	1,4	0,9	1,0

Tabela 4.5 – Concentrações de alumínio e metais (médias), nas zonas de elevadas concentrações (0-10cm e 10-30cm) e zona de baixas concentrações (ZB), na sondagem FAR4 e respectivos FE.

*Resultado do FE sem considerar os dois valores muito elevados exibidos no perfil do metal.

Uma vez que as concentrações mais elevadas são identificadas nos primeiros 10cm, o cálculo dos factores de enriquecimento desta zona mais superficial relativamente aos teores de fundo, revela valores superiores aos calculados para a zona intermédia (10-30cm) (tabela 4.5) e para a zona A (0-30cm) (tabela 4.4), com excepção para o Co, que apresenta um perfil muito irregular, exibindo na zona A concentrações da gama das exibidas na zona B.

Uma vez que o Pb apresenta um perfil muito irregular (figura 4.33), apresentando dois pontos (aos 22,5cm e aos 62,5cm) com teores descontextualizados do andamento geral, procedeu-se também ao cálculo do FE sem considerar esses valores (tabelas 4.4 e 4.5). Em todos os casos o FE aumenta, porque a diferença de teores médios entre as duas zonas também aumenta.

Uma vez que o Cu e o Zn revelam uma correlação mais forte com a matéria orgânica, relativamente ao alumínio, determinaram-se os factores de enriquecimento para ambos, normalizando as concentrações com os valores de LOI, aplicando a mesma fórmula $FE = ([Metal]_{ZA} / [LOI]_{ZA}) / ([Metal]_{ZB} / [LOI]_{ZB})$. Embora o Co e o Pb não acompanhem esta tendência, como também não apresentam uma correlação significativa com o alumínio, determinaram-se também os FE com o LOI como factor normalizador.

Os factores de enriquecimento obtidos (tabela 4.6) são menores quando o elemento normalizador é a matéria orgânica, relativamente ao alumínio e, uma vez que é a matéria orgânica que apresenta melhores correlações com os metais analisados (para o Cu e Zn), os

valores aqui obtidos para os FE serão mais fidedignos que os anteriormente calculados, para estes metais.

		[LOI] %	[Zn] mg/kg	[Cu] mg/kg	[Co] mg/kg	[Pb] mg/kg	[Pb] mg/kg*
ZA	(0-30 cm)	20	180	88	26	60	56
ZB	(30-79 cm)	15	118	44	20	61	49
		FE	1,1	1,5	0,9	0,7	0,9

Tabela 4.6 – Concentrações de LOI e metais (médias), na zona de elevadas concentrações (ZA) e zona de baixas concentrações (ZB), na sondagem FAR4 e respectivos FE.

*Resultado do FE sem considerar os dois valores muito elevados exibidos no perfil do metal.

Com excepção do Co, o enriquecimento da zona superficial (0-10cm) é superior ao enriquecimento da zona A (0-30cm), também com a matéria orgânica como factor normalizador (tabela 4.7). Mais uma vez, a justificação para Co reside no facto do seu perfil ser bastante irregular, dentro de uma gama de concentrações relativamente pequena.

		[LOI] %	[Zn] mg/kg	[Cu] mg/kg	[Co] mg/kg	[Pb] mg/kg	[Pb] mg/kg*
ZA	(0-10cm)	22	198	118	24	69	69
	(10-30cm)	19	168	66	27	54	45
ZB	(30-79cm)	15	118	44	20	61	49
	FE (0-10cm)		1,2	1,9	0,8	0,8	1,0
	FE (10-30cm)		1,1	1,2	1,1	0,7	0,7

Tabela 4.7 – Concentrações de LOI e metais (médias), nas zonas de elevadas concentrações (0-10cm e 10-30cm) e zona de baixas concentrações (ZB), na sondagem FAR4 e respectivos FE.

*Resultado do FE sem considerar os dois valores muito elevados exibidos no perfil do metal.

É de salientar que, para o caso do Co e do Pb, que não exibem correlações significativas com o alumínio e com a matéria orgânica, os FE calculados são por vezes inferiores a 1 (tabelas 4.5 a 4.7), não revelando um enriquecimento para a zona superficial. Este resultado deve-se ao facto de estes metais apresentarem teores médios muito semelhantes em cada zona considerada, sendo afectados pela diferença das concentrações médias de alumínio ou LOI em cada uma dessas zonas, quando aplicada a expressão de cálculo.

Na sequência do exposto, optou-se pela determinação do FE para o Co e Pb utilizando apenas os valores absolutos das médias, sem a interferência dos factores normalizadores, com os quais não revelaram afinidade.

		[Co] mg/kg	[Pb] mg/kg*
ZA	(0-10cm)	24	69
	(10-30cm)	27	54
	(0-30cm)	26	56
ZB	(30-79cm)	20	49
	FE (0-10cm)	1,2	1,4
	FE (10-30cm)	1,4	1,1
	FE (0-30cm)	1,3	1,1

Tabela 4.8 – Factores de enriquecimento (FE), nas zonas de elevadas concentrações (0-10cm e 10-30cm) e zona de baixas concentrações (ZB), na sondagem FAR4.

*Resultado do FE sem considerar os dois valores anómalos exibidos no perfil do metal.

O limite indicado para a zona enriquecida em metais (30cm), poderá corresponder ao início da segunda era de exploração das pirites (1849), na Faixa Piritosa, depois da exploração pelos romanos nos séculos I e III (Cruz, 2005). Na sondagem do sapal da Malha da Costa (Moreira *et al.*, 2005), pode verificar-se o incremento dos valores de metais a partir da mesma profundidade. Quevauviller (1987) encontrou o limite inferior da zona de enriquecimento para o cobre e zinco, entre 10 e 15cm em sedimentos do estuário e atribuiu-lhe o ano de 1850, pela mesma razão, sem no entanto determinar taxas de sedimentação. O enriquecimento nas concentrações de metais nos sedimentos mais modernos do estuário é em geral atribuído a duas fontes antropogénicas principais: a primeira, mais antiga, com origem a montante do estuário, relacionada com a exploração em grande escala das pirites e outra, com origem nas margens do estuário, directamente ligada aos efluentes da cidade de Setúbal e da zona industrial (Pêra *et al.*, 1977; Vale & Sundby, 1980; Quevauviller, 1987; Quevauviller *et al.*, 1989; Cortesão & Vale, 1994 e 1995).

4.2.2.2.2. Comparação das concentrações em metais no estuário do Sado

De uma forma geral, devido à capacidade de adsorção, as argilas retêm mais metais pesados, exibindo teores superiores aos de uma areia, para o mesmo grau de contaminação.

Assim, valores muito elevados em metais numa areia e numa argila, revelam-se mais preocupantes, a nível ambiental, se encontrados numa areia.

A tabela 4.9 apresenta os valores de concentrações em metais pesados de sedimentos do estuário do Sado, encontrados na literatura. Com excepção da Malha da Costa, todos os outros valores referenciados são resultado da análise de sedimentos superficiais, na maior parte dos casos efectuados na amostra total. Assim, a comparação aqui apresentada implica necessariamente um certo grau de incerteza, uma vez que, no Faralhão e na Malha da Costa, a análise geoquímica foi efectuada na fracção <2mm e, sendo negligenciável o material >2mm, é lícito considerar que a amostra total é constituída por materiais <2mm (a maioria vasas), enquanto que para outros sedimentos aqui comparados, a fracção grosseira pode ter maior relevância. Nos vários estudos a textura dos sedimentos é bastante variável (entre areia e vasas) e os valores são indicados em intervalos ou médias, sem referir convenientemente a correspondência entre teores e texturas.

Relativamente ao Cu, os sedimentos superficiais do Faralhão apresentam valores superiores (136mg/kg) a todos os sedimentos analisados nos trabalhos aqui considerados, com excepção dos teores mais elevados encontrados em sedimentos superficiais da margem norte do estuário (166mg/kg) (figura 4.39). As vasas enriquecidas da Malha da Costa (0-25cm), apresentam mínimos sensivelmente iguais (43mg/kg) (tabela 4.9) aos do Faralhão (46mg/kg), o que pode ser interpretado como um reforço para considerar, a profundidades entre os 25 e os 30cm, o sinal geoquímico de contaminação antrópica detectado no Faralhão.

De uma forma geral, o Cu apresenta concentrações mais elevados nos sedimentos superficiais da zona norte (figura 4.39), sob influência da zona industrial de Setúbal, nas quais se enquadram também os teores obtidos para os sedimentos superficiais do Faralhão, sugerindo importante influência industrial/urbana.

Quando comparados com os valores obtidos para as concentrações de Zn, os sedimentos mais enriquecidos do Faralhão apresentam teores inferiores (204mg/kg) à maioria dos sedimentos analisados no estuário, superando apenas os teores mais baixos da margem norte e os da desembocadura do Canal de Alcácer (figura 4.39). Enquanto que no primeiro caso, os valores mais baixos poderão eventualmente ser atribuídos a sedimentos de textura arenosa, no segundo caso, o efeito de diluição à entrada do estuário é referido pelos autores para explicar a diminuição acentuada dos teores em Zn no estuário relativamente ao rio Sado.

A gama de valores do Zn nos sedimentos da Malha da Costa é superior (95-261mg/kg) à dos sedimentos do Faralhão (67-204mg/kg) embora os mínimos da zona enriquecida estejam próximos dos mínimos da zona enriquecida do Faralhão.

De uma forma geral, o padrão de distribuição do Zn revela uma influência fluvial (rio Sado) predominante, atingindo os valores mais elevados nos sedimentos do Canal de Alcácer e os mais baixos no Canal de Águas de Moura, embora também revele teores elevados nos sedimentos recolhidos junto à zona industrial (figura 4.39).

Para o Pb, os teores mais elevados pertencem à zona norte do estuário (figura 4.40). Os mínimos apresentados para a margem norte poderão eventualmente estar associados a sedimentos grosseiros da desembocadura do estuário. O Pb atinge teores mais elevados no Faralhão (zona norte), com valores entre os 26-103mg/kg, contra 16-41mg/kg na Malha da Costa (zona sul) (tabela 4.9 e figura 4.40). É de realçar, no entanto, que no Faralhão os valores mais elevados para este metal são encontrados em dois máximos, às profundidades de 62 e 78cm, sendo 2 a 3 vezes superiores aos sedimentos das profundidades adjacentes, alterando muito o intervalo de valores da zona de fundo, que supera os máximos da zona mais superficial (figura 4.40).

De uma forma geral, a média de valores de Pb para a zona enriquecida do Faralhão enquadra-se nos valores obtidos por outros autores para os sedimentos da zona norte do estuário, podendo atribuir-se uma origem antrópica fundamentalmente ligada às actividades industriais e urbanas.

A avaliação das concentrações em Co é apenas referida em três estudos (tabela 4.9), situando-se acima dos valores máximos encontrados nos sedimentos do Faralhão, para sedimentos da zona industrial e do Canal de Águas de Moura (figura 4.40).

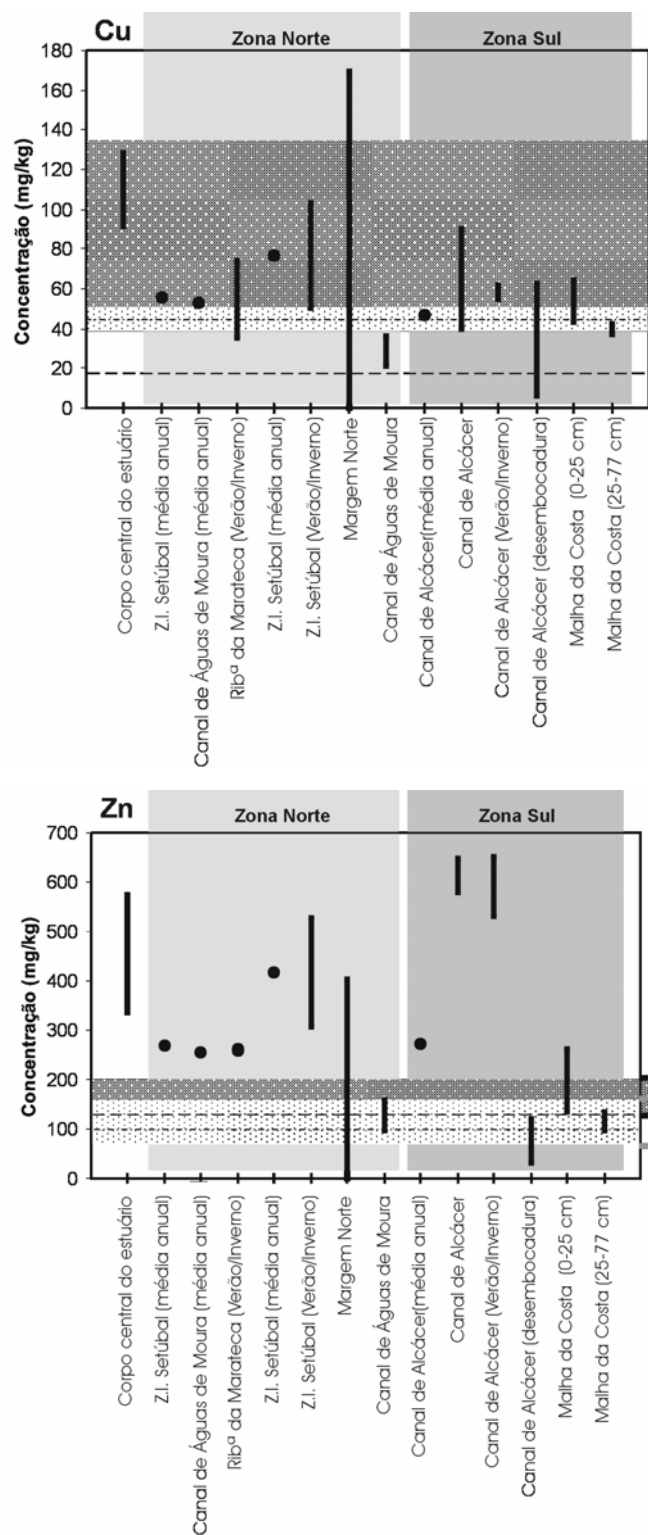
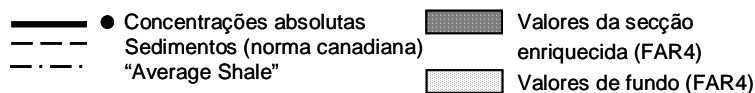


Figura 4.39 – Comparação dos teores (mg/kg) em Cu e Zn obtidos em vários estudos no estuário do Sado.



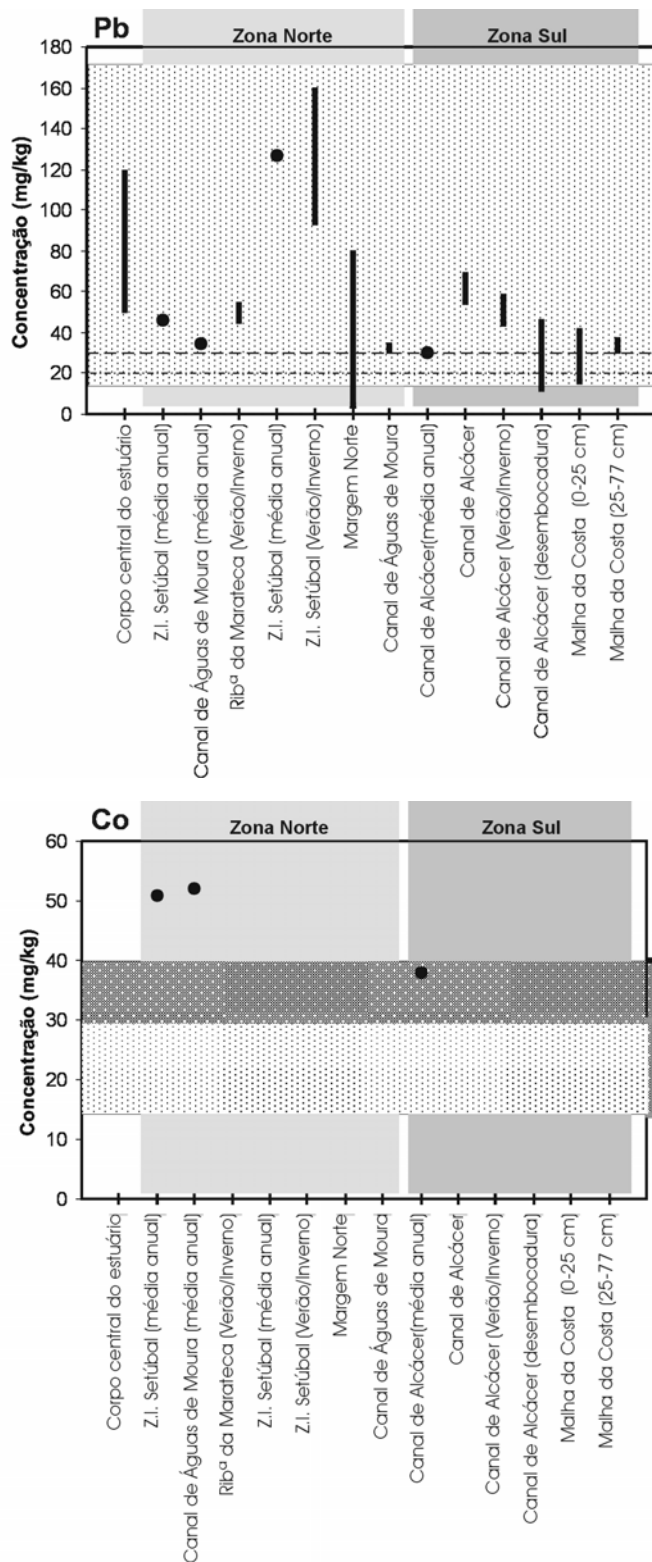
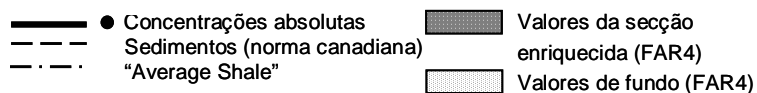


Figura 4.40 – Comparação dos teores (mg/kg) em Pb e Co obtidos em vários estudos no estuário do Sado.



METAIS PESADOS															
Ref ^a	Local	Ano de colheita	Profundidade	Fração analisada	Valores absolutos (mg/kg)					Valores normalizados Al (x10 ⁻⁴)					
					Cu	Zn	Pb	Co	Cu	Zn	Pb	Co			
[1]	Z.I. Setúbal (média anual)*	1975/76	superficiais	Total	56	270	46	51	---	---	---	---	---	---	---
[1]	Canal de Águas de Moura (média anual)*	1975/76	Superficiais	Total	53	254	35	52	---	---	---	---	---	---	---
[3]	Rib ^a da Marateca (Verão/Inverno)*	1986	Superficiais	Total	35-74	257-262	44-55	---	---	---	---	---	---	---	---
[3]	Z.I. Setúbal (média anual)*	1986	Superficiais	Total	77	418	127	---	---	---	---	---	---	---	---
[3]	Z.I. Setúbal (Verão/Inverno)*	1986	Superficiais	Total	50-103	308-529	94-159	---	---	---	---	---	---	---	---
[6]	Margem Norte (média)	1997	Superficiais	Total	---	---	---	---	8	50	---	---	---	---	---
[6]	Margem Norte*	1997	superficiais	Total	0,3-169	1,6-403	4,8-79	---	---	---	---	---	---	---	---
[2]	Canal Norte (Verão/Inverno)*	1979	Superficiais	<63µm	---	---	---	---	15±2 17±5	51±9 47±7	12±4 10±2	---	---	---	---
[5]	Canal de Águas de Moura*	1998/99	superficiais	Total	21-36	98-158	31-34	---	7-33	34-146	11-32	---	---	---	---
[2]	Corpo central do estuário*	1979	superficiais	<63µm	90-130	330-580	50-120	---	---	---	---	---	---	---	---
[4]	Estuário	1989/90	superficiais	Total	---	---	---	---	1-30	13-182	2-36	0,3-6,7	---	---	---
[1]	Canal de Alcácer (média anual)*	1975/76	Superficiais	Total	47	273	30	38	---	---	---	---	---	---	---
[2]	Canal de Alcácer*	1979	superficiais	<63µm	40-90	580-650	55-68	---	---	---	---	---	---	---	---
[3]	Canal de Alcácer (Verão/Inverno)*	1986	Superficiais	Total	55-62	531-651	44-58	---	---	---	---	---	---	---	---
[5]	Canal de Alcácer (desembocadura)*	1998/99	Superficiais	Total	6-63	31-120	12-45	---	6-14	30-71	10-12	---	---	---	---
[7]	Malha da Costa (média)	2003	Zona superficial	<2mm	55	181	34	---	7	21	4	---	---	---	---
[7]	Malha da Costa (média)	2003	Fundo	<2mm	39	110	34	---	4	12	4	---	---	---	---
[7]	Malha da Costa (média)	2003	0-77cm	<2mm	37-64	95-261	16-41	---	3,5-8,1	9,5-30,2	2,1-4,8	---	---	---	---
[7]	Malha da Costa	2003	0-25	<2mm	43-64	136-261	16-41	---	---	---	---	---	---	---	---
[7]	Malha da Costa	2003	25-77	<2mm	37-42	95-133	31-37	---	---	---	---	---	---	---	---

Tabela 4.9- Concentração de metais pesados em sedimentos do estuário do Sado. [1] Pêra *et al.* (1977); [2] Vale & Sundby (1980), [3] Quevauviller *et al.* (1989), [4] Cortesão & Vale (1995), [5] I.H. (1999,2000), [6] Belchior *et al.* (2000), [7] Moreira *et al.* (2005)
* Valores representados nos gráficos das figura 4.39 e 4.40.

Trabalhos de vários autores (Pêra *et al.*, 1977; Vale & Sundby, 1980; Quevauviller, 1987; Quevauviller *et al.*, 1989) demonstram que os níveis de metais pesados nos sedimentos superficiais variam significativamente entre a área do estuário e o rio Sado. O Cu, o Zn e o Pb apresentam valores mais elevados no rio Sado, relativamente ao estuário (tabela 4.10), resultando da erosão de afloramentos de rochas mineralizadas, da drenagem das escombrelas das explorações mineiras, para além da poluição difusa de origem agrícola.

Quevauviller *et al.* (1989) detecta os valores mais elevados nas desembocaduras das ribeiras do Roxo, de Corona e de Grândola, que drenam as explorações mineiras de Aljustrel, Lousal e Caveira, respectivamente (tabela 4.11).

Ref ^a	Metais			
	Locais	Cu	Zn	Pb
[1]	Alto Sado	21	100	59
	Sado Médio (zonas mineiras)	389	1083	382
	Baixo Sado	184	949	41
	Alto Estuário	135	2187	39
	Estuário Médio	90	1098	55
	Baixo Estuário	47	243	47
[2]	Alcácer*	17	233	6
	Canal de Alcácer (desembocadura)*	7	70	6
[3]	Canal de Alcácer	40-90	580-650	55-68
	Estuário	90-130	330-580	50-120
[4]	Alcácer	87	662	57
	Canal de Alcácer (desembocadura)	47	273	30

Tabela 4.10 – Teores (mg/kg) em metais pesados no estuário do Sado e no rio Sado. (*Metal/Alx10⁻⁴)

[1] Quevauviller *et al.*, 1989; [2] Quevauviller, 1987; [3] Vale & Sundby, 1980; [4] Pêra *et al.*, 1977.

Desembocadura das ribeiras	Cu	Zn	Pb
Ribeira do Roxo	353	1834	59
Ribeira de Corona	1423	1865	660
Ribeira de Grândola	352	1383	769

Tabela 4.11 – Teores (mg/kg) em metais pesados nas ribeiras que drenam áreas mineiras.

Da análise dos teores apresentados nas tabelas 4.10 e 4.11 e segundo Quevauviller *et al.* (1989), há um incremento muito acentuado nos teores de metais pesados na zona de confluência das ribeiras que drenam os coutos mineiros com o Sado, revelando claramente as explorações mineiras como fontes destes metais. Por outro lado (para além das perdas entre as fontes e o rio), durante o transporte fluvial, ao contrário do Zn e do Pb, há perdas significativas de Cu (Cortesão & Vale 1994, Quevauviller *et al.*, 1989; Quevauviller, 1987; Vale & Sundby, 1980; Pêra *et al.*, 1977), facto que é atribuído a fenómenos de adsorção do cobre por hidróxidos de ferro na zona superior do rio, favorecido pelas águas ácidas provenientes das minas (Cortesão & Vale 1994).

Ainda segundo os mesmos autores, as concentrações observadas para estes metais decrescem ao entrar no estuário, facto que atribuem ao “efeito de diluição” devido à mistura dos materiais fluviais ricos em metais, com os marinhos, menos ricos. Desta forma, os teores analisados nos sedimentos do estuário, especialmente o Cu, revelam uma imagem ténue da contaminação causada pelas explorações mineiras a montante.

Pode então deduzir-se, que os teores mais baixos em Cu nos sedimentos superficiais da Malha da Costa, relativamente aos teores superficiais do Faralhão e da Mitrena, revelam apenas uma contribuição fluvial (natural e antrópica: minas e agricultura), enquanto que na zona norte do estuário se adiciona uma contribuição antrópica industrial e urbana. Os teores em Zn mais elevados na Malha da Costa, relativamente ao Faralhão, estão de acordo com o padrão de distribuição do metal, com origem essencialmente fluvial.

De acordo com os dados obtidos para os dois sapais do estuário referidos e segundo vários autores (Pêra *et al.*, 1977; Quevauviller *et al.*, 1989; Cortesão & Vale, 1994 e 1995, Belchior *et al.*, 2000), podem definir-se duas potenciais origens antropogénicas para os metais pesados no estuário: a zona industrial e urbana de Setúbal, localizada na margem norte do baixo estuário e as explorações mineiras, localizadas na bacia de drenagem do rio Sado, sugerindo uma maior influência fluvial para o zinco e a proveniência essencialmente industrial para o cobre. Para além das actividades ligadas à criação de animais (principalmente suiniculturas e boviniculturas), as actividades agrícolas nas zonas internas do estuário, importantes no passado e no presente (principalmente a cultura do arroz, com uma área superior a 10000 ha, com a produção mais elevada do país (Bruxelas *et al.*, 1992)) que, com o uso de fertilizantes e fungicidas, contribuem para o enriquecimento em metais pesados nos sedimentos.

4.2.2.2.3. Origem e impacte ambiental dos metais pesados no estuário

O estuário do Sado sofreu um forte desenvolvimento industrial nas últimas décadas, funcionando como uma zona privilegiada de recepção de matérias-primas e de escoamento de produtos, facto que conduziu à ampliação do porto, um dos principais do país.

A margem norte do estuário tornou-se assim, palco de um crescimento industrial e urbano acentuado, com as águas do estuário como receptoras de avultadas cargas de metais pesados. Associada às cargas pontualmente localizadas, existe também uma entrada difusa de poluentes, devido ao escoamento originado nas zonas terrestres no perímetro do estuário e da própria bacia hidrográfica.

Os metais pesados nos sedimentos do estuário podem ter duas origens distintas: natural ou antrópica. A título de exemplo das fontes naturais, referem-se os elementos traço existentes num conjunto de minerais comuns das rochas (tabela 4.12).

Mineral	Elementos de traço
Olivina	Co, Zn, Cu, Ni, Mn, Li, Mo
Hornblenda	Co, Zn, Cu, Mn, Sc, Li, V, Ga
Augite	Co, Zn, Cu, Pb, Mn, Sc, Li, V, Ga
Biotite	Co, Zn, Cu, Rb, Ba, Ni, Sc, Li, Mn, Ga
Apatite	Pb, Sr, Terras Raras
Anortite	Cu, Sr, Mn, Ga
Andesina	Cu, Sr, Mn, Ga
Oligoclase	Cu, Ga
Albite	Cu, Ga
Ortoclase	Cu, Rb, Ba, Sr, Ga
Muscovite	Cu, F, Rb, Ba, Sr, Ga, V
Ilmenite	Co, Cr, Ni, V
Magnetite	Co, Zn, Cr, Ni, V

Tabela 4.12 – Elementos de traço constituintes de alguns minerais comuns (adapt. de Alloway, 1995).

A origem natural dos metais adquire aqui um peso relevante, uma vez que na BHS afloram rochas mineralizadas, potenciais fontes de metais pesados para a rede hidrográfica através da sua erosão.

Embora os metais pesados façam parte da constituição dos materiais parentais dos sedimentos, a origem mais importante é antrópica, contando-se como principais fontes: 1) actividade mineira; 2) produtos usados na actividade agrícola; 3) queima de combustíveis fósseis; 4) indústria metalúrgica; 5) indústria electrónica; 6) indústria química; 7) lamas das

ETAR's; 8) lixiviação de lixeiras e aterros; 9) campos de tiro, caça desportiva e pesca; 10) actividade militar (Alloway, 1995).

Na BHS existem 172 explorações mineiras (figura 4.29), todas abandonadas com excepção de alguns coutos mineiros em Aljustrel, que se mantêm em manutenção, mas sem qualquer tipo de extracção de minério. Segundo Oliveira *et al.* (2002), a influência dos materiais resultantes da actividade mineira continua a fazer-se sentir no meio envolvente, mesmo depois do abandono da exploração, constituindo as escombrelas a maior fonte de contaminação em metais pesados. Na figura 4.39 pode observar-se que as ribeiras da zona nordeste da BHS drenam essencialmente minas de Cu, Fe e Ag, enquanto que as de Mn, Pb, Zn e também Cu, são provenientes essencialmente da zona sudeste da BHS.

Apesar da rede de drenagem do Sado atravessar jazigos metalíferos e constituir fonte importante de metais para o estuário, a contribuição fluvial em matéria particulada contaminada (tabela 4.13) é relevante apenas em períodos chuvosos de Inverno, uma vez que o Sado diminui drasticamente o seu caudal no resto do ano (Pêra *et al.*, 1977; Quevauviller, 1987; Moreira, 1992; Rodrigues, 1992; Cortesão & Vale, 1994; Belchior *et al.*, 2000). Segundo Belchior *et al.* (2000) e Quevauviller *et al.* (1989), as partículas contaminadas no estuário inferior parecem provir principalmente do canal norte, com origem na zona industrial e urbana de Setúbal. Segundo Quevauviller (1987), os metais pesados com origem na margem norte do estuário inferior são mais nocivos para as comunidades biológicas do estuário do que os metais provenientes de outros locais da bacia hidrográfica do Sado, que no entanto, possuem concentrações mais elevadas. Este facto é atribuído à diferente forma química em que os metais se podem encontrar (especiação química) e/ou à presença de metais mais tóxicos, tais como cádmio, mercúrio e estanho, na zona industrial. Entre os agentes poluidores com maior impacto no estuário, conta-se o composto organometálico tributílo de estanho (TBT), constituinte das tintas anti-vegetativas. A sua elevada toxicidade conduziu à sua utilização como biocida em diversas aplicações, entre as quais como agente anti-incrustante nas tintas aplicadas em embarcações. A sua aplicação generalizada nas embarcações do estuário do Sado conduziu, desde o fim da década de sessenta, ao desaparecimento de importantes bancos de ostras (Ferreira, 1990), para além do surgimento do *imposex* em gastrópodes, termo que designa o aparecimento de caracteres genitais masculinos em fêmeas adultas de espécies dióicas (Pessoa, 1999). Depois de ser condicionada a sua utilização a embarcações de grande calado, com os estaleiros da Lisnave a contribuir durante décadas com TBT para o estuário, na actualidade é proibida a sua aplicação.

Metais (t/ano)	Rio Sado (ano de 1987/1988)
Cu	9000
Zn	239000

Tabela 4.13 – Descargas anuais do rio Sado para o estuário no ano hidrológico de 1987/1988 (Cortêsão & Vale *in* Rodrigues, 1992).

A localização da zona industrial na Mitrena também é um factor a considerar no agravamento das condições ambientais, uma vez que as correntes superficiais para terra, se fazem preferencialmente no canal norte (figura 4.40), ajudando desta forma a dispersão das descargas poluentes para o interior do estuário.



Figura 4.41 – Direcções dominantes das correntes de maré à superfície do estuário do Sado (adaptado de Quevauviller, 1987).

Para além dos metais pesados, que certamente terão uma contribuição importante na degradação das condições ambientais, há também que considerar os poluentes orgânicos, derivados das indústrias e zona urbana, assim como das explorações agrícolas, que não são aqui abordados por não se enquadrarem no âmbito deste trabalho.

Nas décadas de 60 e 70 foram implantadas várias indústrias na margem norte do estuário do Sado (Rodrigues, 1992): Secil, fábrica de cimento; Santa Catarina, extracção e refinaria de óleos vegetais; Matadouro Municipal; Portucel, Inapa e Parel, transformação de

papel e pasta de papel; Propam, indústria bioquímica; Arlíquido, indústria química (produção de oxigénio, azoto, árgon e acetileno); Sapec, indústria química (produção de fertilizantes, pesticidas, rações e ácido sulfúrico); EDP, unidade de produção de electricidade; indústrias relacionadas com maquinaria e construção (Russo, Mague, Setenave, Boliden e Etermar) e Eurominas (entreposto de minério). A caracterização dos efluentes descarregados para o estuário foi efectuada pelo LNETI em 1988, para sete destas unidades industriais e também para os efluentes da cidade de Setúbal, descarregados na ribeira do Livramento (*in* Rodrigues, 1992). Na tabela 4.14 apresentam-se apenas os valores calculados para as descargas anuais de metais pesados (Cu, Zn e Pb).

Metais (Kg/ano)	Propam	Matadouro	Sapec	S.Catarina	Inapa + Parel	Portucel	Urbanos
Cu	450,0	1,7	2500,0	-	77,8	394,4	724,4
Zn	726,0	2,6	5400,0	-	1500,0	172,2	1700,0
Pb	33,0	0,11	391,4	3,2	104,9	120,1	136,1

Tabela 4.14 – Descargas anuais no estuário do Sado dos efluentes industriais e urbanos (*in* Rodrigues, 1992).

Comparando o tipo de indústrias instaladas actualmente na margem norte do estuário, relativamente às que instalaram na década de 60, pode concluir-se que muitas encerraram, tendo aparecido novas empresas, muitas ligadas ao tratamento de resíduos. De uma forma geral, pode dizer-se que as grandes potenciais poluidoras se mantêm em actividade (embora com tratamento/encaminhamento de resíduos produzidos) e o aglomerado populacional de Setúbal cresceu bastante, aumentando inevitavelmente as cargas em metais nos efluentes urbanos.

Como origem antrópica para os metais (Cu, Co, Pb e Zn) no estuário do Sado (origem pontual e difusa na zona industrial e BHS em geral) podem referir-se:

Fonte de metais pesados	Metais pesados			
	Cu	Co	Pb	Zn
Efluentes urbanos	x	x	x	x
Lixiviação de aterros	x		x	x
Lixiviação de escombrelras das explorações mineiras	x		x	x
Fabrico de pasta de papel e papel	x		x	x
Reparação naval	x			
Queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo)	x		x	x
Artes gráficas			x	x
Fabrico de embalagens plásticas			x	
Fabrico de adubos e fertilizantes	x		x	x
Indústria alimentar	x		x	x
Indústria electrónica	x	x	x	x
Produtos utilizados na actividade agrícola:				
Impurezas nos fertilizantes			x	x
Pesticidas	x		x	x
Lamas provenientes das ETAR's	x	x	x	x
Estrumes provenientes da actividade pecuária	x		x	x
Fertilizantes químicos (adubos fosfatados, azotados)	x	x	x	x
Produtos para preservação da madeira	x			
Efluentes das actividades pecuárias	x		x	x

Tabela 4.15 – Prováveis fontes de metais pesados no estuário do Sado (Alloway, 1995; Adriano, 1986 e Rodrigues, 1992)

Da análise da tabela 4.15 pode deduzir-se que as actividades agrícolas bastante difundidas na BHS, têm um papel importante na poluição difusa do estuário, devido à aplicação de fertilizantes e adubos. As actividades pecuárias, que se encontram muito disseminadas na BHS (especialmente suiniculturas e boviniculturas) têm também um papel importante na introdução de metais no estuário, ampliado pelo facto de os efluentes serem descarregados directamente nas linhas de água.

Relativamente ao tratamento de efluentes urbanos, o panorama actual é diferente, sendo as águas residuais tratadas em ETAR's. Junto ao estuário existem três ETAR, as do Faralhão e Pontes, que entraram em funcionamento na década de 90 e a de Setúbal, que recebe os efluentes da cidade e de algumas indústrias, desde 2003. Os efluentes industriais das indústrias instaladas actualmente na margem norte do estuário (anexo 1) são tratados em estações de tratamento próprias ou são canalizados para a ETAR de Setúbal, sendo as águas do estuário o destino final. Também no caso dos resíduos sólidos, o panorama actual é bem diferente do passado recente, com a recolha dos resíduos a ser efectuada por empresas certificadas, algumas das quais recém instaladas nesta zona (anexo 1).

4.2.2.2.4. Comparação entre as concentrações em metais do estuário do Sado e de outros estuários

As concentrações médias de fundo de Cu e Zn no Faralhão são superiores às encontradas no sapal do Alfeite, no estuário do Tejo e às concentrações médias dos solos rurais da Escócia não contaminados (figura 4.42), o que deve estar directamente ligado à erosão das rochas da Faixa Piritosa na bacia de drenagem do Sado e à exploração antiga das minas. Quando comparados com os valores encontrados para as concentrações médias destes metais em sedimentos profundos (30-60cm) da embocadura do estuário do Tejo (figura 4.42), a média da metade inferior da sondagem do Faralhão (44mg/kg para o Cu e 118mg/kg para o Zn) revela valores da mesma ordem de grandeza (tabela 4.16), apoiando a assunção destas concentrações como valores pré-industriais. As concentrações de fundo normalizadas com o alumínio (tabela 4.16) revelam valores da mesma ordem de grandeza dos encontrados em sedimentos superficiais de estuários não poluídos nos EUA (tabela 4.16), o que parece sublinhar a ideia de um enriquecimento nestes metais nos últimos anos.

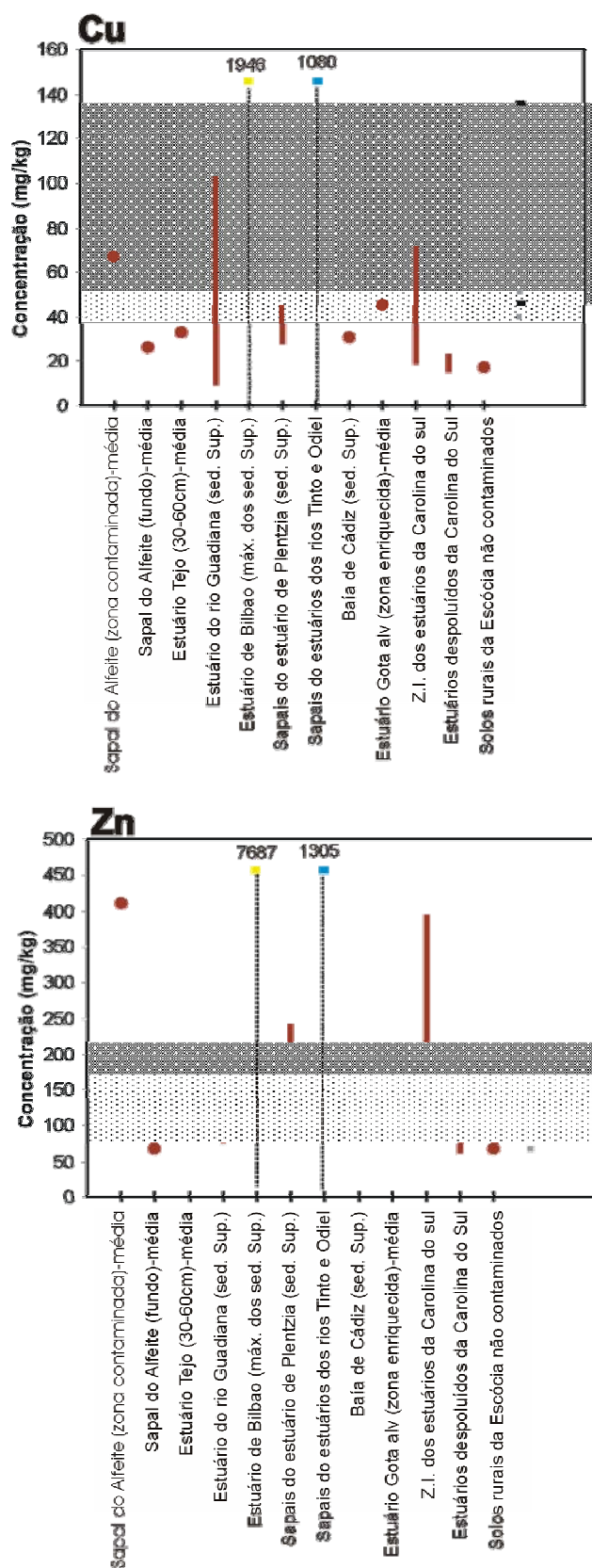
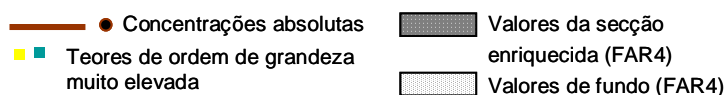


Figura 4.42 – Comparação dos teores (mg/kg) em Cu e Zn do Faralhão com teores obtidos para outros estuários.



Relativamente aos sedimentos superficiais de sapais do estuário de Plentzia, em Espanha (tabela 4.16), considerados moderadamente poluídos, essencialmente por actividades agrícolas, as concentrações normalizadas com o alumínio no Faralhão são inferiores para o Zn mas duas vezes mais elevadas em Cu, o que poderá estar relacionado com a contribuição industrial no estuário do Sado.

Quando comparados com os valores atingidos nos sapais do estuário dos rios Tinto e Odiel, em Espanha (figura 4.42), uma das zonas mais poluídas do SW da Europa (Ruiz *et al.*, 1998), os máximos atingidos no sapal do Faralhão são seis vezes inferiores, embora se situem um pouco acima das concentrações determinadas para os sedimentos superficiais do estuário do Guadiana (figura 4.42).

Os sedimentos superficiais dos estuários da Carolina do Sul (tabela 4.16) revelam valores muito inferiores aos do Faralhão, em zonas de sapais fora da influência de actividades antrópicas, mas semelhantes para o zinco, em zonas claramente afectadas pelos efluentes industriais e urbanos.

Quando comparados com duas zonas sujeitas a pressões urbanas, como são a Baía de Cádiz e o estuário Göta älv (figura 4.42), os sedimentos superficiais do Faralhão apresentam valores da mesma ordem de grandeza para o Zn, mas muito superiores para o Cu.

Relativamente aos teores de Pb, os valores da zona enriquecida do Faralhão abrangem a gama de concentrações indicadas para todos os estuários referidos (figura 4.43), com excepção dos valores de fundo do sapal do Alfeite e estuário do Tejo (30-60cm) e ainda dos estuários despoluídos da Carolina do Sul, que apresentam valores inferiores. Esta comparação sugere que os teores dos primeiros 30cm do Faralhão revelam alguma contaminação antrópica. Os valores da zona mais profunda apresentam um intervalo de valores muito alargado que, como já foi explicado, devido a dois valores muito elevados, atinge máximos muito superiores aos mais típicos dessa zona, sendo no entanto de notar que os mínimos do Faralhão são semelhantes aos encontrados nos estuários despoluídos da Carolina do Sul, reforçando a sua representação como valores de fundo. Tal como para os outros metais analisados, os estuários de Bilbao e dos rios Tinto e Odiel, revelam valores de várias ordens de grandeza acima dos encontrados para qualquer outro dos estuários referidos (figura 4.43).

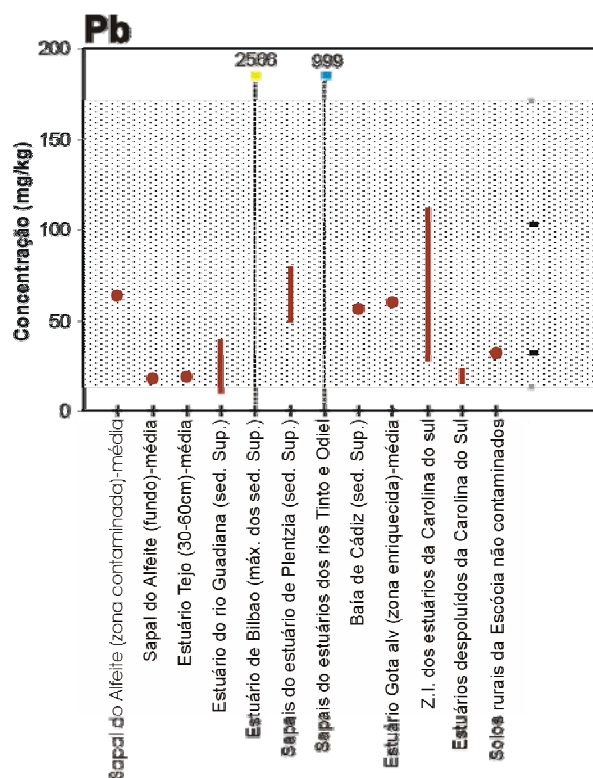


Figura 4.43 - Comparação dos teores (mg/kg) em Pb do Faralhão com teores obtidos para outros estuários.

—●— Concentrações absolutas Valores da secção enriquecida (FAR4)
■ Teores de ordem de grandeza muito elevada Valores de fundo (FAR4)

Concentração (mg/Kg)	Cu	Pb	Zn
Sapal do Alfeite (secção contaminada) – média ¹	67	64	411
Sapal do Alfeite (fundo) – média ¹	26	18	67
Sedimentos profundos (30-60m) da embocadura do estuário do Tejo -média ²	33	19	95
Sedimentos superficiais do estuário do rio Guadiana ³	9-103	9-39	74-180
Solos rurais da Escócia não contaminados – média ⁴	17	32	69
Sedimentos de estuários não poluídos na Florida - EUA (concentrações normalizadas com o alumínio) ⁵	2,5	3,2	12
Sedimentos de estuários não poluídos na Georgia - EUA (concentrações normalizadas com o alumínio) ⁵	1,8	3,5	12
Sedimentos superficiais do estuário de Bilbao – máximos ⁶	1946	2566	7687
Sedimentos superficiais de sapais estuário de Plentzia (Espanha) ⁶	28-45	49-79	161-242
Sedimentos superficiais dos sapais do estuário dos rios Tinto e Odiel (Espanha) ⁷	1080	999	1305
Sedimentos superficiais da Baía de Cádiz (Espanha) ⁸	31	56	197
Sedimentos superficiais dos estuários da Carolina do Sul – EUA (sapais não afectados pelos efluentes industriais e urbanos) ⁹	15-23	15-23	62-83
Sedimentos superficiais dos estuários da Carolina do Sul – EUA (zona industrial) ⁹	19-71	27-112	101-395
Estuário Gota alv (Suécia) – média da zona enriquecida ¹⁰	45	60	200

Tabela 4.16 – Concentrações de metais pesados em sedimentos de outros estuários.

¹Freitas *et al.* (1999), ²Costa *et al.* (1999), ³Ruiz *et al.*,1996 in Ruiz *et al.* (1998), ⁴Purves,1985 in Cruces (2001), ⁵Belchior *et al.* (2000), ⁶Cearreta *et al.* (2002), ⁷Borrego *et al.* (2002), ⁸Gomes Parra *et al.*(1984), ⁹Sanger *et al.* (1999), ¹⁰Brack & Stevens (2001).

4.2.2.2.5. Comparação das concentrações em metais com valores de referência

Os sedimentos superficiais do Faralhão atingem valores de 201mg/kg para o Zn e 73mg/kg para o Pb, bastante inferiores aos limiares de toxicidade (tabela 4.17) ao contrário do Cu, que existe nos sedimentos superficiais em concentrações (136mg/kg) que superam este limite.

Relativamente aos valores de referência para metais pesados nos solos, indicados na legislação em vigor no nosso país (tabela 4.17), o Zn e o Pb apresentam concentrações inferiores aos limites, ao contrário do Cu, que nos sedimentos superficiais do Faralhão atinge valores que superam o limite imposto pela lei nacional e comunitária para solos destinados à agricultura.

Concentração (mg/Kg)	Cu	Co	Pb	Zn
Solos (5,5<pH≤7,0) – valores - limite ¹	100	---	300	300
Solos – valores - limite ²	50-140	---	50-300	150-300
Limiars de toxicidade ³	60-125	---	100-400	40-400
Valor intervenção/nível indicativo holandês para solos ⁴	190	---	530	720
Valor-alvo holandês para solos ⁴	36	---	85	140
Critério de qualidade dos sedimentos ⁵	16	50	31	120

Tabela 4.17 – Concentrações de metais pesados em sedimentos/solos – valores de referência.

¹ Portaria 176/96 – DR 230 II série de 3/10/96; ² Directiva 86/278, Diário Oficial da Comunidade Europeia – L181/10 de 4/7/86, transposta para Portugal pelo DL n° 446/91, DR 269, I série A de 22/11/91; ³ Alloway (1995); ⁴ Hackenbush (2004); ⁵ Min. Env. Energy of Canada (1998).

Os sedimentos superficiais registam concentrações de Cu, Pb e Zn bastante inferiores aos valores definidos na legislação holandesa como limiar de intervenção para solos agrícolas, mas superiores aos valores-alvo holandeses (tabela 4.17) no caso do Cu e Zn, sendo o Cu o metal que mais se distancia das concentrações indicadas. Relativamente à legislação canadiana, as concentrações encontradas nos sedimentos superficiais do Faralhão para o Cu, Pb e Zn estão muito acima dos valores referência, embora o Co se situe abaixo do valor considerado como critério da qualidade dos sedimentos (tabela 4.17).

Segundo a legislação nacional (Despacho conjunto, 1995), que estabelece normas para o controlo da composição em metais pesados e compostos orgânicos dos materiais dragados, os sedimentos do Faralhão são classificados como material com contaminação vestigiária (classe 2) para o Cu, material limpo a material com contaminação vestigiária (classes 1 e 2) para o Zn e Pb.

De todo o exposto decorre que as concentrações superficiais dos metais analisados apresentam um enriquecimento relativamente aos valores de fundo (pré-industriais) e situam-se acima dos valores de referência definidos na legislação portuguesa (Cu) e holandesa (Cu e Zn), para além de, no caso do cobre, ultrapassar os limites de toxicidade, o que leva a encarar o estuário do Sado, especialmente a sua margem norte, como um local com necessidade de intervenção ao nível do controlo da poluição.

4.2.2.3. Taxas de sedimentação

A análise conjunta dos perfis de excesso de ^{210}Pb e do radionuclido artificial ^{137}Cs nos sedimentos, conduz à obtenção de taxas de sedimentação através de critérios independentes (Cundy & Croudace, 1996; Brack & Stevens, 2000; Cruces *et al.*, 2005; Xueqiang & Matsumoto, 2005; Sousa *et al.*, 2006).

O perfil de excesso de ^{210}Pb (figura 4.44) indica uma taxa de sedimentação de 2,9mm/ano (figura 4.45). Assumindo uma taxa de sedimentação constante, à profundidade de 78cm (base da sondagem) corresponde o ano de 1734. A análise dos resultados do ^{137}Cs , que apontam para a primeira evidência deste radionuclido (1954) e para o máximo de deposição atmosférica (1963), às profundidades de 19,5cm e de 17,5cm, respectivamente (figura 4.44), conduz a uma taxa de sedimentação de 2,2mm/ano entre 1954 e 1963. Este valor sobe para 4,4mm/ano para o topo da coluna sedimentar, considerando que se acumularam 17,5cm de sedimentos em 40 anos (1963-2003). Adoptando uma taxa de sedimentação média de 4,0mm/ano (1954-2003), pode-se inferir para a base da sequência sedimentar (78cm) o ano de 1808.

Embora as taxas de sedimentação obtidas pelos dois isótopos sejam da mesma ordem de grandeza, na inferência das datações está a considerar-se uma taxa de acumulação anual constante, o que na verdade não acontece, tal como se revela com precisão para o ^{137}Cs , nos primeiros 20cm. Contudo, pode apontar-se o intervalo de tempo entre 1734 e 1808 como a idade dos sedimentos mais antigos desta sondagem.

O estuário do Sado é afectado por um clima subtropical, com Verões quentes e secos e Invernos com chuvas concentradas (Moreira, 1992). Enquanto no período de Verão o transporte de sedimentos via fluvial é insignificante (Moreira, 1992), no Inverno o caudal do rio Sado atinge duas ordens de grandeza superiores à média do restante ano (Cortês & Vale, 1994), implicando uma variação sazonal acentuada no fornecimento sedimentar ao estuário. Por outro lado, a disponibilidade de sedimentos no Inverno é aumentada pelas enxurradas

artificiais, causadas pelas descargas das represas e ainda pela erosão das escarpas do alto sapal, acelerada pelas chuvas concentradas (Moreira, 1992), originando neste caso, uma redistribuição dos sedimentos.

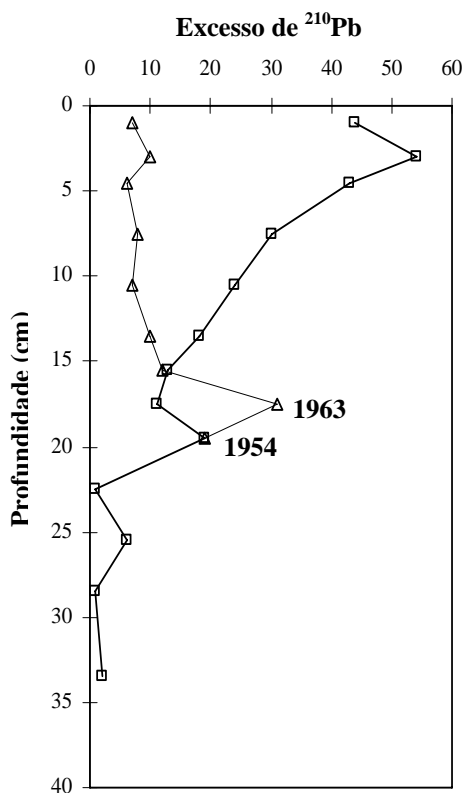


Figura 4.44 – Perfil de excesso de ^{210}Pb □ e do ^{137}Cs △, na sondagem FAR4.

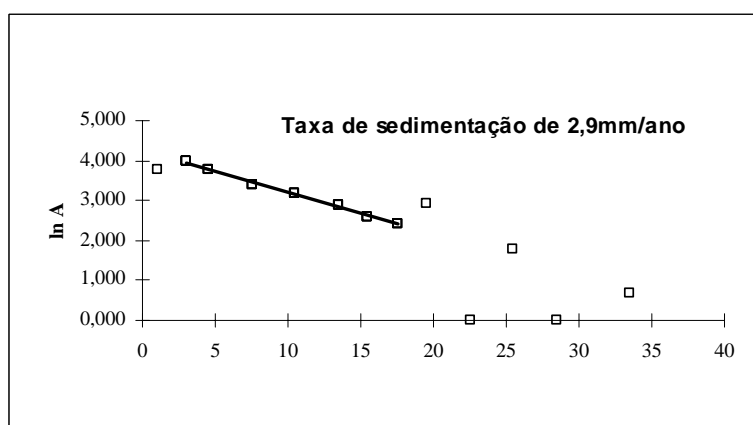


Figura 4.45 – Determinação da taxa de sedimentação através do excesso de ^{210}Pb nos sedimentos da sondagem FAR4.

Decorre do exposto que a acumulação anual de sedimentos nos sapais do estuário do Sado é essencialmente realizada no período de chuvas, e está muito dependente da variação da pluviosidade em Invernos consecutivos, da densidade do coberto vegetal e das actividades antrópicas. Sendo assim, a extrapolação das taxas de sedimentação para longos períodos de tempo não é um processo rigoroso.

As medições directas (entre 1978 e 1989) efectuadas por Moreira (1992) nos sapais do estuário do Sado, revelaram taxas de acreção vertical entre 0,8 e 3,1mm/ano nas zonas de alto sapal e 0,7 a 3,3mm/ano para o baixo sapal (zonas central e sul do estuário). As taxas de sedimentação obtidas para o sapal do Faralhão revelam valores de 4,4mm/ano para os primeiros 17,5cm de sondagem (1963-2003), enquanto que para níveis inferiores as taxas determinadas situam-se entre os 2,2 e os 2,9mm/ano, revelando valores da mesma ordem de grandeza das medições directas acima referidas.

Comparando as taxas de sedimentação obtidas para o sapal do Faralhão com outros sapais (Woodroffe, 2002) pode inferir-se que os primeiros 40cm da coluna sedimentar analisada corresponde a um ambiente de alto sapal, com taxas inferiores às verificadas em geral no domínio do baixo sapal:

- Scolt Head Island (EUA), 5mm/ano em baixo sapal
- Long Island (EUA), 9-35mm/ano em baixo sapal e 2-4mm/ano em alto sapal.

Com taxas de acumulação mais elevadas no topo (4,4mm/ano) relativamente a níveis subjacentes (2,2mm/ano), entre a superfície e os 17,5cm de profundidade e até aos 19,5cm, respectivamente, o troço mais recente da sequência sedimentar apresenta taxas de sedimentação compreendidas entre os valores admitidos para este domínio em ambientes de sapal.

O limite inferior da secção com teores mais elevados em metais (30cm), posiciona-se abaixo do nível atribuído a 1954 (figura 4.37), pelo que o início do sinal antrópico é anterior à década de 60, quando ocorreu o desenvolvimento industrial e urbano de Setúbal. Para datar o início deste sinal, assumiu-se a taxa de acumulação obtida no intervalo 1954-1963, de 2,2mm/ano, inferindo-se o ano de 1906 para o limite inferior da secção enriquecida em metais pesados. Esta data é posterior ao auge da exploração das pirites alentejanas (1866-1875 nas minas de Aljustrel). Este período é referido por Cruz (2005) como a era de uma “autêntica febre mineira no sul”, suscitada pela chegada do caminho de ferro.

As minas de Aljustrel, exploradas pelos romanos nos séculos I e III, entraram novamente em exploração em 1849, enquanto que as minas da Caveira e do Lousal, iniciaram

a extracção do cobre em 1863 e 1900, respectivamente. Estas minas foram desactivadas no final do século XX, sendo certamente responsáveis pelo enriquecimento em metais dos sedimentos do estuário do Sado.

Na BHS, para além das minas de Aljustrel, Lousal e Caveira, existem numerosas ocorrências minerais de sulfuretos (figura 4.36), que actualmente se encontram desactivadas, mas que constituíram e constituem fontes de dispersão de metais (Cu, Zn, Pb, Mn e Fe) no ambiente (Oliveira *et al.*, 2002).

Para além das minas, a poluição industrial e urbana e as actividades agrícolas na BHS são apontadas como fontes antropogénicas para os metais no estuário, principalmente a partir da década de 60, o que certamente vem contribuir para o incremento dos teores dos metais para níveis mais superficiais.

PARTE II

APLICAÇÃO EXPERIMENTAL NO ENSINO SECUNDÁRIO

1.ENQUADRAMENTO

As finalidades que presidiram à elaboração do novo programa de Geologia do Ensino Secundário -10º e 11º anos (Silva *et al.*, 2001) e 12º ano (Amador & Silva, 2004), assinalam a importância de modelos de ensino-aprendizagem com uma índole prática enfatizada e visam a criação de ambientes de ensino e de aprendizagem favoráveis à construção activa do saber. Perspectivando uma orientação construtivista, as actividades de âmbito experimental desempenham um papel importante na aprendizagem da Geologia, quer ao nível das saídas de campo, quer no laboratório, conduzindo ao desenvolvimento de novas capacidades nos alunos. Neste âmbito, cabe ao professor criar situações motivadoras, que desencadeiem processos de identificação de problemas, investigação e construção de hipóteses explicativas, para além de promover formas eficazes de comunicação da informação.

Para além de desenvolver competências práticas relacionadas com a Geologia e aplicar os conhecimentos adquiridos a problemas quotidianos, interessa promover, junto dos alunos, a valorização do conhecimento geológico na sociedade actual. Os problemas decorrentes da acção antrópica nos sistemas terrestres passa, em muitos casos, pelo desconhecimento dos materiais e processos geológicos. Mas, ao promover a formação de cidadãos participativos e conscientes das suas decisões, porque informados e capacitados para argumentarem a favor de uma causa, estaremos certamente a contribuir para uma melhor relação entre o Homem e a Terra.

No trabalho de investigação proposto aos alunos, parte-se da recolha de amostras de campo, no estuário do Tejo (sapal de Corroios), para posterior tratamento laboratorial, utilizando metodologias análogas àquelas que se desenvolveram nos laboratórios da Universidade. A selecção do local é decorrente da proximidade da Escola Secundária Moinho de Maré ao sapal e do interesse em caracterizar as modificações aí operadas pelo Homem nos últimos anos.

Neste âmbito, as problemáticas levantadas nesta proposta de trabalho de investigação, vão ao encontro dos grandes temas abordados nos programas de Geologia do Ensino Secundário, concretizadas numa situação-problema.

As zonas costeiras, áreas de transição extremamente vulneráveis às mudanças climáticas em geral e em particular, à subida do nível do mar, constituem ótimos arquivos

das modificações operadas ao longo do tempo. Neste sentido, o estudo detalhado destas zonas, nomeadamente do seu registo sedimentar, é verdadeiramente importante para permitir prever o impacto das alterações no futuro, numa perspectiva ambiental e socio-económica.

O incremento da ocupação da faixa costeira, intensifica o conflito de interesses entre as actividades humanas (turismo, pesca, indústria, construção civil, etc.) e a preservação da biodiversidade e da mobilidade natural dos ecossistemas costeiros. Deste modo, põe-se em risco os edifícios e o próprio futuro das actividades económicas, ao destruir as defesas naturais, ao mesmo tempo que se artificializa a faixa costeira com obras de engenharia inestéticas e com efeitos secundários. Neste contexto, é importante contribuir para a consciencialização dos mais jovens, no sentido de formar cidadãos conhecedores e participativos na resolução dos problemas do quotidiano, numa perspectiva não apenas da correcção de erros cometidos pelas gerações antecedentes, mas sobretudo na necessidade de conhecer o ambiente que os rodeia, para melhor preverem e planearem o seu próprio futuro.

A problemática decorrente deste conflito de interesses, está bem patente nos programas de Geologia do 11º ano (ponto 1 do tema IV – *Ocupação antrópica e problemas de ordenamento*) e 12º ano (ponto 3 do tema III – *O Homem como agente de mudanças ambientais*).

Para além do seu valor como verdadeiros arquivos das modificações ambientais (conceito abordado no ponto 2 do tema I do 10º ano – *As rochas, arquivos que relatam a História da Terra*), os sedimentos das zonas húmidas costeiras constituem eficientes depuradores naturais, retendo poluentes como metais pesados, radioisótopos e fosfatos. A análise dos sedimentos, revela assim a verdadeira dimensão do problema da poluição das águas da bacia hidrográfica, decorrente das actividades antrópicas nas zonas envolventes (abordagem no ponto 3.2 do tema II do 10º ano – *Intervenção do Homem nos subsistemas terrestres*).

Este projecto de trabalho está estruturado para ser proposto a alunos do Ensino Secundário do Agrupamento 1 – Científico-Natural. Nesta fase dos estudos, os alunos já adquiriram as competências básicas necessárias para a iniciação à realização de um trabalho de investigação orientado e para a sua apresentação, tais como: utilização das NTIC (Novas Tecnologias da Informação e da Comunicação) como instrumento de pesquisa, tratamento de dados e divulgação de resultados, organização e métodos de trabalho em grupo.

2.FUNDAMENTAÇÃO

2.1. O papel da educação ambiental

Para a maior parte das matérias, a escola é considerada o espelho das sociedades, uma vez que a distância temporal que separa a sociedade escolar da sociedade real é muito reduzida. O que for adquirido na escola é reproduzido na sociedade alguns anos depois (Carapeto, 1998). É neste contexto de reconhecimento da educação como instrumento decisivo de mudança social, que se tem preconizado a sua reorientação em prol do desenvolvimento sustentável, através da educação ambiental.

A gravidade dos problemas ambientais torna urgente a mobilização social para os processos decisórios que os causam e tal só poderá ser assegurado com a divulgação de informação e com a sensibilização das sociedades, com recurso à Educação Ambiental. A componente educacional revela-se de suma importância, na medida em que a escola é o local privilegiado para expor e debater ideias, clarificar valores e promover atitudes.

A resolução dos problemas passa certamente pelo avanço científico e tecnológico mas também, pelo processo de tomada de consciência de todos os elementos da sociedade, e é neste âmbito que a escola representa um veículo privilegiado para a promoção de actividades que, para além dos tempos lectivos, permitem aos jovens envolverem-se na caracterização e resolução de problemas próximos e reais.

Todos os intervenientes da sociedade, de um modo geral, estão a tornar-se gradualmente mais conscientes da destruição dos recursos naturais, compreendendo que uma nova era de desenvolvimento depende da sua manutenção sustentável. No entanto, o processo de tomada de consciência é moroso e a urgência em atingir um nível elevado de consciencialização e modificação de atitudes, leva à necessidade de sensibilizar a sociedade em geral, para a inegável interdependência económica, política e ecológica do mundo actual e consequente preservação do património natural. É urgente definir valores e promover motivações, que conduzam a comportamentos e tomada de medidas que contribuam para a preservação e melhoria do ambiente que nos rodeia. Os comportamentos não se podem modificar verdadeiramente, enquanto a maioria dos membros da sociedade não tenham, livre e conscientemente, interiorizado valores mais positivos para a salvaguarda do ambiente, assumindo compromissos e responsabilidades.

As acções de Educação Ambiental deverão ajudar cada indivíduo a tomar consciência do meio que o rodeia, dos seus problemas e da sua complexidade; a interessar-se, conhecer e informar-se sobre esses problemas; a procurar informação sobre as possíveis consequências que tais problemas poderão acarretar no futuro; a participar na procura de soluções para problemas ambientais; a participar em algum tipo de actividade construtiva de forma a melhorar a qualidade do meio e/ou do estado de consciencialização da sociedade (Pinto, 1990). Embora a Educação deva abranger todos os escalões etários, funcionando como um processo de formação permanente, é ao nível das crianças e jovens que o investimento deverá ser maior, conduzindo à formação de homens e mulheres exigentes na qualidade do seu ambiente e conscientes de o transmitir a gerações futuras. Ao nível destes escalões etários, a elevada capacidade de assimilação de conceitos, princípios e valores e a aceitação crítica de hábitos e normas de conduta, conduzirão seguramente a elevados níveis de interiorização de comportamentos ajustados a uma cidadania responsável. No entanto, para que tal aconteça é importante a envolvimento na identificação, caracterização e procura de soluções para problemas que os rodeiam.

A Educação Ambiental é assim uma das áreas da sociedade de que se esperam importantes contributos para uma cidadania sensibilizada relativamente ao ambiente, promovendo a formação de indivíduos motivados e detentores de informação que lhes permita uma participação eficaz e responsável na preservação do meio ambiente, numa perspectiva do desenvolvimento sustentável.

2.2. O papel do trabalho experimental no ensino das ciências

A sociedade actual procura da educação científica a formação de especialistas, mas também, de cidadãos cientificamente cultos. Somente uma pequena minoria dos alunos que estuda ciências na escola irá prosseguir uma carreira com ela relacionada e, para os restantes, essa aprendizagem faz parte da educação geral, sendo de máxima importância que os cidadãos em geral tenham uma compreensão adequada da ciência. Os comportamentos e atitudes no dia a dia e a participação activa na tomada de decisões sobre questões ambientais, são pontos relevantes na formação do cidadão, que a escola deve assumir como responsabilidade acrescida, na preparação dos seus alunos.

No ensino da ciência adopta-se, em Portugal, de forma inequívoca, uma perspectiva construtivista, considerando-se a aprendizagem como um processo activo, envolvendo

interacções entre o aluno e qualquer experiência de aprendizagem apresentada, seja observação, explanação pelo professor ou trabalho realizado pelo aluno (Santos, 1999).

Autores como Ramsden & Harrison (1993, *in* Santos, 1999) apontam estratégias de aprendizagem activa, tais como investigações práticas, a resolução de problemas, a discussão em pequenos grupos, as visitas de estudo, entre outras, com o principal objectivo de proporcionar aos alunos oportunidades para desenvolver a compreensão sobre o que estão a aprender, estando activamente motivados para a situação de aprendizagem. Para estes autores, o termo *investigação* pode ser usado para caracterizar um grupo de actividades de aprendizagem que tipicamente inclui: levantar questões, fazer observações, planejar, analisar dados, explicar e prever.

2.2.1. Definição

Por trabalho experimental entende-se aquele que é baseado na experiência, no acto ou efeito de experimentar, enquanto que o trabalho prático representa aquele que é realizado pelos alunos, interagindo com materiais e equipamento, para observar fenómenos na aula ou em actividades de campo (Miguéns, 1990 *in* Santos, 1999). Assim, nem todo o trabalho prático é trabalho de laboratório e nem todo o trabalho laboratorial é experimental.

2.2.2. Objectivos do trabalho experimental

Dos inúmeros objectivos que se podem apontar para a prática do trabalho experimental no ensino da ciência, listam-se alguns que nos parecem mais pertinentes, de entre os seleccionados por Lopes (1995 *in* Santos, 1999):

- 1) Desenvolver no aluno capacidades e atitudes associadas à resolução de problemas, observação, espírito crítico, curiosidade, responsabilidade, autonomia e persistência.
- 2) Familiarizar o aluno com as teorias, natureza e metodologia da ciência.
- 3) Promover no aluno atitudes de segurança na execução de actividades de risco, transferíveis para o quotidiano.
- 4) Proporcionar ao aluno a vivência de factos e fenómenos naturais.
- 5) Consciencializar o aluno para intervir, esclarecidamente, na resolução de problemas ecológicos e ambientais
- 6) Promover a sociabilização do aluno (participação, comunicação, cooperação, respeito pela opinião dos outros) com vista à sua integração social.

2.2.3. O trabalho experimental de investigação

Aborda-se este tipo de trabalho experimental, pelo facto de corresponder ao tipo de trabalho proposto no projecto de estudo do sapal de Corroios, para o qual se apresentam diversos materiais de apoio nesta dissertação.

O trabalho experimental de investigação pode assumir diferentes formas, decorrer na sala de aula ou fora dela, ter períodos variados de execução, ser realizado individualmente ou em grupo, estar relacionado com um problema real ou fictício, ter diferentes graus de estruturação e orientação (Wellington, 1996 *in* Santos, 1999). Qualquer trabalho desta natureza, deve considerar que a motivação dos alunos para investigar um determinado problema é fundamental para o sucesso da investigação, pelo que deve ser dada ao aluno a responsabilidade pessoal pelo desenvolvimento e resultados do projecto. Deve ainda dar aos alunos uma considerável autonomia e independência no desenvolvimento do processo investigativo; ser de resposta aberta, sem estabelecer resultados predefinidos e considerados correctos; ter um grau de dificuldade que permita constituir um desafio para os alunos e ter uma duração tal que permita a promoção da reflexão e discussão de resultados (Woolnough, 1994 *in* Santos, 1999).

Como contributo para a motivação dos alunos envolvidos, estes trabalhos devem usar recursos exteriores à escola, promover a pesquisa de informação diversificada, envolver outros participantes no processo, para além dos alunos e professor e estabelecer a ligação entre a informação recolhida e os conhecimentos já adquiridos.

Neste tipo de trabalho mobilizam-se competências científicas, tais como: explorar e proceder a observações sistemáticas, questionar e propor formas de responder a essas questões, comparar, extrair conclusões, propor alterações ao procedimento/percurso investigativo e por fim, comunicar os resultados de forma apropriada.

2.2.4. O trabalho experimental de investigação como estratégia de ensino/aprendizagem

O trabalho experimental que vem sendo praticado nas nossas escolas é do tipo “receita” (Almeida, 1995; Santos, 1999; Cachapuz, 2002), utilizado para confirmar factos e teorias, mediante a obtenção dos resultados correctos. Este tipo de trabalho promove procedimentos científicos que se reduzem ao desenvolvimento de competências

manipulativas, observação e comprovação de teorias, omitindo aspectos primordiais, como a contextualização teórica, propostas de hipóteses e de ensaios laboratoriais e procedimentos de campo, análise dos resultados e de formulação de conclusões. Estas práticas, não promovem a organização de dados, a apresentação e discussão de resultados, a formulação fundamentada de conclusões, a identificação e discussão de possíveis erros no procedimento experimental e propostas de reformulação de ensaios.

Embora professores e alunos valorizem o trabalho experimental, por poder contribuir para desenvolver competências cognitivas de nível intelectual superior (Barberá & Valdês, 1996 *in* Pedrosa, 2000), as práticas tradicionais desenvolvidas nas nossas escolas não conduzem a esse resultado, sendo questionável o seu valor educativo (Almeida, 1995).

Nos últimos anos tem vindo a crescer o consenso em torno de um modelo de ensino/aprendizagem de ciência como investigação (Pérez, 1993 *in* Santos, 1999), numa perspectiva de conceber a aprendizagem como o resultado de uma investigação dirigida, a partir do tratamento de situações-problema susceptíveis de gerar interesse nos alunos. Da colocação da situação-problema, parte-se para a formulação de hipóteses e estratégias de resolução do problema, análise e comparação de dados, construindo assim uma mudança conceptual, metodológica e atitudinal (Santos, 1999), numa estratégia inequivocamente construtivista, com a participação efectiva do aluno.

O trabalho experimental usado como estratégia de ensino/aprendizagem, permite ao aluno relacionar a teoria com a prática, compreender a natureza da actividade científica e assimilar melhor os conceitos científicos, valorizando ainda o desenvolvimento de competências (científicas), que muitas vezes os cidadãos têm de mobilizar na resolução de problemas quotidianos.

O recurso ao trabalho experimental numa perspectiva investigacional no ensino da ciência, contribui assim, para a formação de cidadãos autónomos, capazes de usar competências adquiridas (seleccionar, pesquisar informação, planear, formular hipóteses), na procura de soluções para problemas de diferentes âmbitos, revelando-se cidadãos criativos e participativos.

O desenvolvimento de competências, objectivo mais importante da educação (Kirschner, 1992 *in* Santos, 1999), é privilegiado em trabalhos de investigação que permitam aos alunos executarem todas as fases das tarefas investigativas, com autonomia, construindo o seu próprio percurso.

Ainda que distante do trabalho experimental desenvolvido pelos investigadores, o trabalho de campo e de laboratório realizado pelos alunos, deve constituir um processo reflexivo, mais do que “saber fazer”. As competências, que devem ser mais intelectuais e menos manipulativas, conduzem ao desenvolvimento do pensamento lógico, auxiliar importante na resolução de problemas, tais como: competências cognitivas do pensamento crítico, da criatividade, da aplicação de conhecimentos e procedimentos a novas situações, de interesse e curiosidade, de rigor, de perseverança, de autonomia, de colaboração e responsabilidade (Oliveira, 1999 *in* Santos, 1999).

Numa sociedade em que o crescimento do conhecimento disponível é cada vez maior, e a aprendizagem ao longo da vida é uma realidade cada vez mais presente na vida dos cidadãos, é fundamental construir um percurso de ensino/aprendizagem que conduza à formação de alunos pensadores, deixando de vez para trás as práticas que se centram na transmissão de conhecimento.

Assim, a meta do ensino das ciências deve ser o desenvolvimento de competências do pensar e, o trabalho experimental tem, neste âmbito, um papel crucial, motivando e conduzindo os alunos para um processo reflexivo, desenvolvendo em simultâneo a capacidade de pensar e o conhecimento do conteúdo

3. OBJECTIVOS DIDÁCTICOS

As finalidades que presidiram à elaboração deste projecto de trabalho de investigação a propor aos alunos do ensino secundário, vão ao encontro dos objectivos definidos pelo Ministério da Educação na elaboração dos programas da disciplina de Geologia do 10º, 11º e 12º anos, tais como:

- A aprendizagem das ciências deve ser entendida como um processo activo em que aluno desempenha o papel principal de construtor do seu próprio saber.
- As actividades práticas, de campo ou de laboratório, desempenham um papel particularmente importante na aprendizagem das ciências.
- Ao professor cabe a tarefa de organizar e dirigir as actividades práticas dos alunos, servindo-se para esse efeito de problemas que, de início, possam suscitar o seu interesse (...).

No que concerne aos conteúdos procedimentais definidos para o ensino secundário (Amador, 2004), são englobados na sua totalidade na realização deste projecto de trabalho:

- *Aquisição e informação* – Pesquisa de informação relativa ao tipo de ecossistema em estudo e a referências históricas da sua ocupação (quer na Internet, quer nas bibliotecas municipais) e observação e recolha de dados no campo e no laboratório.
- *Interpretação de informação* – Interpretação dos resultados experimentais obtidos em laboratório.
- *Análise de informação e realização de inferências* – Colocar hipóteses e validar ideias, no decorrer do trabalho experimental e mesmo no campo.
- *Compreensão e organização conceptual de informação* – Compreender a dinâmica do ambiente em estudo e a sua importância ecológica, perspectivando a sua utilização humana numa lógica de desenvolvimento sustentável.
- *Comunicação da informação* – Utilização das NTIC (Novas Tecnologias da Informação e da Comunicação) na preparação de uma comunicação à comunidade escolar e à comunidade local.

Com a realização deste projecto, os alunos terão ainda a oportunidade de adquirir muitos dos conteúdos atitudinais definidos para o ensino secundário, que incluem a promoção de atitudes, normas e valores, inserida numa perspectiva de educação para a cidadania:

▪ *Assumir opiniões suportadas por uma consciência ambiental com bases científicas* – Procurar informações científicas sobre problemas polémicos, nomeadamente a instalação de pisciculturas em ambientes de sapal.

▪ *Aceitar que os problemas podem ser abordados a partir de diferentes pontos de vista* – Aceitar opiniões divergentes provenientes de colegas e cidadãos, argumentando a seu favor com educação e rigor.

▪ *Assumir atitudes de defesa do património geológico* – Com a comunicação final do trabalho realizado, os alunos assumirão uma atitude de sensibilização da população local para a defesa do património natural local.

▪ *Desenvolver atitudes e valores inerentes ao trabalho individual e cooperativo* – Valorizar o contributo individual de cada colega de trabalho e debater as ideias em grupo, com o objectivo de alcançar um consenso.

▪ *Reconhecer as contribuições da geologia nas áreas da: prevenção de riscos geológicos, ordenamento do território, gestão de recursos ambientais e educação ambiental* – Através da compreensão da vulnerabilidade e dinâmica dos ecossistemas estuarino e de sapal, os alunos reconhecerão o papel da geologia na sociedade, no que diz respeito ao contributo do conhecimento científico na tomada de decisões e no esclarecimento das populações.

Com o trabalho a desenvolver com os alunos, pretende-se ainda contribuir para a melhoria da qualidade do ensino ao nível do ensino secundário, através de:

- Familiarização dos alunos com a metodologia do geólogo;
- Diversificação de ambientes de aprendizagem, com especial ênfase para as actividades de campo e de laboratório;
- Potenciação de actividades de indagação e investigação, utilizando preferencialmente as actividades laboratoriais;
- Desenvolvimento de um espírito investigativo nos alunos, que conduza ao questionamento e análise de situações problema;
- Consciencialização sobre problemas ambientais, que permita aos alunos o exercício de uma cidadania crítica, construtiva e esclarecida;
- Utilização das NTIC como suporte na pesquisa de informação, tratamento de dados e divulgação de resultados, no actual contexto de partilha global de conhecimento e acesso à informação.

4. DEFINIÇÃO DA SITUAÇÃO DE APLICAÇÃO

Este projecto está estruturado para ser orientado por um professor do Departamento de Biologia e Geologia do Ensino Secundário, em regime de actividade extra-curricular, como por exemplo o Clube de Geologia ou o Clube do Ambiente ou em Área de Projecto. Embora a saída de campo apresentada no Guião de Campo (anexo 11 e 14a,b) possa constituir uma proposta de visita de estudo das disciplinas de Biologia e Geologia (10º e 11º anos) e Geologia (12º ano), uma vez que aborda temáticas da *Intervenção do Homem nos subsistemas terrestres* (10º ano), *Ocupação antrópica e problemas de ordenamento* (11º ano) e *O Homem como agente de mudanças ambientais* (12ºano), o trabalho laboratorial sugerido no Guião Laboratorial (anexo 12 e 14c,d) e apoiado pelo Guião de interpretação de resultados (anexo 13 e 14e) e pelo Guião laboratorial multimédia (anexo14f), não se enquadra na disponibilidade horária de qualquer destas disciplinas.

Uma vez que, com a última revisão curricular, se extinguiram as disciplinas de Técnicas Laboratoriais, diminuiu a carga horária para as aulas experimentais, agora consagradas na disciplina de Biologia e Geologia. Desta forma, deixou de existir uma disciplina prática, onde os projectos de investigação tinham lugar para se discutirem e desenvolverem.

Como sempre se tem verificado, há alunos que se interessam mais pelas temáticas da Geologia e a esses, dever-se-á abrir caminho para que tenham oportunidade de explorar mais, para além dos conteúdos programáticos a avaliar num exame nacional. É neste contexto que surge a proposta aqui estruturada, e que deve ser adaptada a cada grupo de alunos, dependendo do número, do interesse demonstrado e dos conhecimentos previamente adquiridos. O tempo de desenvolvimento do projecto deve ser definido no grupo, podendo ser de um ou dois anos lectivos, não havendo qualquer prejuízo com o alargamento do prazo, se o grupo de trabalho se mantiver na escola.

Com o intuito de concretizar o projecto de investigação aqui proposto, com um grupo de alunos do ensino secundário da escola secundária Moinho de Maré, e projectando o funcionamento de um clube do ambiente, que encerra actividades no âmbito da geologia e da biologia, contando também com a colaboração dos professores da área da química, perspectiva-se a candidatura ao Programa Ciência Viva, do qual se apresenta um esboço no anexo 15.

5. METODOLOGIA DO TRABALHO A DESENVOLVER

Com o intuito de proporcionar aos alunos a envolvimento com o meio ambiente que os rodeia, propõe-se uma saída de campo ao sapal de Corroios, ecossistema estuarino do estuário do Tejo e parte integrante da Reserva Ecológica do Seixal. Como mencionado anteriormente, a escolha deste local decorre da proximidade com a Escola Secundária Moinho de Maré e da similitude que apresenta com o ambiente estudado (sapal do Faralhão – estuário do Sado).

A saída de campo proporcionará aos alunos o reconhecimento e caracterização do local a estudar e permitirá a recolha de material para posterior tratamento laboratorial.

O guião da saída de campo, o guião laboratorial e o guião de interpretação de resultados (apresentados nos anexos 11, 12 e 13, respectivamente) constituem três instrumentos didácticos que visam auxiliar no planeamento das actividades a desenvolver com os alunos e contribuir para o levantamento de questões a analisar e a debater.

Fica assim lançada a proposta aos professores de promoverem junto dos alunos a sensibilização e motivação necessárias à interiorização de valores e atitudes, de modo a que surjam iniciativas de Educação Ambiental, promovidas pelos próprios, para toda a comunidade educativa e comunidade local.

Um projecto de investigação que se encerra em si mesmo não tem qualquer significado, tendo permitido adquirir um conjunto de técnicas e conhecimentos específicos, contribuindo apenas para o enriquecimento pessoal dos intervenientes. Numa sociedade em que as fontes de informação abundam, mas em que os cidadãos carecem, mais do que nunca, de conhecimentos sobre o meio em que habitam, é urgente criar espaços de sensibilização para a protecção do meio ambiente, mobilizando a sociedade mais próxima.

Uma sessão de divulgação motivadora e atractiva das informações recolhidas pelos próprios alunos, contribuirá seguramente para promover, junto dos pais, colegas, professores e moradores locais, uma atitude positiva que conduzirá a comportamentos que contribuam para a preservação do ambiente que os rodeia. Mais que formar cidadãos responsáveis e críticos, é responsabilidade da escola dos nossos dias, promover espaços de debate de ideias e motivar os alunos a tomarem a palavra em acções de sensibilização para as questões ambientais.

5.1. Saída de Campo – Guião

A saída de campo proposta tem como principais objectivos o reconhecimento do local como um ambiente marcante na zona envolvente, caracterização do ambiente natural, com recolha de material (sedimentos vasosos superficiais) para tratamento laboratorial e identificação de vestígios da ocupação antrópica, compreendendo a íntima dependência da população local relativamente ao rio e ao sapal de Corroios.

Para que os alunos tirem o maior proveito desta saída de campo, foi elaborado uma apresentação (anexo 14g) que pode ser utilizada numa aula de preparação da saída, com informação sucinta sobre Zonas Húmidas (em geral), estuários e sapais. No guião de campo (anexos 11 e 14b) apresenta-se um itinerário de pontos de interesse a estudar, onde consta informação sucinta sobre cada estação, assim como propostas de tarefas a realizar.

Na estrutura do itinerário sugerido, surgem caixas de texto de cor laranja, onde é fornecida informação sumária sobre o local assinalado, que justifica de certo modo a importância do sítio e por outro lado, deverá funcionar como ponto de partida para equacionar questões, que serão ampliadas pelo professor no local e/ou dúvidas que serão motor de investigação posterior. No Moinho de Maré de Corroios, na ETAR da Quinta da Bomba e na Piscicultura, propõe-se a marcação de visitas guiadas com técnicos do Ecomuseu Municipal do Seixal, dos S.M.A.S. de Almada e da Piscicultura Esperança, respectivamente. Nas caixas de texto de cor amarela, propõem-se tarefas e questões, que devem ser exploradas à medida que se desenrola a saída.

Para além do guião apresentado nos anexos 11 e 14b (versão para imprimir), foi elaborado um guião multimédia (anexo 14a) que tem como principal objectivo proporcionar uma apresentação motivadora dos ecossistemas de sapal, assim como uma apresentação dos conceitos essenciais, em *power point* (anexo 14g) podendo ser utilizado numa primeira abordagem ao tema.

Como sempre acontece, mesmo depois da preparação da saída de campo, é do contacto com o meio ambiente que surge a motivação para saber mais e novas ideias para a exploração do local, pelo que se optou por não impor o factor tempo no guião. Dependendo do interesse demonstrado pelo grupo de alunos envolvidos e da situação de aplicação (visita de estudo da disciplina de Biologia e Geologia; Clube de Geologia; Área de Projecto; etc.), esta saída de campo poderá ser realizada num dia ou mais, sendo que no primeiro caso terá de haver necessariamente selecção dos sítios a visitar, de entre todos os que são propostos.

Assim, este guião pretende apenas constituir um ponto de partida para professores e alunos encontrarem no sapal um local privilegiado de encontro com a Natureza e compreenderem a importância da preservação deste ecossistema, que para além de desempenhar um papel importante a nível ecológico, representa um exlibris da região, com fortes ligações à história da população local.

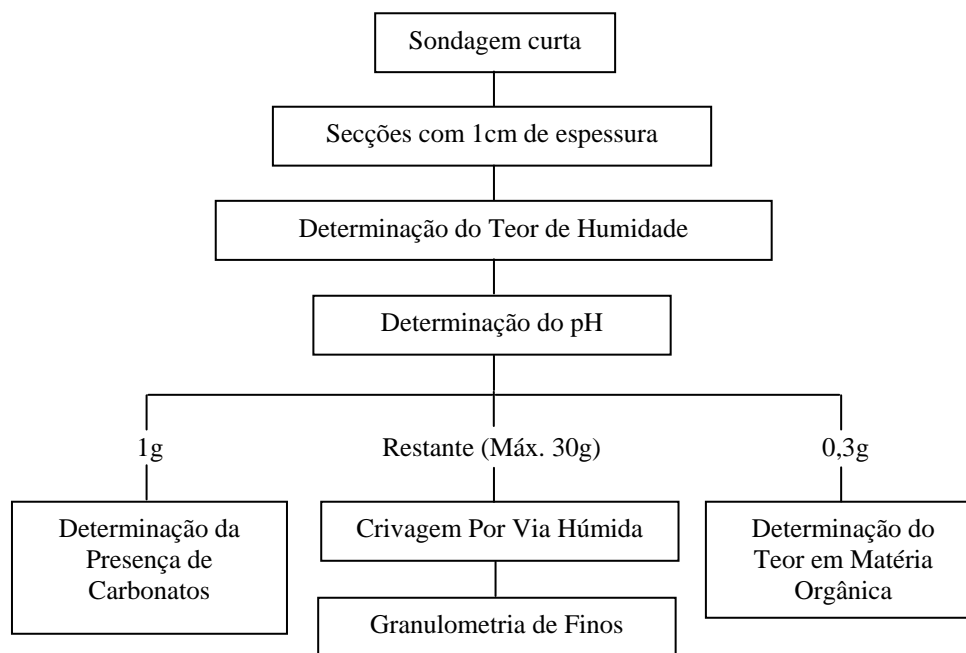
5.2. Trabalho Laboratorial – Guião

O Guião Laboratorial apresentado no anexo 12 é composto por um conjunto de ferramentas que permitem aos alunos desenvolver um trabalho autónomo, embora supervisionado, no laboratório. As ferramentas estão estruturadas para apoiar os alunos na execução do procedimento experimental e no registo e tratamento de dados.

É ainda apresentado em CD um guião laboratorial interactivo (anexo 14f), que poderá ser utilizado como suporte áudio-visual dos procedimentos propostos, permitindo uma melhor e mais rápida conceptualização das etapas a realizar em laboratório.

Apresenta-se um conjunto de procedimentos experimentais simplificados e adaptados à realidade das escolas secundárias portuguesas, que procuram mimetizar quase todos os ensaios laboratoriais referidos no capítulo 3 (Métodos). Para os ensaios cuja execução não é viável com os equipamentos escolares (granulometria de finos), optou-se por seleccionar outro método, que dará aos estudantes a oportunidade de obter resultados análogos. Desta forma, os alunos terão oportunidade de realizar um percurso semelhante ao dos investigadores na área da sedimentologia, bem como tratar, apresentar e interpretar resultados de forma semelhante.

Para além dos procedimentos experimentais, foram elaboradas grelhas de registo de resultados (impressas e em ficheiros em Excel), bem como um conjunto de ferramentas para tratamento de dados - gráficos e diagramas triangulares para a classificação textural das amostras (em ficheiros em Excel). Para uma eficaz organização do trabalho com os grupos de alunos, apresenta-se a estrutura do plano de trabalho em laboratório ⁽¹⁾:



⁽¹⁾ Neste plano não se contempla a realização de granulometria de grosseiros, uma vez que no trabalho laboratorial efectuado, que serviu de padrão para a elaboração deste plano, não se justificou a realização deste ensaio.

5.3. Guião de interpretação de resultados

No guião apresentado no anexo 13, pretende-se fornecer informação básica sobre os parâmetros sedimentológicos a analisar nos sedimentos em cada protocolo experimental proposto no guião laboratorial (anexo 12), justificar algumas etapas procedimentais e indicar prováveis inferências dos resultados

A informação fornecida deverá funcionar como um indutor de discussão dos resultados obtidos e possíveis desvios, relativamente aos resultados previstos, sem nunca perder de vista a necessidade de conduzir os alunos a investigar sobre os assuntos em causa.

O conteúdo do guião de interpretação de resultados está orientado para ser integralmente compreendido e explorado por alunos do ensino secundário, usando uma terminologia acessível e enquadrando-se nas temáticas abordadas nas disciplinas de Biologia e Geologia (10/11ºanos) e Geologia (12ºano).

Pretende-se que os alunos, sob a orientação do professor, explorem os resultados obtidos, tratando cada amostra no seu contexto e não como uma amostra isolada, pois só assim poderão obter uma verdadeira concepção da realidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estuário do Sado, situado a sul da Península de Setúbal, representa um dos elementos geomorfológicos mais marcantes da costa ocidental portuguesa, enquadrado pela serra da Arrábida e pela restinga de Tróia. Este corpo estuarino apresenta um domínio externo, constituído por um baixio arenoso (Banco do Cambalhão), que corresponde ao delta submarino do estuário e um domínio interno, desenvolvido segundo duas direcções de alongamento preferenciais. A mais importante, NW-SE, prolonga-se para montante até próximo de Alcácer do Sal, numa extensão de 37,5km e a segunda, NNE-SSW, apresenta extensão de 25km desde a região de Águas de Moura até à Comporta.

Com uma área inundada de cerca de 150km² e profundidade média de 8m, o contacto deste *estuário de barreira* com o mar aberto, controlado pela presença da restinga de Tróia, estabelece-se através de um estreito canal, com largura e profundidade máximas de 1600m e 50m, respectivamente. Este canal para o interior bifurca-se em dois, o canal norte e o canal sul, separados por uma sequência de baixios.

O principal tributário deste estuário, o rio Sado, cujo caudal apresenta grande variabilidade sazonal, drena a maior bacia hidrográfica exclusivamente portuguesa, com uma área de cerca de 7690km² e altitude média de 127m, correspondendo a uma extensa planície ladeada por relevos litorais (serras da Arrábida, Grândola e Cercal) e interiores (serras da Vigia e Portel). Face aos reduzidos caudais fluviais, a influência do oceano é indubitavelmente dominante, considerando-se um estuário *dominado pela maré*, do tipo *mesotidal elevado*, com marés semi-diurnas regulares, com amplitudes que atingem 4m junto da embocadura. Considerando as profundidades baixas existentes no estuário, o efeito da corrente de maré traduz-se por uma mistura acentuada na vertical, podendo ser classificado como um estuário *parcialmente misturado* ou *totalmente misturado*, na classificação de Pritchard.

Na região drenante para o estuário do Sado, existem formações de natureza litológica diversa. A Bacia do Sado (Cenozóico), preenchida principalmente por rochas detríticas, cuja natureza é condicionada pelo substrato onde assenta, contém maiores potencialidades para constituir fonte de alimentação dos sedimentos do estuário, uma vez que ocupa mais de 50% de toda a região. A restante área é ocupada por afloramentos das unidades tectono-stratigráficas do Paleozóico, designadamente a Zona Sul Portuguesa, onde predominam os

metassedimentos de baixo grau de metamorfismo e a Zona de Ossa Morena, com rochas ígneas e metassedimentos de grau médio a elevado.

No interior do corpo estuarino, os sapais desenvolvem-se em zonas intertidais de fraco hidrodinamismo, entre os níveis médios das preia-mares de águas mortas e de águas vivas. O sapal do Faralhão, onde foi realizada a amostragem, localizado na margem direita do Canal de Águas de Moura, está integrado numa das maiores manchas de sapal do estuário do Sado ainda existentes, embora já muito descaracterizadas pela acção antrópica. Tal como acontece em outros locais do estuário, o sapal (zona vegetada) apresenta sintomas de regressão, face a um raso de maré (zona não vegetada) em franca expansão, sendo a fronteira entre os dois conteúdos intertidais materializado por uma escarpa que atinge 60cm. Esta erosão é de algum modo acentuada pelas condições climáticas (verões quentes seguidos de invernos chuvosos) e também pela impossibilidade de migração para o interior (reajustamento face à subida do NMM), uma vez que, em quase toda a sua extensão, a margem interna do sapal se encontra balizada por diques, que impedem a inundaçã das marés. O domínio de sapal predominante é o alto sapal, estando o baixo sapal representado apenas por pequenas manchas colonizadas por povoamentos isolados de *Spartina marítima*.

A vegetação dos sapais desempenha um papel de grande interesse ecológico, pela sua capacidade em sequestrar metais pesados do meio envolvente; efectivamente, pela sua localização, os sapais estarão, de uma forma geral, sujeitos a descargas de poluentes, tal como aqui acontece, ou pelo menos aconteceu até um passado muito recente. Para além da descaracterização da zona, com reclamação das áreas de sapal para a instalação de salinas (agora transformadas em pisciculturas), a influência antrópica que mais se faz sentir na península do Faralhão está relacionada com a proximidade da industrializada península da Mitrena e cidade de Setúbal, com a existência de quase duas centenas de ocorrências minerais na bacia hidrográfica do Sado (que embora actualmente desactivadas, constituíram e constituem fontes de dispersão de metais pesados) e ainda com a instalação de numerosas explorações pecuárias e uso de fertilizantes nas explorações agrícolas na bacia hidrográfica.

A análise sedimentológica do testemunho da sondagem recolhida no sapal do Faralhão permitiu concluir que:

- os sedimentos são muito homogéneos, constituídos inteiramente por vasas (fracção < 63µm entre 96,8 e 100%), sub-ácidas a neutras ($5,5 < \text{pH} < 7,0$) com teores de matéria orgânica entre 0,2 e 9,7% e sem carbonatos;

- o topo da coluna sedimentar apresenta um enriquecimento simultâneo das fracções >63µm e siltosa e também elevado teor em matéria orgânica, consequência da acumulação de fibras orgânicas em reduzido estado de decomposição;

- texturalmente, todas as amostras se encontram na classe E-II de Fleming – silte ligeiramente argiloso – indicando deposição em regime de hidrodinamismo baixo.

Os resultados geoquímicos revelam:

- uma sequência sedimentar em que os valores de Si e Al apresentam valores típicos de sedimentos vasosos (20-24% e 9,5-10,7%, respectivamente);

- um empobrecimento para a superfície destes elementos e da razão argila/silte, reflectindo a incorporação de maior componente orgânica no sedimento;

- um teor em Ca (0,2-0,7%) muito baixo, reflexo da ausência de carbonatos biogénicos;

- uma variação da concentração de Na que mimetiza o perfil do teor em água, reflectindo a presença de sais;

- a existência de uma zona superficial (primeiros 30cm) enriquecida em metais pesados, relativamente aos sedimentos de níveis mais profundos.

A secção superficial da coluna sedimentar foi considerada enriquecida comparativamente a um valor de fundo local, calculado com base na média das concentrações exibidas na secção inferior. Embora o comportamento do Co e do Pb em profundidade, pareça ser independente da concentração de matéria orgânica nos sedimentos, o Cu e o Zn sugerem forte afinidade com este parâmetro (r^2 de 0,79 e 0,58, respectivamente), pelo que se seleccionou a matéria orgânica como factor normalizador no cálculo dos factores de enriquecimento (1,5 para o Cu; 1,1 para o Zn; 0,9 para o Co e 0,7 para o Pb). Ao considerar o enriquecimento dos 10cm mais superficiais relativamente aos mesmos valores de fundo (pré-industriais), os factores de enriquecimento alteram-se para 1,9 para o Cu; 1,2 para o Zn e 0,8 para o Co e Pb, revelando que, de uma forma geral, os sedimentos superficiais estão ainda mais contaminados.

A análise conjunta dos perfis de excesso de ^{210}Pb e do ^{137}Cs nos sedimentos, conduziu à obtenção de taxas de sedimentação através de dois critérios independentes. O perfil de excesso de ^{210}Pb sugere uma taxa de sedimentação de 2,9mm/ano. Assumindo uma taxa de sedimentação constante, a profundidade de 78cm corresponde a meados do século XVIII. A análise dos resultados do ^{137}Cs , que incorporam a primeira evidência deste radionuclido

(1954) e o máximo de deposição atmosférica (1963), às profundidades de 19,5cm e 17,5cm, respectivamente, conduz a uma taxa de sedimentação de 2,2mm/ano entre 1954 e 1963. Este valor sobe para o dobro no topo da coluna sedimentar (1963-2003).

O limite inferior da secção enriquecida, posiciona-se abaixo do nível atribuído a 1954, pelo que o início do sinal antrópico é anterior à década de 60, altura em que se iniciou o desenvolvimento industrial e urbano de Setúbal. Para datar o início deste sinal, assumiu-se a taxa de acumulação obtida no intervalo 1954-1963 de 2,2mm/ano, inferindo-se o ano de 1906 para o limite inferior (30cm) da secção enriquecida em metais pesados. Esta data é posterior ao auge da exploração das pirites alentejanas (1866-1875 nas minas de Aljustrel). Na Bacia Hidrográfica do Sado, além das minas de Aljustrel, existem numerosas jazidas de sulfuretos, que actualmente se encontram desactivadas, mas que continuam a constituir fonte de dispersão de metais no ambiente. Para além das minas, a poluição industrial e urbana e as actividades agrícolas e pecuárias na bacia hidrográfica, são apontadas como fontes antropogénicas para os metais no estuário, principalmente a partir da década de 60.

A comparação dos resultados obtidos neste estudo com outros trabalhos revela que:

- quando comparados com estudos anteriores efectuados no estuário do Sado, as concentrações de Co, Cu e Pb no Faralhão são das mais elevadas, juntamente com as da margem norte (cidade de Setúbal e zona industrial) enquanto que o Zn, no Faralhão, apresenta dos teores mais baixos do estuário;

- os sedimentos superficiais do Faralhão apresentam valores da mesma ordem de grandeza dos observados em outros estuários, mas muito inferiores aos registados em estuários contaminados (Bilbao e Tinto/Odiel);

Relativamente aos valores de referência para metais pesados nos solos, indicados na legislação em vigor no nosso país, o Zn e o Pb apresentam concentrações inferiores aos limites definidos, ao contrário do Cu, que nos sedimentos superficiais do Faralhão atinge valores que superam o limite imposto pela lei nacional e comunitária, para solos destinados à agricultura. De tudo o exposto decorre que as concentrações superficiais dos metais analisados apresentam um enriquecimento relativamente aos valores de fundo (pré-industriais) e situam-se acima dos valores de referência definidos na legislação portuguesa (Cu) e holandesa (Cu e Zn), para além de, no caso do cobre, ultrapassar os limites de toxicidade, o que leva a encarar o estuário do Sado, especialmente a sua margem norte, como um local com necessidade de intervenção ao nível do controlo da poluição.

Perspectivando uma aplicação pedagógica do estudo sedimentológico realizado no sapal do Faralhão (estuário do Sado), foram elaborados diversos materiais de apoio ao trabalho de campo e de laboratório, direccionados a alunos do ensino secundário. Nesta proposta de trabalho de investigação, parte-se da caracterização do local e recolha de amostras no sapal de Corroios (estuário do Tejo), para posterior tratamento laboratorial, utilizando metodologias análogas àquelas que se desenvolveram nos laboratórios da Universidade. A selecção deste sapal é decorrente da proximidade da escola em que a candidata lecciona e da ligação histórica do sapal à população local.

O projecto de trabalho aqui proposto vai ao encontro das finalidades que presidiram à elaboração dos novos programas de Geologia do ensino secundário (10º, 11º e 12º anos), que assinalam a importância da aplicação de modelos de ensino-aprendizagem com uma índole prática enfatizada, visando a criação de ambientes de ensino e de aprendizagens favoráveis à construção activa do saber. Numa perspectiva construtivista, as actividades de âmbito experimental desempenham um papel de relevo na aprendizagem da Geologia, quer ao nível das saídas de campo, quer no laboratório.

A construção deste projecto de trabalho teve como objectivo central a promoção de um meio que se quer eficaz no alcance das finalidades apontadas nos novos programas, mas também a valorização do conhecimento geológico na sociedade actual, promovendo a formação de cidadãos participativos, capazes de procurar formas eficazes de comunicação da informação pesquisada e de argumentarem a favor de uma causa. Numa altura em que a gravidade dos problemas ambientais torna urgente a mobilização social para os processos decisórios que os causam, é importante sensibilizar os mais jovens e a escola aparece como o local privilegiado para expor e debater ideias, clarificar valores e promover atitudes, convidando-os a envolverem-se na caracterização de problemas próximos e reais, com os quais se sintam identificados. É nesta perspectiva que é lançado o convite aos professores para que aceitem conduzir os jovens num processo de investigação, levando-os a reflectir sobre a problemática decorrente do conflito de interesses entre o desenvolvimento económico-social e a preservação do património natural, num contexto social cada vez mais exigente no respeito pelo ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adriano, D. C. (1986) – Trace elements in the terrestrial environment. *Springer-Verlag*, New York, 533 p.
- Alloway, B. J. (1995) – Heavy metals in soils. 2nd ed., *Blackie Academic & Professional*, London, 368 p.
- Almeida, A. M. F. G. (1995) – Trabalho experimental na educação em ciência: epistemologia, representações e práticas dos professores (vol. I), *Dissertação de Doutoramento, Univ. Nova de Lisboa*, 312 p.
- Amador, F. & Silva, M. (2004) – Programa da disciplina de Geologia – 12º ano. *D.E.S., Min. Edu*, Lisboa, 58 p.
- Andrade, C. & Freitas, M. C. (2002) – Coastal Zones. In Santos, F. D., Forbes, K. & Moita, R. (eds), *Climate change in Portugal – Scenarios, impacts and adaptation measures SIAM Project, Gradiva*, Lisboa, pp. 175-219.
- Andrade, C. (1990) – O Ambiente de barreira da Ria Formosa. *Dissertação de Doutoramento, Univ. Lisboa*, 643 p.
- Andrade, C., Freitas, M. C., Brito, P., Amorim, A., Barata, A. & Cabaço, G. (2006) – Estudo de Caso da Região do Sado. Zonas Costeiras. In Santos, F. D. & Miranda, P. (eds), *Alterações Climáticas em Portugal – Cenários, impactos e medidas de adaptação. Projecto SIAM II, Gradiva*, Lisboa, Portugal, pp. 389-479.
- Andrade, C.; Freitas, M. C.; Brito, P.; Amorim, A.; Barata, A. & Cabaço, G. (2004) – Estudo de Caso da Região do Sado. Zonas Costeiras. *Projecto SIAM II, Relatório Técnico* (inédito).
- Antunes, M. T., Mein, P. & Pais, J. (1986) – Depósitos messianos do sul de Portugal, mamíferos (incluindo rodentia e lagomorpha) e idades K-Ar. *Ciências da Terra (UNL)*, 8, pp. 55-64.
- Attendorn, H. G. & Bowen, R. N. C. (1997) – Radioactive and stable isotope geology. *Chapman & Hall Ed.*, London, 522 p.
- Azevedo, T. M. (1997) – Depositional architecture of the sedimentary infilling of the pré-Tagus river in the upper Pliocene. *ECSA Meeting – Estuarine and Coastal Sciences, Assoc. Inst. Oceanografia, F.C.U.L.*, Lisboa.
- Barbosa, B. A. P. S. (1995) – Alostratigrafia e litostratigrafia das unidades continentais da Bacia Terciária do Baixo Tejo – relações com o eustatismo e a tectónica, *Dissertação de Doutoramento, Univ. Lisboa*, Lisboa, 253 p.
- Belchior, F., Vale, C., Drago, T., Gil, O. & Madureira, M. J. (2000) – Relação entre contaminantes, alumínio e matéria orgânica nos sedimentos do estuário inferior do Sado. *IX Seminário Ibérico de Química Marinha, Estudos de Biogeoquímica na Zona Costeira Ibérica, Univ. Aveiro*, pp. 227-234.
- Bettencourt, A & Ramos, L. (2003) – Estuário do Sado. In *Estuários Portugueses. Instituto da Água*, Lisboa, pp. 5.01-5.23.
- Borrego, J., Morales, J. A., de la Torre, M. L. & Grande, J. A. (2002) – Geochemical characteristics of heavy metal pollution in surface sediments of the Tinto and Odiel river

- estuary (southwestern Spain). *Springer-Verlag, Environmental Geology*, New York, 41, pp. 785-796.
- Brack, K. & Stevens, R. (2001) – Historical pollution trends in a disturbed estuarine sedimentary environment, SW Sweden. *Springer-Verlag, Environmental Geology*, New York, 40, pp. 1017-1029.
- Bricker-Urso, S., Cochran, J. K. & Hunt, C. (1989) – Accretion rates and sediment accumulation in Rhode Island salt marshes. *Estuaries*, 12 (4), pp.300-317.
- Bruxelas, A., Cabeçadas, L., Rosado, C. (1992) – Recursos marinhos e poluição no estuário do Sado. *Estudos de Biologia e Conservação da Natureza, S.N.P.R.C.N.*, 6, Lisboa, 20p.
- Caçador, M. I. V. (1994) – Acumulação e retenção de metais pesados nos sapais do estuário do Tejo. *Dissertação de Doutoramento, Univ. Lisboa*, 141 p.
- Cachapuz, A., Praia, J., Jorge, M. (2002) – Ciência, Educação em Ciência e Ensino das Ciências. In *Ministério da Educação* (eds.), Temas de investigação, Lisboa, 353 p.
- Caetano, P.C.S. (2004) – Mineralogia e geoquímica de sequências sedimentares do Jurássico – Cretácico da Bacia Lusitaniana. *Dissertação de Doutoramento, Univ. Nova de Lisboa*, Lisboa, 312 p.
- Câmara Municipal do Seixal (1997) – A Reserva Ecológica do Concelho do Seixal – Contributos para a sua descrição e divulgação. *Câmara Municipal do Seixal*, 76 p.
- Carapeto, C. (1998) – Educação Ambiental. *Univ. Aberta*, Lisboa, 307 p.
- Catarino, J., Peneda, M. C. & Santana, F. (1987) – Estudo do impacto da indústria no estuário do rio Sado – Estimativa da poluição afluyente ao sistema. *Laboratório Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial*, Lisboa.
- Cearreta, A., Irabien, M. J., Ulibarri, I., Yusta, I., Croudace, I. W. & Cundy, A. B. (2002) – Recent salt marsh development and natural regeneration of reclaimed areas in the Plentzia estuary, N. Spain. *Estuarine Coastal and Shelf Science, Elsevier Science*, 54, Amsterdam, pp. 863-886.
- Cortesão, C. & Vale, C. (1994) – Contaminação do Estuário do Sado por Metais – Seminário sobre Recursos Haliêuticos, Ambiente, Aquacultura e Qualidade do Pescado da Península de Setúbal. *IPIMAR*, Lisboa, pp. 111-120.
- Cortesão, C. & Vale, C. (1995) – Metals in sediments or the Sado estuary (Portugal). *Pergamon Press, Marine Pollution Bulletin*, 30 (1), Oxford: PP. 34-37.
- Costa, J. B. (1999) – Caracterização e Constituição do Solo. *Fund. Cal. Gulbenkian*, 4ª ed., 527 p.
- Costa, M. H. F. R. (1988) – Macrofauna bêntica e factores abióticos no infralitoral do estuário do Sado – variabilidade e interacções. *Dissertação de doutoramento, Univ. Nova Lisboa*, 288 pp.
- Costa, M. M., Barreiros, M. A., Carvalho, M. L. & Queralt, I. (1999) – Multi-element characterization of estuarine sediments and waters. *X-Ray Spectrom*, 28, pp. 410-413.
- Cruces, A. (2001) – Estudo a Micro e Meso-Escala Temporal de Sistemas Lagunares do SW Alentejano (Portugal): As Lagunas de Melides e Santo André. *Dissertação de Mestrado, Univ. Lisboa*, 228 p.
- Cruces, A., Freitas, C. & Andrade, C. (1999) – Factores forçadores globais versus locais na evolução tardiglacial e holocénica de sistemas lagunares do litoral SW português. *Encontros de Geomorfologia, Coimbra*, pp. 105-113.

- Cruces, A.; Freitas, M. C.; Andrade, C.; Araújo, M. F.; Jouanneau, J. M. (2005) – Caracterização geoquímica dos sedimentos da Lagoa de Albufeira (Portugal) e utilização de radionuclídeos (^{210}Pb e ^{137}Cs) na determinação de taxas de sedimentação. XIV Semana da Geoquímica, VIII Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, Livro de Actas, vol. 2, pp.607-610.
- Cruces, A.; Lopes, I.; Freitas, M. C. & Andrade, C. (2003) – A Geologia no litoral – Parte I: do Tejo à Lagoa de Albufeira. Guia de excursão, *Geologia no Verão, Dep. Geologia, Univ. Lisboa*, 30 p.
- Cruz, I. (2005) - Cobre na mineração em Portugal – o tempo das pirites. Centro Interdisciplinar de Ciência da Universidade de Lisboa. http://www.triplov.com/Isabel_cruz/cobre/minas1.html (consulta a 30/11/2005).
- Cundy, A. B. & Croudace, I. W. (1996) – Sediment accretion and recent sea-level rise in the Solent, southern England: inferences from radiometric and geochemical studies. *Estuarine, Coastal and Shelf Science, Academic Press Lim.*, 43, pp. 449-467.
- Davis Jr., R. A. (1985) – Coastal Sedimentary Environments. *Springer-Verlag*, 2ª ed., New York, 707 p.
- Davis Jr., R. A., FitzGerald, D. M. (2004) – Beaches and Coasts. *Blackwell Publishing*, Malden (USA), 419 p.
- Decreto-Lei 446/91 – Diário da República 269, I Série A de 22/11/1991.
- Dhanani, C. (2002) – Setúbal Cultural. http://pwp.netcabo.pt/cdhanani/setubal_cultural/romano2002(consulta a 30/12/2005).
- Dias, A. A. & Marques, J. M. S. (1999) – Estuários – Estuário do Tejo: o seu valor e um pouco da sua história. Reserva Natural do Estuário do Tejo, ICN, Alcochete.
- Dias, J. M. A. (2004) – A Análise Sedimentar e o Conhecimento dos Sistemas Marinhos. *Univ. Algarve*, Faro, 195 p.
- Dias, J. M. A., Rodrigues, A. & Magalhães, F. (1997) – Evolução da linha de costa, em Portugal, desde o último máximo glaciário até à actualidade: síntese de conhecimentos. *Estudos do Quaternário, APEQ*, 1, Lisboa, pp. 53-66.
- Directiva 86/278 – Diário Oficial da Comunidade Europeia, L181/6 de 4/7/1986.
- Dyer, K. R. (1995) – Sediment transport processes in estuaries. In Perillo, G. M. E. (ed.), *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries, Elsevier Science Publ. B.V*, Amsterdam, pp. 423-447.
- Ecomuseu Municipal do Seixal (1987) – Identidade Cultural do Concelho do Seixal - Território, O Homem, A História. *Câmara Municipal do Seixal*, 44 p.
- Ecomuseu Municipal do Seixal (1996) – Aves aquáticas e ribeirinhas do concelho do Seixal. Coleção Património Natural. *Câmara Municipal do Seixal*, 2ª ed., 47 p.
- Farinha, J. C. & Trindade, A. (1994) – Contribuição para o inventário e caracterização de Zonas Húmidas em Portugal continental. *ICN*, Lisboa, pp. 4-40.
- Farinha, J. C.; Costa, L.; Trindade, A.; Araújo, P. R. & Silva, E. P. (2001) – Zonas Húmidas portuguesas de importância internacional – sítios inscritos na Convenção Ramsar. *ICN*, Lisboa, 88 p.
- Ferreira, F. C. (1990) – Estuário do Sado: degradação ambiental e medidas minimizadoras. *Seminário: A Educação Ambiental e a Reserva Natural do Estuário do Sado*, Setúbal, pp. 46-52.

- Flemming, B. W. (2000) – A revised Textural Classification of Gravel-free Muddy Sediments on the Basis of Ternary Diagrams. *In Continental Shelf Research*, 20, pp. 1125-1137.
- Freitas, M. C., Andrade, C., Moreno, J. C., Munhá, J. M., Cachão, M. (1999) – The sedimentary record of recent (last 500 years) environmental changes in the Seixal Bay marsh, Tagus estuary, Portugal. *Geologie en Mijnbouw, Kluwer Academic Publ.*, 77, pp. 283-293.
- Frey, R. W. & Basan, P. B. (1985) - Coastal salt marshes. In. Davis R. A & Basan P. B. (eds.), *Coastal sedimentary environments* (2^a ed. Rev. e exp.). Springer Verlag, New York, pp. 225-289.
- Friedman, G. M. & Sanders, J. E. (1978) – Principles of Sedimentology. *John Wiley & Sons*, New York, 792 p.
- Gama, C., Taborda, R. & Andrade, C. (2006) – Avaliação do transporte longilitoral no Arco Litoral Tróia-Sines (SW Portugal). *VII Congresso Nacional de Geologia*, Estremoz, pp.393-396.
- Gomes Parra, A., Establier, R. & Escolar, D. (1984) – Heavy metals in recent sediments from the Bay of Cadiz, Spain. *Marine Pollution Bulletin, Pergamon Press*, Oxford, 15 (8), pp. 307-310.
- Hackenbush, H.Z. (2004) – Contaminated land (<http://www.Contaminatedland.co.uk/std-guid/dutch-1.htm>) (consulta a 20/10/2005).
- Henriques, M. V., Freitas, M. C., Andrade, C & Cruces, A. (2002) – Alterações morfológicas em ambientes litorais desde o último máximo transgressivo – exemplos da Estremadura e do Alentejo. *Contribuições para a Dinâmica Geomorfológica, A P Geom*, vol. I, Lisboa, pp. 99-109.
- Hidroprojecto, Coba, HP, Ws Atkins Consulgal, GIBB (1999 - 2003) – PBH Sado, INAG, MARN.
- ICN (2006) – Áreas Classificadas – Sítios Ramsar. http://darwin.icn.pt/sipnat/sp_ram.html (consulta 21/02/2006).
- Instituto Hidrográfico* (1999) – Relatório Técnico REL. TF QP 01/99. Instituto Hidrográfico, Divisão de Química e Poluição do Meio Marinho, Lisboa.
- Instituto Hidrográfico* (2000) – Relatório Técnico REL. TF QP 01/2000. Instituto Hidrográfico, Divisão de Química e Poluição do Meio Marinho, Lisboa.
- Instituto Hidrográfico* (2002) – Carta hidrográfica nº 26308 da série portuária, Barra e Porto de Setúbal, escala 1:15000, 3^a edição, Julho de 2002.
- Kullberg, J.C., Terrinha, P., Pais, J., Reis, R.p: & Legoinha, P. (2006) – Arrábida e Sintra: dois exemplos de tectónica pós-rifting da Bacia Lusitaniana, Em: *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria* (Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P. & Kullberg, J.C., editores). Univ Évora, Évora, pp. 369-395.
- L.N.E.C. – Laboratório Nacional de Engenharia Civil (1967a) – Especificação E 203, Solos – Determinação do pH. Documentação Normativa, 2 p.
- L.N.E.C. – Laboratório Nacional de Engenharia Civil (1967b) – Especificação E 201, Solos – Determinação do Teor em Matéria Orgânica. Documentação Normativa, 3 p.
- Lima, M. A. S (2001) – Corroios, Minha Terra co(m a)rroios. *Plátano Editora*, Corroios, 355 p.
- Lima, M. A. S. (1997) – Terras de Laurus. Encontros com o património natural e ambiental do concelho do Seixal. *Câmara Municipal do Seixal, Plátano Editora*, 192 p.

- Loring, D. H. e Rantala, R. T. T. (1992) – Manual For The Geochemical Analyses of Marine Sediments and Suspended Particulate Matter. *Earth-Science Reviews, Elsevier Science Publ.*, Amsterdam, 32, pp. 235-283.
- Luternauer, J. L.; Atkins, R. J.; Moody, A. I.; Williams, H. F. L.; Gibson, J. W. (1985) – Salt marshes in Geomorphology and Sedimentology of Estuaries. In Perillo, G. M. E. (ed.). *Elsevier Science*, Amsterdam, pp. 307-329.
- Mebus, A. G. & Helmut, S. (1990) – Absolute Age Determination. *Springer-Verlag Ed.*, New York, pp. 335-336.
- Ministry of Environment of Canada (1998) – Ontario Cleanup Guidline – Guideline for use at contaminated sites in Ontario (<http://www.ene.gov.on.ca/envision/land/decomm/index.htm>) (consulta a 22/01/2006).
- Moreira, M. E. S. A. (1979) – O estuário do Sado - Paisagem e dinâmica. *Centro de Estudos Geográficos, Univ. Lisboa*, 67 p.
- Moreira, M. E. S. A. (1987) – Estudo Fitogeográfico do Ecossistema de Sapal do estuário do Sado. *Finisterra, Revista Portuguesa de Geografia*, 22 (44), pp. 247-303.
- Moreira, M. E. S. A. (1992) – Recent Salt Marsh Changes and Sedimentation Rates in the Sado Estuary, Portugal. *Journal of Coastal Research*, 8 (3), pp. 631-640.
- Moreira, S., Escarduca, T. & Pacheco, T. (2005) – Caracterização Geoambiental do Sapal da Malha da Costa. Trabalho realizado no âmbito da cadeira de Projecto, *Departamento de Geologia, Univ. Lisboa*, 101 p. (inédito).
- Nabais, A. J. C. M. (1986) – História do concelho do Seixal – Património Industrial – Moinhos de Maré. *Câmara Municipal do Seixal*, 155 p.
- Neves, R., Chozas, S., Costa, L. T. & Rufino, R. (2004) – Reserva Natural do Estuário do Sado, uma contribuição para o plano de gestão. *Instituto da Conservação da Natureza/Centro de Zonas Húmidas*, 70 p.
- Nichols, M. M. & Biggs, R. B. (1985) – Estuaries, in Coastal sedimentary environments. In Davies Jr., R. A. (ed.), *Springer-Verlag*, New York, pp. 77-173.
- Nittrouer, C. A., DeMaster, D. J., McKee, B. A., Cutshall, N. H. & Larsen, I. L. (1983) – The effect of sediment mixing on Pb-210 accumulation rates for the Washington continental shelf. *Marine Geology*, 54, pp. 201-221.
- Oliveira, J. M. S.; Farinha, J.; Matos, J. X.; Ávila, P.; Rosa, C.; Machado, M. J. C.; Daniel, F. S.; Martins, L. & Leite, M. R. M. (2002) – Diagnóstico Ambiental das Principais Áreas Mineiras Degradadas do País. *Boletim de Minas, I.G.M.*, Lisboa, 39(2), pp. 67-85.
- Pedrosa, M. A. & Dourado, L. (2000) – Trabalho prático experimental no ensino das ciências – Pontos de vista dos professores-formandos antes do programa. In *Ministério da Educação (eds)*, Ensino Experimental das Ciências – concepção e concretização das acções de formação, Lisboa, pp. 59 – 83.
- Pejrup, M. (1988) – The Triangular Diagram Used for Classification of Estuarine Sediments: a new approach. In De Bóer, P. L. et al. (eds.): *Tide-Influenced Sedimentary Environments and Facies*, pp. 289-300.
- Pêra, M. T., Cunha, M., Barros, M. & Dias, A. (1977) – Concentração de metais pesados nos sedimentos das zonas do estuário do Sado usadas para cultivo de ostras. *Com. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, t. LXII, pp. 85-134.
- Pereira, J. S.; Correia, A. V.; Correia, A. C.; Onofre, N. & Freitas, H. (2006) - Estudo de Caso da Região do Sado. Zonas Costeiras. In Santos, F.D. & Miranda, P. (eds): Alterações

- Climáticas em Portugal – Cenários, impactos e medidas de adaptação, *Projecto SIAM II, Gradiva*, Lisboa, pp.389-479.
- Perillo, G. M. E. (1995) – Geomorphology and Sedimentology of Estuaries. *Elsevier Science Publ. B.V*, Amsterdam, 459 p.
- Pessoa, M. F. G. (1999) – IMPOSEX em *Hinia reticulata* (L.) (Gastropoda) – Um contributo para a biomonitorização dos níveis de estanho e derivados orgânicos no litoral sudoeste português. *Dissertação de doutoramento, Univ. Nova de Lisboa*, Lisboa, 508 p.
- Pethick, J. (1991) – Marshes, mangroves and sea level rise. *Geography, Geographical Association*, Cambridge, 330 (76) (Part I), pp 79-81.
- Pettijohn, F. J. (1975) – Sedimentary Rocks. *Harper & Row Publ.*, 3ª ed., New York, 628 p.
- Pimentel, N. L.V. (1997) – O Terciário da Bacia do Sado – Sedimentologia e Análise Tectono-Sedimentar. *Dissertação de Doutoramento, Univ. Lisboa*, 381 p.
- Pimentel, N.L.V. (2002) – Unidades litostratigráficas do Terciário no Baixo Alentejo ocidental (bacia do Sado, Portugal). *Comum. Inst. Geol. e Mineiro*, tomo 89, pp. 179-192.
- Pinta, M. *et al.* (1971) – Spectrométrie D’Absorption Atomique. Tome II : Application a l’Analyse chimique –. *Masson et Cie*, Paris, pp. 298-299.
- Pinto, H. S. (1990) – Educação Ambiental e Áreas Protegidas. *Seminário: A Educação Ambiental e a Reserva Natural do Estuário do Sado*, Setúbal, pp. 14-16.
- Portaria 176/96* – Diário da República 230, II Série de 3/19/1996.
- Psuty, N. P. & Moreira, M. E. S. A. (2000) – Holocene Sedimentation and Sea Level Rise in the Sado Estuary, Portugal. *Journal of Coastal Research*, 16 (1), pp. 125-138.
- Quevauviller, P. (1987) – Etude geomorphologique, sedimentologique et geochemique du littoral de Galé et de l’estuaire du Sado (Portgal). PhD Thesis, Univ. Bordéus, 255 p.
- Quevauviller, P., Lavigne, R. & Cortez, L. (1989) – Impact of Industrial and mine drainage wastes on the heavy metal distribution in the drainage basin and estuary of the Sado river (Portugal). *Environmental Pollution, Elsevier Applied Science*, 59 (4), pp. 267-286.
- Ranwell, D. S. (1975) – Ecology of Salt Marshes and Sand Dunes. *Chapman & Hall*, London, 252 p.
- Reboredo, F. H. S. (1988) – Alguns aspectos sobre a acumulação de ferro, cobre e zinco por *Halimione portucaloides* (L.) Aellen. *Dissertação de Doutoramento, Univ. Nova de Lisboa*, 165 p.
- Ribeiro, A; Antunes, M. T., Ferreira, M. P., Rocha, R. B., Soares, A. F., Zbyszewski, G., Moitinho, F. A., Carvalho, D. & Monteiro, J. H. (1979) – Introduction à la géologie générale du Portugal. *Serviços Geológicos de Portugal*, Lisboa, 114 p.
- Rodrigues, A. M. J. (1992) – Environmental Status of a Multiple Use Estuary, trough the analysis of benthic communities: the Sado estuary, Portugal. *Dissertação de Doutoramento, Univ. Sterling* (UK), 364 p.
- Romero, S. I. C. (2002) – Estudo comparativo de técnicas modernas e tradicionais de construção de muros de maré e de construção em oriziculturas, saliniculturas e pisciculturas. Trabalho de fim de curso, Curso de Engenharia Biofísica, Univ. Évora, 245p.
- Rowland, A. P. (1997) – Atomic Absorption Spectrometry and Other Solution Methods in Modern Analytical Geochemistry. 1ª ed., *Robin Gill*, Essex, pp. 67–86.
- Ruiz, F, González-Regalado, M. L., Borrego, J., Morales, J. A., Pendón, J. G. & Muñoz, J. M. (1998) – Stratigraphic sequence, elemental concentrations and heavy metals pollution in

- Holocene sediments from the Tinto-Odiel estuary, southwestern Spain. *Environmental Geology*, Springer-Verlag, 34 (4), pp. 220-277.
- Salazar, A. A. F. M. F. (1997) – Sistema integrado de tratamento de águas residuais domésticas e industriais no concelho de Setúbal. Dissertação de Mestrado, Univ.Nova de Lisboa, 219 p.
- Salomons, W. & Forstner, U. (1984) – Metals in the Hydrocycle. *Springer-Verlag*, Berlin, 333 p.
- Sanger, D. M., Holland, A. F. & Scott, G. I. (1999) - Tidal Creek and Salt marsh sediments in South Carolina coastal estuaries: distribution of trace metals. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, Springer-Verlag, New York, 37, pp.445-457.
- Santos, M.C. (1999) – Trabalho experimental na aprendizagem em Ciência – o desenvolvimento de competências científicas na disciplina de Técnicas Laboratoriais de Biologia (vol.I), *Dissertação de Mestrado, Univ. Nova de Lisboa*, 243 p.
- Silva, C. P., Amador, F., Baptista, J.F.P. & Valente, R.A. (2001) – Programa da disciplina de Biologia e Geologia – 10º e 11ºanos, Ministério da Educação, D.E.S., Lisboa, 98p.
- Sousa, M. J.; Freitas, M. C.; Cruces, A.; Andrade, C.; Jouanneau, J. M. (2006) – Influência antrópica nos sedimentos do sapal do Faralhão (estuário do Sado – Portugal). *VII Congresso Nacional de Geologia*, Estremoz, pp.515-518.
- The Ramsar Convention on Wetlands* (2006) – Sítios Ramsar. Suíça, <http://www.ramsar.org/> (consulta 12/1/2006).
- Tibério, A. S. P. (2004) – Biodiversidade, ecologia e produtividade do sapal de Corroios – Um contributo no âmbito da educação ambiental. *Dissertação de Mestrado, Univ. de Lisboa*, 75 p.
- Vale, C. & Sundby, B. (1980) – A survey of the elemental composition of bottom sediments in the Sado estuary. *Seminário: Actual Problems of Oceanography in Portugal, JNICT/NATO, Marine Sciences Panel*, Lisboa, pp.189-200.
- Washington, H. S. (1930) – The Chemical Analysis of Rocks., *John Wiley & Sons*, 4^a ed., London, pp. 148-155.
- Woodroffe, C. D. (2002) – Coasts – form, process and evolution. *Cambridge Univ. Press*, 623p.
- Xueqiang, L. & Matsumoto, E. (2005) – Recent sedimentation rates derived from ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs methods in Ise Bay, Japan. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Elsevier, pp. 1-11.
- Zbyszewski, G., Antunes, M. T. & Ferreira, O. V. (1976) – Notícia Explicativa da folha 39-A (Águas de Moura), da Carta Geológica de Portugal na escala 1:50000. *Serviços Geológicos de Portugal*, Lisboa, 59 p.

Anexo 1

Indústrias da Península da Mitrena

Levantamento das indústrias instaladas na margem norte do estuário do Sado

Catarino et al. (1987)

Indústria	Ano de instalação	Tipo	Produtos	Matéria Prima
Portucel	1964	Pasta de papel Produção de soda cáustica	Pasta branca Papel Cartão canelado	Madeira eucalipto Desperdício de papel Clorato de Na Cloro Sulfato de Na Ácido sulfúrico Calcário Enxofre
Inapa	1969	Papel	Papel	Sulfato de Al Caulinos Colas Aditivos Amiláceos
Parel	-----	Transformação de papel	Papel revestido	Látex sintético Papel
Sapac	1926	Pesticidas Rações Adubos Produtos químicos	Insecticidas Fungicidas Herbicidas Rações Adubos, Ácido sulfúrico Azotados e fosfatados	Organoclorados Organofosforados Fosforados inorgânicos Solventes Cereias, bagaços, leguminosas, frutos, forragens, produtos de origem animal, aditivos Vários Pirite Fosforite, ácido fosfórico e amoníaco
Setenave	1974	-----	Construção e reparação naval	-----
Propam	1973	Bioquímico	Fermentos e leveduras para indústria de panificação	Melaços Amónia Ácido fosfórico
Eurominas	1975	-----	Electro-metalúrgica Produz liga de Fe e Mn	-----

Termo-eléctrica EDP	1979	Produção eléctrica	Electricidade	Fuel óleo
Movauto	1963 a 1994	Montagem de veículos auto	Veículos auto Carretos de distribuição	Tintas, diluentes Soda cáustica
Ima	1963	-----	Montagem de veículos auto	-----
S.Catarina	-----	Extracção e refinaria de óleos vegetais	Óleo de girassol Bagaço de girassol	Casca e serrim para caldeira Hexano
Arlíquido	-----	Químico (destilação e reacção química)	Oxigénio Azoto Árgon Acetileno	Carbonato de cálcio
Boliden	-----	Armazenamento de combustível	Distribuição de fuel por autotanques	-----
Internacional Paint	-----	Químico	Tintas	Solventes, pigmentos e resinas
Russo	-----	Trituração e separação de materiais	Ferro triturado	Sucatas de automóveis e ferrosas
Novoliva	-----	Neutralização e descoloração	Óleos alimentares de origem vegetal	Óleos vegetais de azeite de oliveira
Matadouro		Abate, esfolo e evisceração	Carcaças, miudezas e peles	Animais vivos
Conservas Estrela	-----	Conservas de peixe	Conservas de peixe	Peixe, óleos, azeite e sal
Compagnie Saupiquet	-----	Preparação de peixe	Conservas de peixe	Peixe, óleos, azeite e sal
Mague		Metalomecânica	Estruturas metálicas	Tintas, diluentes, oxigénio, óleos lubrificantes, araldite, gasóleo, gases combustíveis
Frisado	-----	Produção de peças de chapa metálica, plásticos e pintura	Frigoríficos e enceradoras	Tintas, diluentes

**Levantamento de indústrias da margem Norte do estuário do Sado
Março, 2006**

**(indústrias em actividade na península da Mitrena, abrangendo as duas zonas
industriais de Setúbal: *Sapex Bay* e Zona Industrial da Mitrena)**

INDÚSTRIAS INSTALADAS NA MARGEM NORTE DO ESTUÁRIO DO SADO								
Levantamento em Março de 2006								
Indústria	Local	Início de Actividade	Tipo de actividade	Matéria Prima	Produtos	Destino de resíduos industriais	Destino de resíduos domésticos	
Maurifermmentos (antiga Propam)	Estrada da Mitrena	1973	Bioquímica	Culturas puras de leveduras; melação; amónia; ácido fosfórico e sulfato de Manganés	Fermentos Leveduras Adjuvantes	(1)	ETAR	
Somincor	Estrada da Mitrena	1989	Ind. Mineira (armazenamento de concentrado de Cu)	----	-----	-----	ETAR	
Transminas	Estrada da Mitrena	1989	Exploração dos transportadores e ramal ferroviário (transvase do conc. de Cu e fuel)	----	-----	-----	ETAR	
Etermar	Estrada da Mitrena	1968	Construção civil e obras públicas	----	-----	-----	ETAR	
Alstom (antiga Mague)	Estrada da Mitrena	1976	Metalmecânica	Componentes para caldeiras	Materiais em metal e aço, consumíveis de soldadura	(1) (2)	ETAR	
EDP	Praias do Sado	1979	Produção eléctrica	Electricidade	Fuel óleo	(1) (2)	ITEL	

INDÚSTRIAS INSTALADAS NA MARGEM NORTE DO ESTUÁRIO DO SADO							
Levantamento em Março de 2006 (continuação)							
Indústria	Local	Início de Actividade	Tipo de actividade	Matéria Prima	Produtos	Destino de resíduos industriais	Destino de resíduos domésticos
Facime, Indesit	Praias do Sado	2004	Produção de electrodomésticos	Ferro e alumínio plastificado	Arcaas congeladoras	(1)	Linha de água
Matadouro	Estrada da Mitrena	2003 (**)	Abate, desmantelamento e preparação de carnes	Carcacas, miudezas e peles	Animais vivos	(1)	ETAR(*)
Sapec Agro	Sapec Bay	1965	Produção e comercialização de fitofarmacêuticos	Organoclorados; organofosfatados; fosforados inorgânicos e solventes	Pesticidas; fungicidas e herbicidas	(1)	ETAR
Sapec Química	Sapec Bay	2005 (***)	Comércio, armazenamento e distribuição de produtos químicos	-----	Sulfato de Al e soda cáustica	-----	ETAR
CITRI (Sapec)	Sapec Bay	2002	Triagem e aterro de resíduos industriais não perigosos	Resíduos industriais não perigosos	-----	Lixiviados – ETAR(*) (1)	ETAR(*)
Sapec Terminais Portuários	Sapec Bay	2006 (**)	Actividades portuárias Recepção de compostos para adubos e adubos; cimentos; granéis líquidos (ácidos sulfúrico e fosfórico, soda cáustica e melação)	-----	-----	-----	-----

INDÚSTRIAS INSTALADAS NA MARGEM NORTE DO ESTUÁRIO DO SADO								
Levantamento em Março de 2006 (continuação)								
Indústria	Local	Início de Actividade	Tipo de actividade	Matéria Prima	Produtos	Destino de resíduos industriais	Destino de resíduos domésticos	
SPC-Rodofer (Sapec)	Sapec Bay	2005	Gestão e exploração de terminais ferroviários e rodoviários	----	----	----	ETAR	
Selectis (Sapec)	Sapec Bay	2000	Venda de agroquímicos	----	----	----	ETAR	
Sapec Imobiliária	Sapec Bay	1989	Gestão do parque industrial	----	----	----	ETAR	
CNE – cimentos nacionais e estrangeiros	Sapec Bay	2003	Armazenamento e distribuição de cimentos	----	----	----	ETAR	
IBERA Ind. de betões,SA	Sapec Bay	2000	Indústria de betão pronto	Areia, brita, cimento, cinzas e aditivos químicos	Betão	(1) (2)	ETAR	
Scalare	Sapec Bay	2004	Importação/Exportação de peixes e pássaros; fabrico de aquários e expositores	Vidro e alumínio	Aquários e expositores	(1)	ETAR	
Canana & Filhos	Sapec Bay	2004	Produção de misturas betuminosas	Areia, betume e brita	Betuminoso	(1) (2)	ETAR	

INDÚSTRIAS INSTALADAS NA MARGEM NORTE DO ESTUÁRIO DO SADO							
Levantamento em Março de 2006 (continuação)							
Indústria	Local	Início de Actividade	Tipo de actividade	Matéria Prima	Produtos	Destino de resíduos industriais	Destino de resíduos domésticos
SOPAC (antiga Sapec desde 1932)	Sapec Bay	1999	Produção de adubos compostos	Fosforite; ácidos sulfúrico e fosfórico; nitrato de amónio e amónia	Adubos químicos e compostos azotados Adubos orgânicos e organo-minerais	(1) (2)	ETAR
VLC, Publicidade e Comunicação Cannon, Hygiene	Sapec Bay	2004	Produção de publicidade	Tintas e materiais de impressão	Impressões em diversos materiais	-----	ETAR
Taiyo Techonoly Portugal	Sapec Bay	2002	Tratamento com germicida de resíduos	Soluções germicidas	Contentores higiénicos desinfectados	(1) (2)	ETAR
J.P. Moreira	Sapec Bay	2003	Componentes plásticos de precisão (ind. auto)	Plástico, solventes e tintas	Componentes plásticos para painéis de auto-rádios	(1) (2)	ETAR
Ambicare	Sapec Bay	2004	Reparação de máquinas industriais	-----	-----	(1)	ETAR
	Z.I. Mitrena	2003	Recolha e triagem de materiais para reciclagem; análise e tratamento de óleos de transformadores	Lâmpadas fluorescentes; óleos e transformadores	Vidro; alumínio; mercúrio e PCB	(1) (2)	ETAR

INDÚSTRIAS INSTALADAS NA MARGEM NORTE DO ESTUÁRIO DO SADO							
Levantamento em Março de 2006 (continuação)							
Indústria	Local	Início de Actividade	Tipo de actividade	Matéria Prima	Produtos	Destino de resíduos industriais	Destino de resíduos domésticos
Portucel	Z.I. Mitrena	2001 (**)	Produção de pasta de papel e papéis finos não revestidos	Madeira de eucalipto; soda cáustica; clorato de sódio; ácido sulfúrico; amidos; pasta de eucalipto	Pasta celulósica branqueada e papéis finos não revestidos	(1) (2)	ETAR (*)
Adubos Deiba	Z.I. Mitrena	2001	Ensaque e comercialização de adubos	Adubos em granel	Adubos ensacados	----	ETAR
Air Liquide	Z.I. Mitrena	1972	Fabrico e comercialização de gases	----	----	(1)	ETAR
Tecnoservi	Z.I. Mitrena	1997	Montagens eléctricas e mecânicas	----	----	(1)	ETAR
Huhtamaki	Z.I. Mitrena	1991	Produção de embalagens alimentares	Poliestireno e pigmentos	Embalagens alimentares	(1)	ETAR
Setimetal	Z.I. Mitrena	1995	Metalomecânica	Ferro, inox	Estruturas metálicas Resíduos de Ferro e óleos	(1)	ETAR

INDÚSTRIAS INSTALADAS NA MARGEM NORTE DO ESTUÁRIO DO SADO								
Levantamento em Março de 2006 (continuação)								
Indústria	Local	Início de Actividade	Tipo de actividade	Matéria Prima	Produtos	Destino de resíduos industriais	Destino de resíduos domésticos	
Francisco Sequeira Baptista	Z.I. Mitrena	2003	Triagem de papel para reciclagem	Desperdício de papel	Papel enfardado	(1)	ETAR	
Arsénio & Eduardo	Z.I. Mitrena	2000	Reparação auto	Óleos e filtros		(2)	ETAR	
Contábuas	Z.I. Mitrena	1996	Montagem, desmontagem e aluguer de andaimes	-----	-----	-----	ETAR	
Ambitrena	Z.I. Mitrena	2005	Gestão de resíduos Processamento e encaminhamento para revalorização	Resíduos sólidos diversos	Resíduos sólidos enfardados	Estação de separação de hidrocarbonetos	ETAR	
Quima	Z.I. Mitrena	2002	Recolha e processamento de resíduos sólidos	Papel acabado	Fardos de papel Rejeitados de madeira e plástico	(1)	ETAR	
Sonaz	Z.I. Mitrena	1989	Embalamento e comércio de azeite e óleos vegetais	Azeite e óleos vegetais a granel; embalagens	Azeite e óleos vegetais embalados	(1)	ETAR	
Ribasado	Z.I. Mitrena	2000	Fabrico de grupos electrogénios	Chapas metálicas; consumíveis de soldadura	Grupos electrogénios; centrais de incêndio e electrobombas	(1) (2)	ETAR	

INDÚSTRIAS INSTALADAS NA MARGEM NORTE DO ESTUÁRIO DO SADO							
Levantamento em Março de 2006 (continuação)							
Indústria	Local	Início de Actividade	Tipo de actividade	Matéria Prima	Produtos	Destino de resíduos industriais	Destino de resíduos domésticos
Eco-oil	Cais Mitrena	2001	Recepção, armazenamento e tratamento de misturas e águas oleosas de tanques de navios e terrestres	Misturas oleosas; lastros contaminados; águas de lavagem de tanques de navios	Lamas contaminadas	ETAR(*) (2)	ETAR(*)
Lisnave	Cais Mitrena	1974	Reparação Naval	Tintas; chapa; aço; granalha para decapagem (escória de Cu)		(1) ETAR(*) Cimenteiras (granalha)	ETAR(*)
Setefrete	Cais Mitrena (antigo cais Eurominas)	2004	Transvase e armazenamento temporário de <i>clinker</i> e <i>petcoque</i> de e para as cimenteiras Secil e Címpor)	-----	-----	-----	-----
Tranquisado	Cais Mitrena	1993	Armazenamento de produtos petrolíferos	-----	-----	-----	-----

(1) Resíduos sólidos e/ou líquidos não perigosos armazenados temporariamente e recolhidos por empresas certificadas, para aterro e/ou valorização.

(2) Resíduos sólidos e/ou líquidos perigosos acondicionados e recolhidos por empresas certificadas, para destruição e/ou valorização.

(*) Instalações próprias.

(**) Com um período de actividade anterior, semelhante à actual, no mesmo local.

(***) Com um período de actividade produtiva anterior, diferente da actual, no mesmo local.

ITEL – Instalação de Efluentes Líquidos

Anexo 2

Ocorrências Minerais na Bacia Hidrográfica do Sado

Coordenadas (PF)		Mina	Dist	Dim	Unidade Geo Tectónica	Minérios					
X	Y					Zn	Cu	Pb	Mn	Fe	Outros
166250	128250	Pêro Cuco e Corte Grande	Beja	PEQ	ZSP				x		
215000	148000	Águas de Peixe	Beja	PEQ	ZOM	x		x			
210032	143328	Alvito	Beja	PEQ	ZOM					x	
198000	84000	Caçoeira	Beja	PEQ	ZSP				x		
180600	90100	Carrascal	Beja	PEQ	ZSP				x		
185150	84000	Cerro Bicudo da Rocha	Beja	PEQ	ZSP				x		
189750	84000	Cerro da Cela	Beja	PEQ	ZSP				x		
186850	80700	Cerro da Eira	Beja	PEQ	ZSP				x		
206600	125100	Cerro da Estrada	Beja	PEQ	ZOM		x				
193150	86050	Cerro da Maré	Beja	PEQ	ZSP				x		
208350	106150	Cerro da Zorreira	Beja	PEQ	ZSP				x		
208150	103900	Cerro das Fontainas	Beja	PEQ	ZSP				x		
188300	87900	Cerro do Brejo	Beja	PEQ	ZSP				x		
189750	84000	Cerro do Castelejo	Beja	PEQ	ZSP				x		
187300	93000	Cerro do Laboreiro	Beja	PEQ	ZSP				x		
182800	88000	Cerro do Marco	Beja	PEQ	ZSP				x		
182800	88000	Cerro do Martelo	Beja	PEQ	ZSP				x		
182800	88000	Cerro do Moinho	Beja	PEQ	ZSP				x		
181200	80050	Cerro do Paraíso	Beja	PEQ	ZSP				x		
205650	106350	Cerro do Zambujeiro	Beja	PEQ	ZSP				x		
186250	87150	Herdade do Coito	Beja	PEQ	ZSP				x		
205750	105500	Encosta do Chaparro do Cabreiro	Beja	PEQ	ZSP				x		
205750	105500	Encosta do Cerro	Beja	PEQ	ZSP				x		
205750	105500	Encosta do Cabreiro	Beja	PEQ	ZSP				x		
213000	146300	Forno da Alma Larga	Beja	PEQ	ZOM					x	
206400	102350	Herdade Barreto	Beja	PEQ	ZSP				x		
186250	87150	Herdade da Cruz da Pedra	Beja	PEQ	ZSP					x	
208150	103900	Herdade da Faleirinha	Beja	PEQ	ZSP					x	
211000	103150	Herdade da Figueirinha	Beja	PEQ	ZSP					x	
186600	90425	Herdade da Fonte da Rata	Beja	PEQ	ZSP					x	
208150	103900	Herdade da Juliana	Beja	PEQ	ZSP					x	
208350	106150	Herdade da Palhota	Beja	PEQ	ZSP					x	
207050	105000	Herdade das Pedras Alvas	Beja	PEQ	ZSP					x	
206400	102350	Herdade de Vilar	Beja	PEQ	ZSP					x	
192550	89600	Herdade do Álamo	Beja	PEQ	ZSP					x	
188300	87900	Herdade do Brejo	Beja	PEQ	ZSP					x	
186250	87150	Herdade do Monte do Coito	Beja	PEQ	ZSP					x	
193975	81155	Herdade do Monte Janeiro	Beja	PEQ	ZSP					x	
192550	89600	Herdade do Pardieiro	Beja	PEQ	ZSP					x	
205750	105500	Herdade do Vale de Calvo	Beja	PEQ	ZSP					x	
205650	106350	Herdade do Zambujeiro	Beja	PEQ	ZSP					x	
205650	106350	Herdade dos Pardieiros	Beja	PEQ	ZSP					x	


Coordenadas (PF)		Mina	Dist	Dim	Unidade Geo Tectónica	Minérios					
X	Y					Zn	Cu	Pb	Mn	Fe	Outros
196900	113850	Lagoas do Paço	Beja	PEQ	BTS-ZSP				x		
208250	99200	Louriçal de Baixo	Beja	PEQ	ZSP				x		
207350	104100	Mina da Juliana	Beja	PEQ	ZSP		x				
186600	90425	Moinho do Beirão	Beja	PEQ	ZSP				x		
202300	108400	Monte do Coirinho	Beja	PEQ	ZSP				x		
203600	147800	Monte das Minas	Beja	PEQ	ZOM		x				
224150	141400	Monte das Sesmarias (Amianto)	Beja	PEQ	ZOM						Amianto
223800	140600	Monte das Sesmarias (Fe)	Beja	PEQ	ZOM					x	
186800	90350	Montinho	Beja	PEQ	ZSP	x	x	x			
197450	134400	Odivelas	Beja	PEQ	ZOM					x	
205750	105500	Pedra Coelha	Beja	PEQ	ZSP				x		
192250	87200	Pedra da Ribeira	Beja	PEQ	ZSP				x		
192250	87200	Pedra do Montinho	Beja	PEQ	ZSP				x		
207050	105000	Pedra Furada	Beja	PEQ	ZSP				x		
184000	85700	Pedras Serranas	Beja	PEQ	ZSP				x		
188600	78550	Penedo Furado	Beja	PEQ	ZSP				x		
204500	104500	Pinheiros	Beja	PEQ	ZSP				x		
205650	106350	Polvorinho	Beja	PEQ	ZSP				x		
204300	123500	Quinta de S. Vicente	Beja	PEQ	ZOM		x				
184300	91800	Reguengo	Beja	PEQ	ZSP					x	
189750	84000	Reguenguinho	Beja	PEQ	ZSP				x		
204500	104500	Salto	Beja	PEQ	ZSP				x		
193570	90900	Serra do Álamo	Beja	PEQ	ZSP				x		
204900	148850	Valongo	Beja	PEQ	ZOM		x				
197400	100100	Algares	Beja	GRA	ZSP	x	x	x			
198800	99500	Cabeço do Moinho	Beja	PEQ	ZSP				x		
197400	100500	Campo Mineiro de Aljustrel	Beja	GRA	ZSP	x	x	x			
193500	100950	Campo Mineiro do Gavião	Beja	GRA	ZSP	x	x	x			
197800	101200	Cerro da Cabeça do Homem	Beja	PEQ	ZSP				x		
196800	102000	Cerro da Magancha	Beja	PEQ	ZSP				x		
197800	101200	Cerro de Malpique	Beja	PEQ	ZSP				x		
195850	100550	Cerro de Santo Antão	Beja	PEQ	ZSP				x		
187300	93000	Cerro do Laboreiro	Beja	PEQ	ZSP				x		
195850	100550	Currais Velhos	Beja	PEQ	ZSP				x		
195850	100550	Ermida da Nossa Sr ^a do Castelo	Beja	PEQ	ZSP				x		
198900	104350	Esquilhão do Seixo	Beja	PEQ	ZSP				x		
198250	101850	Estação	Beja	GRA	ZSP	x	x	x			Ag
198450	100600	Feitais	Beja	MED	ZSP/ZOM	x	x	x			Ag
191400	103000	Herdade da Barrinha	Beja	PEQ	BTS				x		
198800	99500	Herdade de Monte Ruas	Beja	PEQ	ZSP				x		
206850	94600	Herdade do Louriçal do Pinheiro	Beja	PEQ	ZSP				x		

Coordenadas (PF)		Mina	Dist	Dim	Unidade Geo Tectónica	Minérios					
X	Y					Zn	Cu	Pb	Mn	Fe	Outros
197200	102550	Herdade do Monte dos Gomes	Beja	PEQ	ZSP				x		
196400	101450	Moinho	Beja	MED	ZSP	x	x	x			Ag
206850	94600	Penedão do Escalafreixo	Beja	PEQ	ZSP				x		
196850	100550	Quintal do Manuel Lobo	Beja	PEQ	ZSP				x		
195900	101900	S. João do Deserto	Beja	GRA	ZSP	x	x	x			
198800	99500	Serra de Feitais	Beja	PEQ	ZSP				x		
201600	101400	Vale de Narizes	Beja	PEQ	ZSP				x		
191400	103000	Zambujeiro do Montinho	Beja	PEQ	BTS				x		
197880	153300	Alcáçovas (Herdade Entre Matinhas)	Evo	PEQ	ZOM		x				
195000	155000	Alcáçovas (Vale de Nogueira)	Evo	PEQ	ZOM		x				
203500	165900	Alcalainha	Evo	PEQ	ZOM		x				
205950	157650	Almargias	Evo	PEQ	ZOM						Qz+Feld
230100	143550	Arado do Castanheiro	Evo	PEQ	ZOM						Amianto
233750	145500	Balsa (Portel)	Evo	PEQ	ZOM	x	x	x			
199700	177620	Banhos (NE)	Evo	PEQ	ZOM						Au
199320	176690	Banhos Principal	Evo	PEQ	ZOM						Au
199920	176090	Banhos (SE)	Evo	PEQ	ZOM						Au
196300	177400	Campo Mineiro de Montemor-o-Novo	Evo	PEQ	ZOM					x	
195500	173570	Caras	Evo	PEQ	ZOM						Au
195320	172810	Caras Sul	Evo	PEQ	ZOM						Au
195950	179900	Carvalhal (Au)	Evo	PEQ	ZOM						Au
203090	175480	Casas Novas	Evo	PEQ	ZOM						Au
187200	184600	Courela do Conde	Evo	PEQ	ZOM		x				
179000	181450	Courelinha	Evo	PEQ	ZOM		x				
202200	172880	Falés	Evo	PEQ	ZOM						Au
223750	156600	Feijoas	Evo	PEQ	ZOM						U
192150	179700	Ferrarias (Herdade da Gamela)	Evo	PEQ	ZOM					x	
198540	178370	Fonte Santa	Evo	PEQ	ZOM						Au
219700	156750	Ganhoteira	Evo	PEQ	ZOM						U
187700	181400	Gouveia	Evo	PEQ	ZOM						Qz+Feld
177800	185200	Herdade da Caeira	Evo	PEQ	ZOM	x	x	x		x	
200250	174150	Herdade da Defesa	Evo	PEQ	ZOM					x	
197300	155300	Herdade da Manizola	Evo	PEQ	ZOM		x				
201050	173600	Herdade da Nogueirinha	Evo	PEQ	ZOM					x	
196600	170700	Herdade da Prata	Evo	PEQ	ZOM						Sb
183900	183050	Herdade da Safira	Evo	PEQ	ZOM		x				
200250	174150	Herdade da Sala	Evo	PEQ	ZOM					x	
199500	174700	Herdade da Serrinha	Evo	PEQ	ZOM					x	
180850	180000	Herdade das Palmas	Evo	PEQ	ZOM						Au+Sb
188200	181800	Herdade de Gouveia de Baixo	Evo	PEQ	ZOM		x				
196050	177350	Herdade do Castelo	Evo	PEQ	ZOM					x	

Coordenadas (PF)		Mina	Dist	Dim	Unidade Geo Tectónica	Minérios					
X	Y					Zn	Cu	Pb	Mn	Fe	Outros
205400	168550	Herdade do Montinho	Evo	PEQ	ZOM		x				
218680	156300	Herdade do Sobral	Evo	PEQ	ZOM		x				
190050	183400	Lage	Evo	PEQ	ZOM			x			
204150	174570	Ligeiro	Evo	PEQ	ZOM						Au
214800	155700	Monte da Angeirinha	Evo	PEQ	ZOM		x				
214400	167350	Monte do Seixo	Evo	PEQ	ZOM						Qz+Feld
194150	180000	Montemor-o-Novo	Evo	PEQ	ZOM						Au
184000	182500	Montemor (Eixo de Gouveia)	Evo	PEQ	ZOM						Au
180000	181820	Montemor (Eixo de Grou)	Evo	PEQ	ZOM						Au
188700	179000	Montemor (Eixo de Mourel)	Evo	PEQ	ZOM						Au
195500	180300	Montemor (Eixo do Carvalho)	Evo	PEQ	ZOM						Au
203650	175800	Montemor (Zona da Boa Fé)	Evo	PEQ	ZOM						Au
205200	169400	Montemor (Zona de Brassos)	Evo	PEQ	ZOM						Au
189000	180300	Mourel	Evo	PEQ	ZOM						Au
191280	179420	Rumorinho/Rio Mourinho	Evo	PEQ	ZOM						Au+As
195000	178200	Serra dos Monges	Evo	PEQ	ZOM					x	
204500	169900	Tabuleiros	Evo	PEQ	ZOM						Au+Ag
195680	178970	Torre	Evo	PEQ	ZOM						Au
172700	82650	Telheiro	Evo	PEQ	ZOM/ZSP		x				
160000	131450	Água Férrea	Set	PEQ	ZSP				x		
183000	160650	Bacia Carbonífera de Stª Suzana	Set	PEQ	BTS/ZSP						Hulha
182950	165200	Caerinha	Set	PEQ	ZOM	x	x	x			
182320	166510	Campo Mineiro de S. Cristóvão	Set	PEQ	ZOM/ZSP	x	x	x		x	
147500	149300	Carvalho	Set	PEQ	BTS						Diatomito
170300	124150	Casa Nova de Algeda	Set	PEQ	ZSP				x		
149700	95700	Casa Velha	Set	PEQ	ZSP						Ba
150900	90900	Cerro da Fonte Santa de Cima	Set	PEQ	ZSP				x	x	
175650	123750	Cerro dos Arneirões	Set	PEQ	BTS		x				
167800	167400	Clérigos	Set	PEQ	BTS						Ba
175650	119750	Espinhaço do Cão	Set	PEQ	ZSP				x		
150900	90900	Fonte Santa de Baixo	Set	PEQ	ZSP				x	x	
148400	98650	Herdade da Tanganheira	Set	PEQ	ZSP				x	x	
181400	167800	Herdade de Corte Pereiro	Set	PEQ	ZOM/ZSP	x	x	x			
150100	92600	Herdade de Mandurelha	Set	PEQ	ZSP				x	x	
182700	166100	Herdade do paço	Set	PEQ	ZOM/ZSP					x	
180300	169850	Jungéis/Moinho da Ordem	Set	PEQ	BTS/ZSP						Hulha
170923	140923	Lagoa Salgada	Set	MED	ZSP	x	x	x			
173900	119350	Lousal	Set	MED	ZSP	x	x	x			
140600	176650	Quinta da Assa	Set	PEQ	BTS						Turfa
167220	128770	Serra da Caveira	Set	PEQ	ZSP	x	x	x			
150100	92600	Serra da Mina	Set	PEQ	ZSP				x	x	

Coordenadas (PF)		Mina	Dist	Dim	Unidade Geo Tectónica	Minérios					
X	Y					Zn	Cu	Pb	Mn	Fe	Outros
150100	92600	Serra das Tulhas	Set	PEQ	ZSP				x	x	
150100	92600	Serra do Lagar da Bela Vista	Set	PEQ	ZSP				x	x	
150900	90900	Serra do Rosalgar	Set	PEQ	ZSP				x	x	
165700	169400	Serrinha	Set	PEQ	BTS				x		
174200	122800	Sítio do Montado	Set	PEQ	BTS		x				
150100	92600	Toca do Mocho	Set	PEQ	ZSP				x	x	

Abreviaturas da tabela: Dist (Distrito); Dim (Dimensão); BTS (Bacia do Baixo Tejo e Sado); ZOM (Zona de Ossa Morena); ZSP (Zona Sul Portuguesa); PF (Ponto Fictício, relativamente ao qual estão referenciadas as coordenadas das minas.

 Explorações mineiras com estudo ambiental.

Anexo 3

Cobertura vegetal do Alto Sapal e Baixo Sapal do Faralhão

(Levantamento realizado em Abril de 2006)



Arthrocnemum fruticosum
(Alto sapal)



Halimione portucaloides
(Alto sapal)



Limonium vulgare
(Alto sapal)



Inula crithmoides
(Alto sapal)



Suaeda vera
(Alto sapal)



Puccinellia maritima
(Alto sapal)



Spartina marítima
(Baixo sapal – preia mar)



Spartina marítima
(Baixo sapal – baixa mar)

Anexo 4
Procedimientos Geoquímicos

Procedimentos geoquímicos

Determinação do teor em sílica pelo método gravimétrico

A amostra total, seca e desagregada, foi previamente pulverizada, recorrendo a um moinho de ágata. Num cadinho de platina juntou-se a 1,0000g de amostra, 10 a 11 gramas de carbonato de sódio anidro, que vai baixar o ponto de fusão do material e mais tarde vai facilitar a remoção da amostra (após fusão). Sobre a chama de um bico de Meker (800 – 900°C), leva-se a amostra até à fusão, após o que se espera cerca de 30 minutos. Recorrendo a uma pinça de pontas de platina, retira-se o cadinho com a amostra fundida e coloca-se dentro de uma cápsula de porcelana, onde se adiciona uma mistura (1/1) de água bidestilada e HCl concentrado. A amostra dissolvida vai a banho-maria a evaporar, onde se deve manter cerca de uma hora após secura evidente. O resíduo seco é humedecido com HCl concentrado durante 10-15 minutos (para dissolver eventuais sais aderentes à sílica) e seguidamente é anulada a concentração do ácido com adição de água bidestilada. Filtra-se a sílica num filtro de cinzas inserido num funil de vidro e lava-se a cápsula sucessivas vezes, primeiro com água bidestilada e depois com HCl a 10%, até que se atinja cerca de 400ml de líquido filtrado, num copo graduado. Pesa-se um cadinho de platina, que foi previamente ao rubro num bico de Meker para eliminar eventuais impurezas. Envolve-se o resíduo do filtrado com o filtro que o contém e coloca-se no cadinho. Leva-se o cadinho ao bico de Bunsen (na *hotte*) para queimar o filtro, com o cuidado de não fazer chama, para não queimar a sílica. Quando a sílica apresentar uma cor branca, leva-se o cadinho ao rubro no bico de Meker durante 60 minutos. Finalmente, o resíduo de sílica é pesado e calcula-se a % na amostra total.

Método ataque fluorídrico – perclórico com volatilização do silício

Num copo de *teflon*, ataca-se a amostra com 15ml de ácido perclórico e 15ml de ácido fluorídrico. Na *hotte*, leva-se a mistura a evaporar até à secura sobre um banho de areia. Após secura, adicionam-se 15ml de cada um dos ácidos. Leva-se novamente ao banho de areia. Repete-se o processo mais duas vezes. Após três períodos de volatilização, adicionam-se 5ml de ácido perclórico, levando ao banho-maria mais alguns minutos, para eliminar algum ácido fluorídrico que ainda possa existir. O resíduo é dissolvido, a quente, em 15ml de HCl concentrado e transfere-se a solução para um balão graduado de 100ml. Agita-se e deixa-se arrefecer, após o que se completam os 100ml com água bidestilada.

Anexo 5

Tabela geral de resultados sedimentológicos Sondagem FAR4A

TABELA GERAL DOS RESULTADOS SEDIMENTOLÓGICOS

Cota Absoluta (m)(ZH)	Prof. (cm)	Teor Água (%)	pH	Classificação Pratólongo ¹	% M.O.		Carbonato de cálcio	% areias	% siltes	% argilas < 4µm	Classificação Textural ²
					Titulação	Perda Por Ignição					
3,525	0,5	144.1	6.5	Subácido	9.0	19.9	0	3.15	67.47	29.38	Vasa
3,515	1,5	119.9	6.3	Subácido							
3,505	2,5	107.6	5.9	Subácido	8.4	18.8	0	2.32	61.94	35.74	Vasa
3,495	3,5	129.4	5.7	Subácido							
3,485	4,5	122.0	5.6	Subácido	9.1	19.8	0	3.05	65.93	31.03	Vasa
3,475	5,5	100.3	5.6	Subácido							
3,465	6,5	85.1	5.6	Subácido	4.9	14.5	0	1.31	64.45	34.25	Vasa
3,455	7,5	75.0	5.6	Subácido							
3,445	8,5	97.0	5.5	Ácido	7.3	17.7	0	2.27	61.31	36.42	Vasa
3,435	9,5	92.2	5.5	Ácido							
3,425	10,5	83.0	5.6	Subácido	6.5	15.5	0	0.84	64.39	34.76	Vasa
3,415	11,5	84.6	5.6	Subácido							
3,405	12,5	97.9	5.6	Subácido	8.3	17.4	0	0.97	65.08	33.95	Vasa
3,395	13,5	116.3	5.6	Subácido							
3,385	14,5	138.2	5.5	Ácido	9.2	19.7	0	0.63	66.07	33.30	Vasa
3,375	15,5	146.5	5.6	Subácido							
3,365	16,5	142.2	5.6	Subácido	9.7	21.5	0	1.28	70.24	28.48	Vasa
3,355	17,5	108.6	5.7	Subácido							
3,345	18,5	95.4	5.7	Subácido	7.1	15.3	0	0.59	63.28	36.13	Vasa
3,335	19,5	87.7	5.8	Subácido							
3,325	20,5	84.6	5.8	Subácido	5.0	13.8	0	0.52	65.31	34.17	Vasa
3,315	21,5	100.1	5.7	Subácido							
3,305	22,5	95.5	5.7	Subácido	2.8	14.6	0	0.13	58.36	41.51	Vasa
3,295	23,5	90.3	5.7	Subácido							
3,285	24,5	89.6	5.7	Subácido	4.0	14.8	0	0.63	58.23	41.14	Vasa
3,275	25,5	84.3	5.7	Subácido							
3,265	26,5	85.4	5.8	Subácido	2.0	13.5	0	0.13	60.00	39.81	Vasa
3,255	27,5	81.8	5.7	Subácido							
3,245	28,5	79.3	5.7	Subácido	1.7	12.7	0	0.30	58.39	41.32	Vasa
3,235	29,5	79.2	5.7	Subácido							
3,225	30,5	75.1	5.7	Subácido	2.2	12.5	0	0.04	58.20	41.76	Vasa
3,215	31,5	75.8	5.8	Subácido							
3,205	32,5	76.2	5.8	Subácido	2.1	13.2	0	0.18	58.86	40.95	Vasa
3,195	33,5	75.2	5.9	Subácido							
3,185	34,5	75.4	5.8	Subácido	1.5	12.6	0	0.04	60.00	39.95	Vasa
3,175	35,5	74.9	5.9	Subácido							
3,165	36,5	77.1	5.8	Subácido	1.5	12.5	0	0.11	58.71	41.17	Vasa
3,155	37,5	76.5	5.8	Subácido							
3,145	38,5	82.4	5.8	Subácido	2.8	14.6	0	0.31	63.16	36.53	Vasa

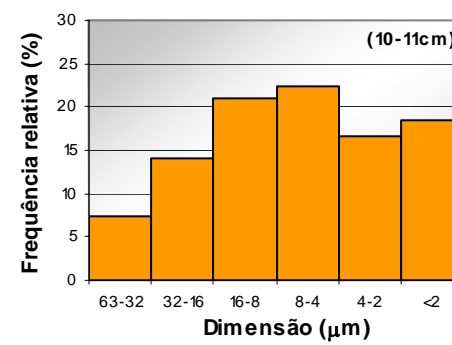
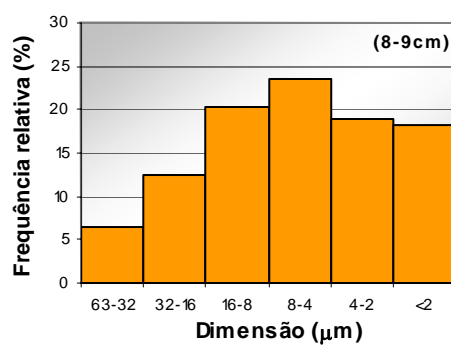
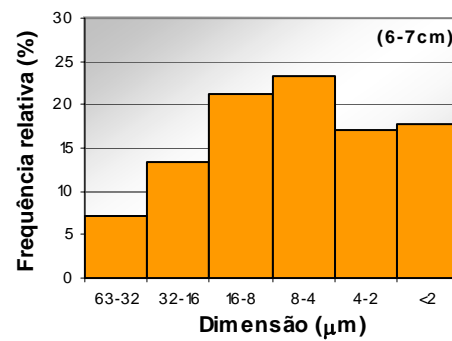
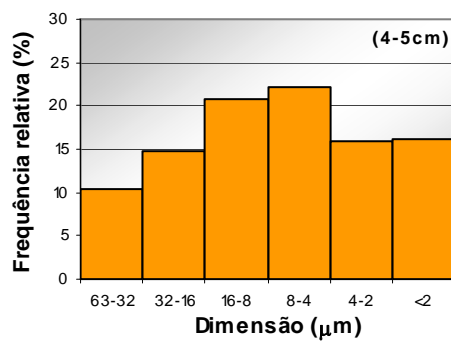
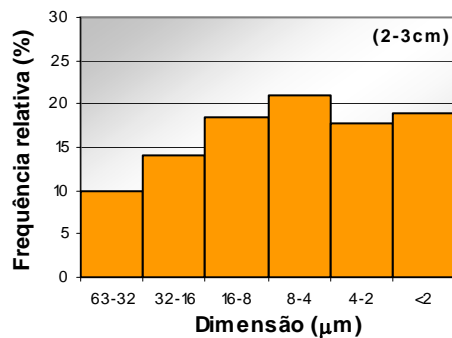
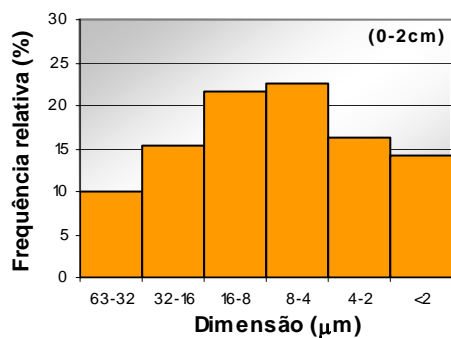
TABELA GERAL DOS RESULTADOS SEDIMENTOLÓGICOS (continuação)

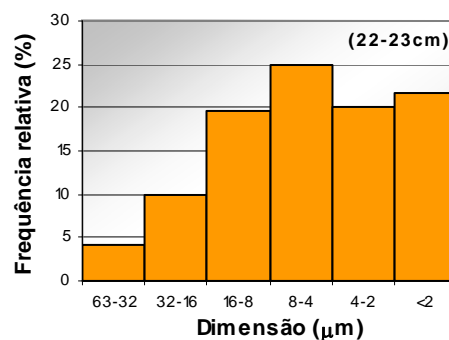
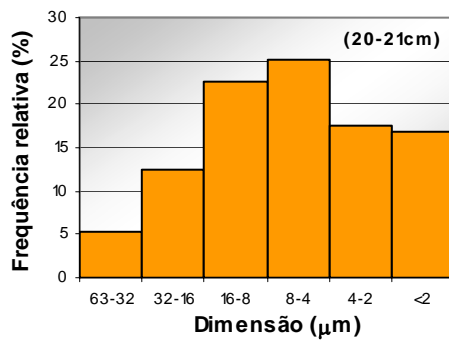
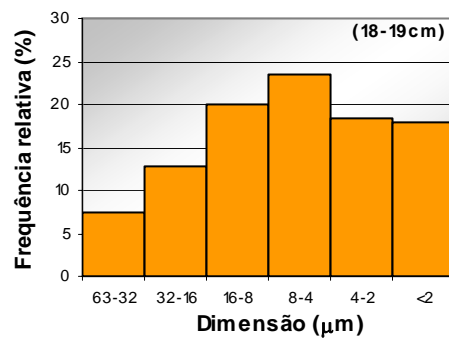
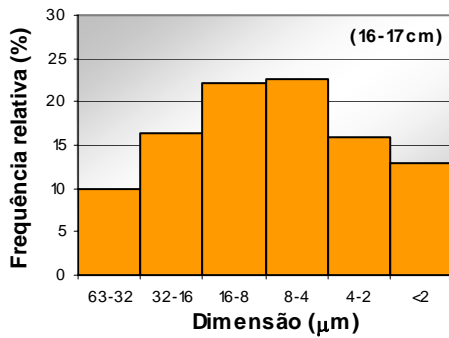
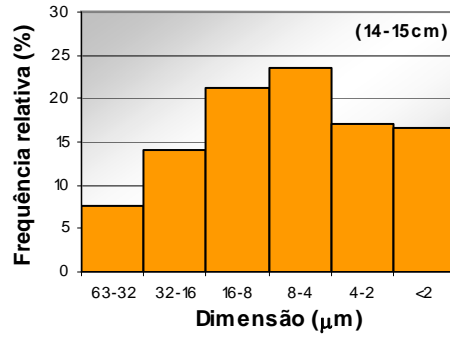
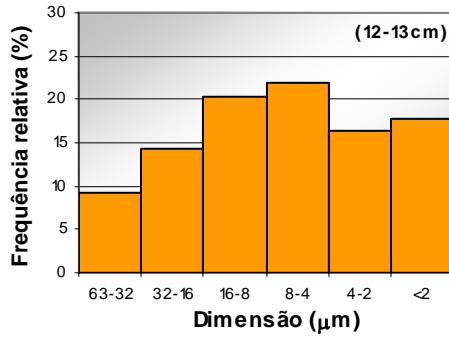
Cota Absoluta (m)(NMM)	Prof. (cm)	Teor Água (%)	pH	Classificação Pratoalongo ¹	% M.O.		Carbonato de cálcio	% areias	% siltes	% argilas < 4µm	Classificação Textural ²
					Titulação	Perda Por Ignição					
3,125	40,5	100.1	5.5	ácido	4.3	15.2	0,0	0.47	59.87	39.66	Vasa
3,115	41,5	85.2	5.5	ácido							
3,105	42,5	79.4	5.5	ácido	3.6	14.6	0,0	0.18	59.03	40.79	Vasa
3,095	43,5	75.7	5.5	ácido							
3,085	44,5	85.1	5.6	Subácido	3.0	14.0	0,0	0.81	58.29	40.91	Vasa
3,075	45,5	81.5	5.5	ácido							
3,065	46,5	79.1	5.6	Subácido	2.8	13.7	0,0	0.17	59.45	40.38	Vasa
3,055	47,5	75.5	5.6	Subácido							
3,045	48,5	86.6	5.6	Subácido	2.2	13.3	0,0	0.22	54.64	45.14	Vasa
3,035	49,5	76.7	5.6	Subácido							
3,025	50,5	80.0	5.6	Subácido	2.9	13.8	0,0	0.66	56.27	43.06	Vasa
3,015	51,5	78.9	5.6	Subácido							
3,005	52,5	77.5	5.6	Subácido	2.3	13.4	0,0	1.22	54.35	44.43	Vasa
2,995	53,5	80.0	5.6	Subácido							
2,985	54,5	80.5	5.6	Subácido	2.3	13.2	0,0	0.33	51.80	47.87	Vasa
2,975	55,5	76.9	5.7	Subácido							
2,965	56,5	75.2	5.7	Subácido	0.2	13.1	0,0	0.65	51.76	47.59	Vasa
2,955	57,5	80.6	5.7	Subácido							
2,945	58,5	80.2	5.7	Subácido	2.4	14.1	0,0	0.19	55.93	43.88	Vasa
2,935	59,5	82.1	5.7	Subácido							
2,925	60,5	74.4	5.7	Subácido	1.7	12.9	0,0	0.35	55.69	43.96	Vasa
2,915	61,5	72.7	5.7	Subácido							
2,905	62,5	77.0	5.8	Subácido	2.4	12.7	0,0	0.17	59.52	40.31	Vasa
2,895	63,5	73.5	5.8	Subácido							
2,885	64,5	75.2	5.8	Subácido	1.9	10.5	0,0	0.30	57.98	41.72	Vasa
2,875	65,5	74.5	5.9	Subácido							
2,865	66,5	82.0	5.9	Subácido	3.4	14.0	0,0	0.19	56.28	43.53	Vasa
2,855	67,5	78.5	5.9	Subácido							
2,845	68,5	83.6	5.9	Subácido	2.1	12.6	0,0	0.36	54.76	44.88	Vasa
2,835	69,5	83.2	5.9	Subácido							
2,825	70,5	77.8	5.9	Subácido	2.0	12.2	0,0	0.29	56.78	42.94	Vasa
2,815	71,5	78.4	5.9	Subácido							
2,805	72,5	82.2	6.1	Subácido	2.1	13.5	0,0	0.14	57.91	41.95	Vasa
2,795	73,5	84.0	6.8	Neutro							
2,785	74,5	82.2	7.0	Neutro	1.7	12.0	0,0	0.00	57.86	42.14	Vasa
2,775	75,5	82.1	7.0	Neutro	1.9	11.8	0,0	0.00	57.86	42.14	Vasa
	4,5	AMOSTRAS SEM MATÉRIA ORGÂNICA						3.05	61,76	35,19	Vasa
	16,5							1.28	66,14	32,58	Vasa

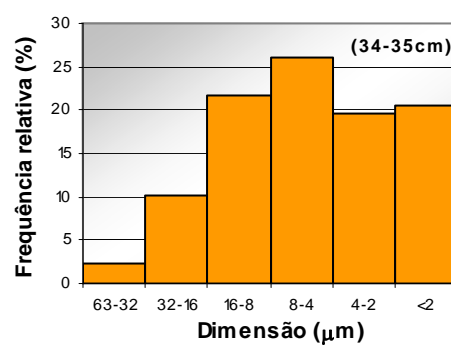
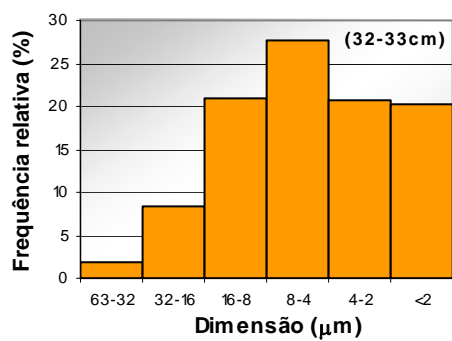
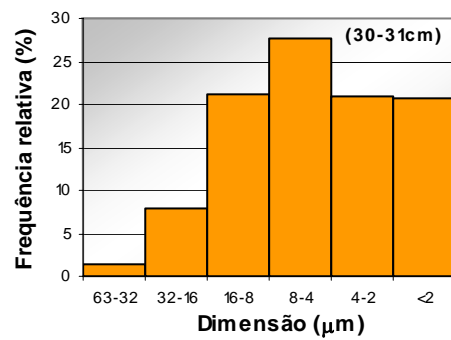
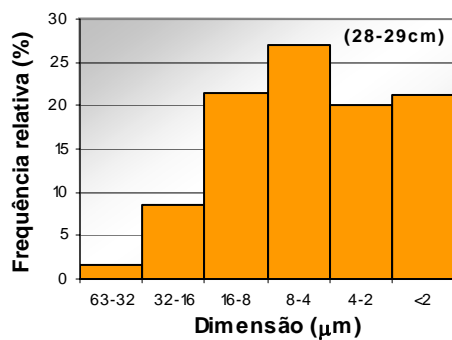
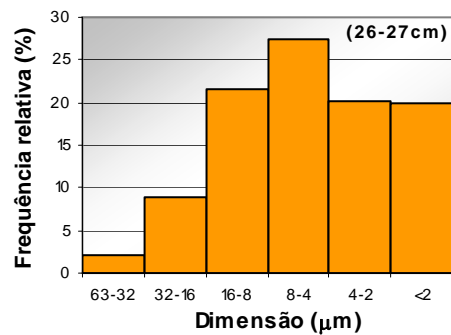
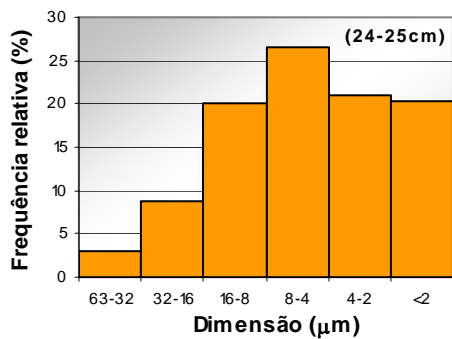
¹In Costa (1999).²Fleming (2000).

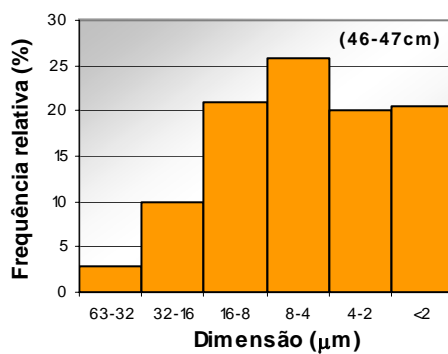
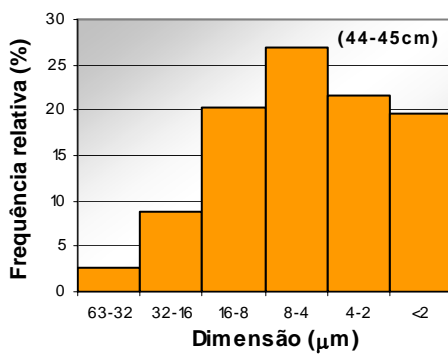
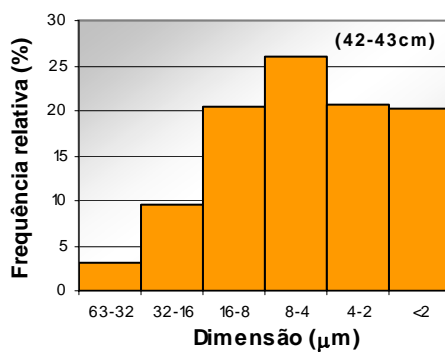
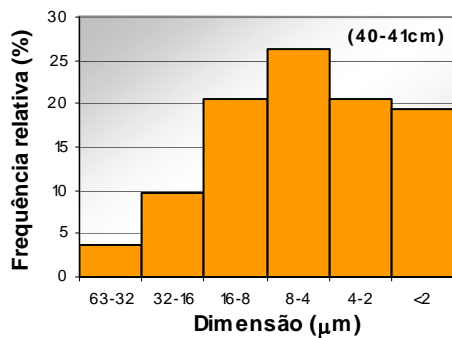
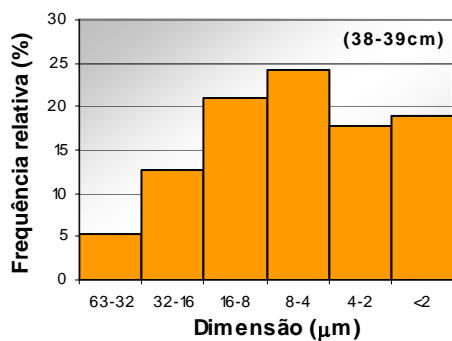
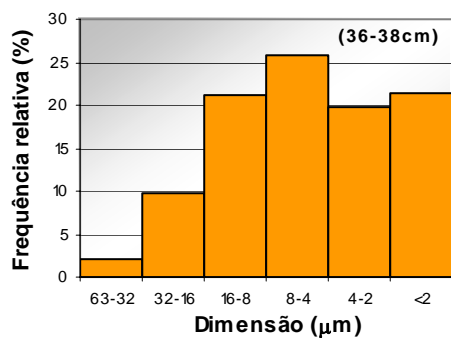
Anexo 6

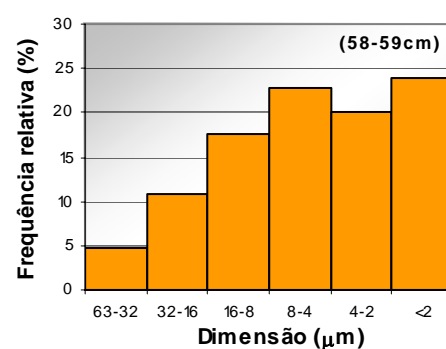
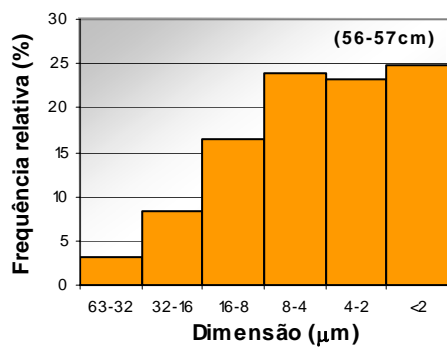
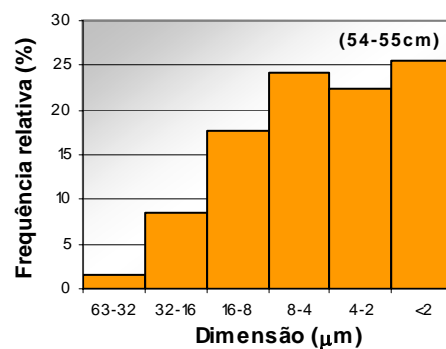
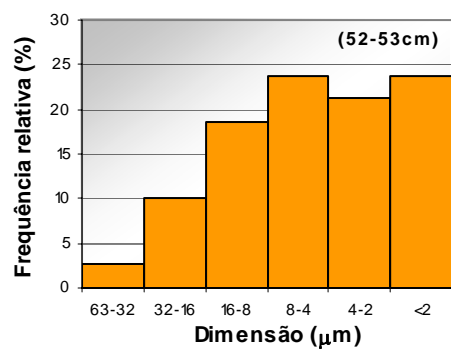
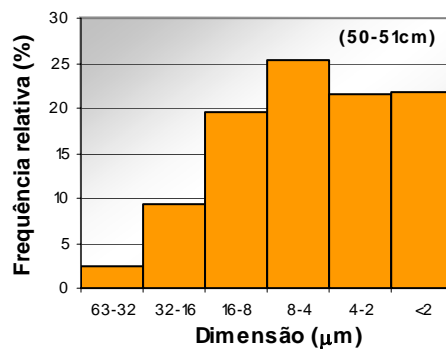
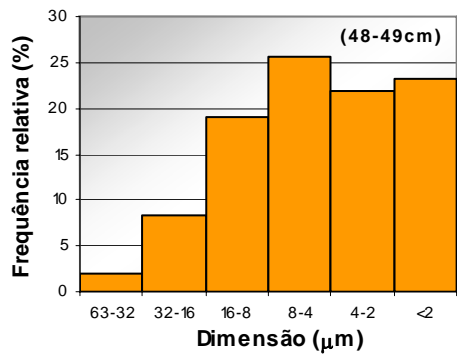
Distribuição granulométrica da fracção fina Histogramas Sondagem FAR4A

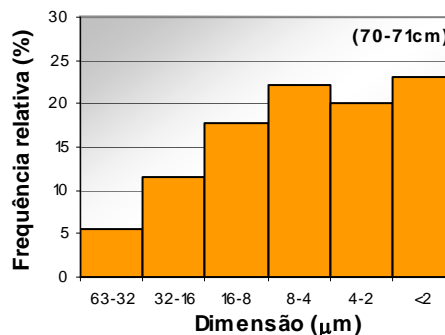
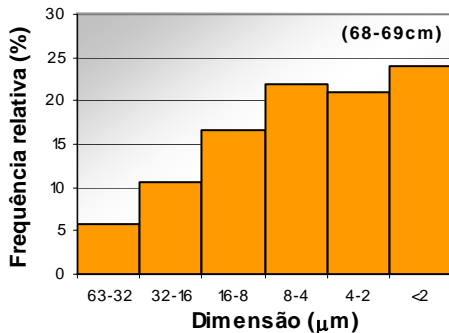
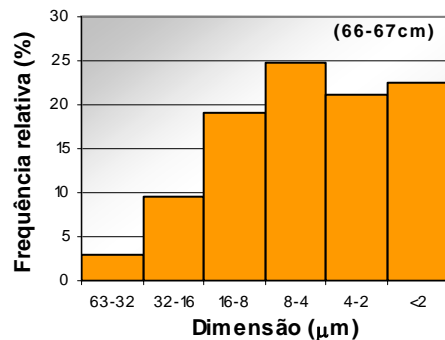
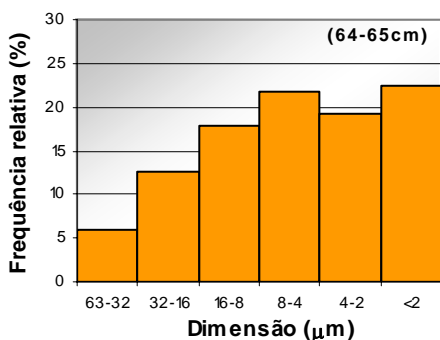
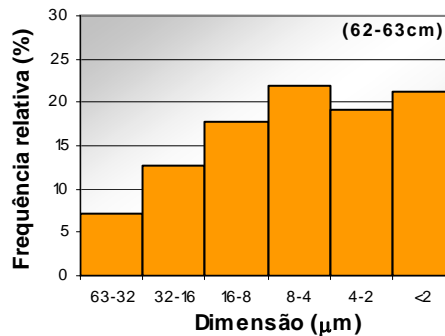
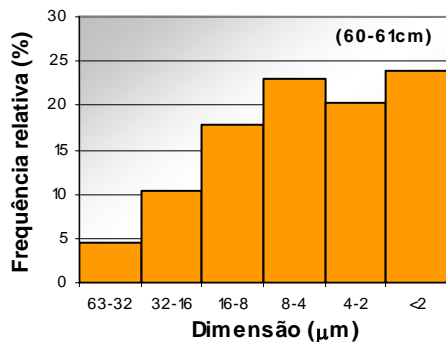


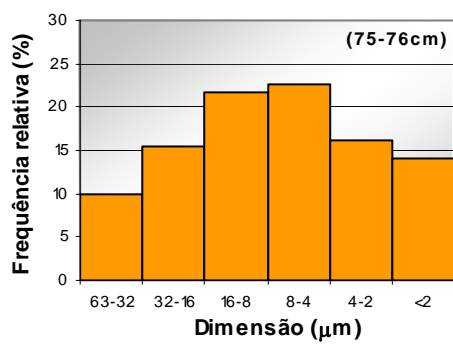
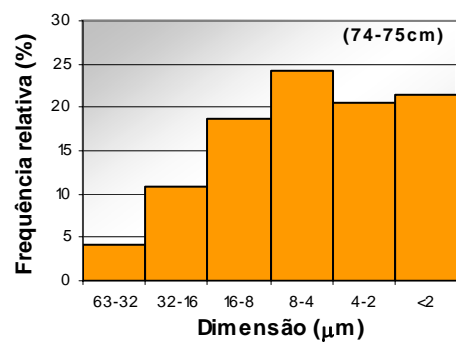
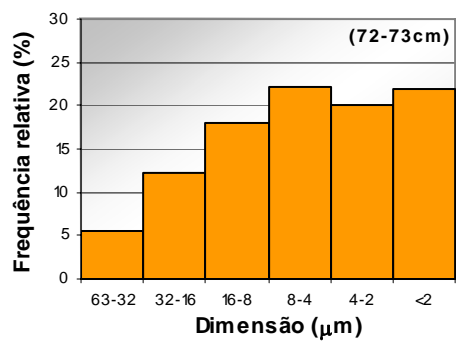






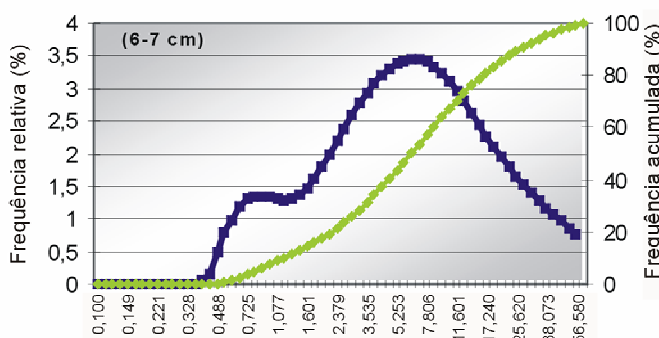
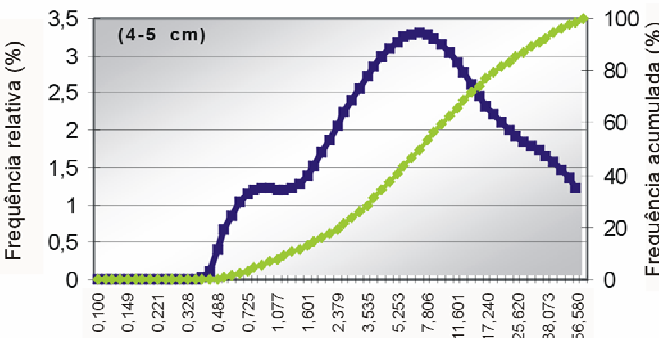
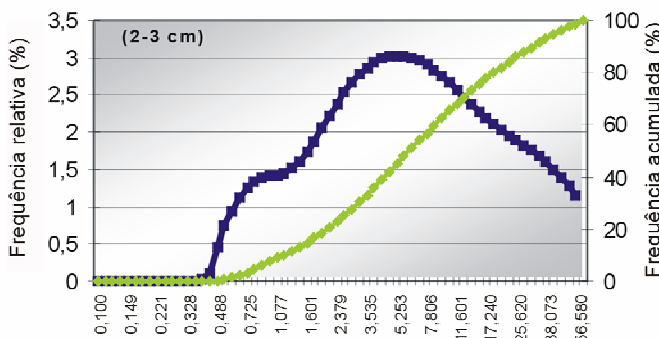
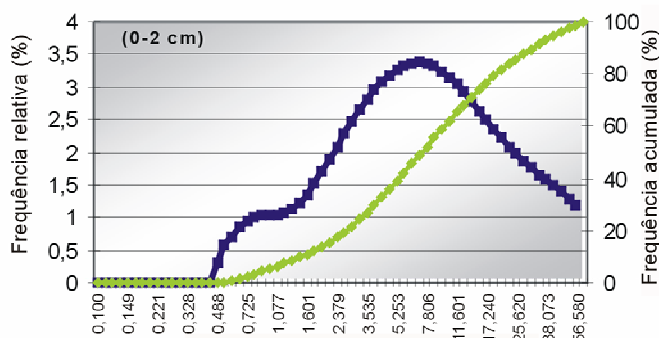




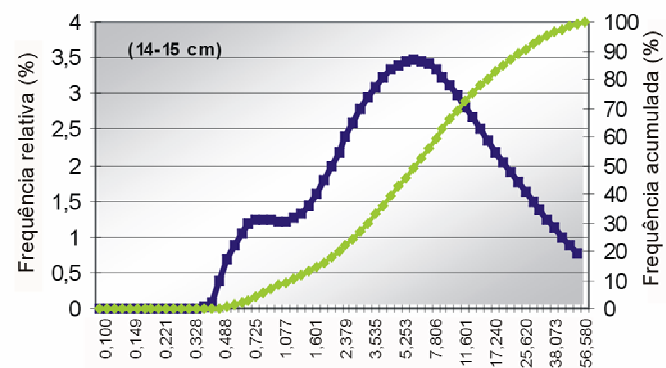
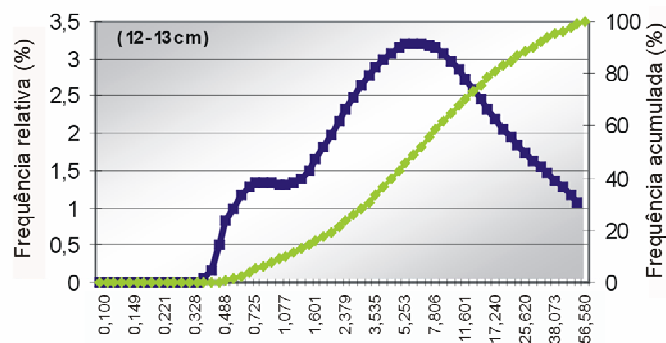
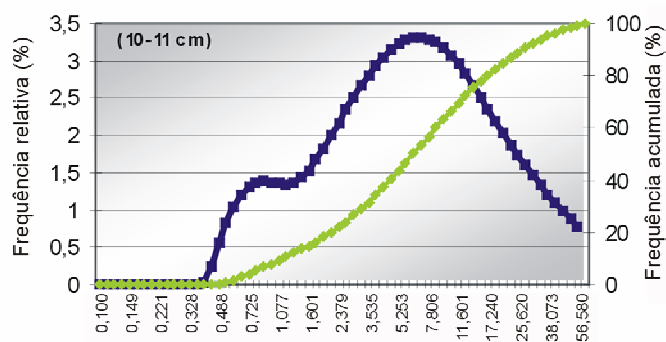
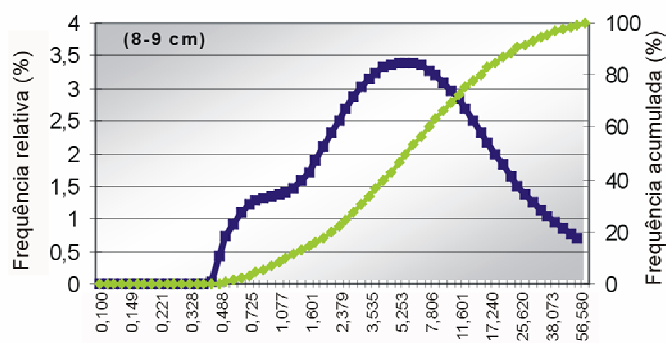


Anexo 7

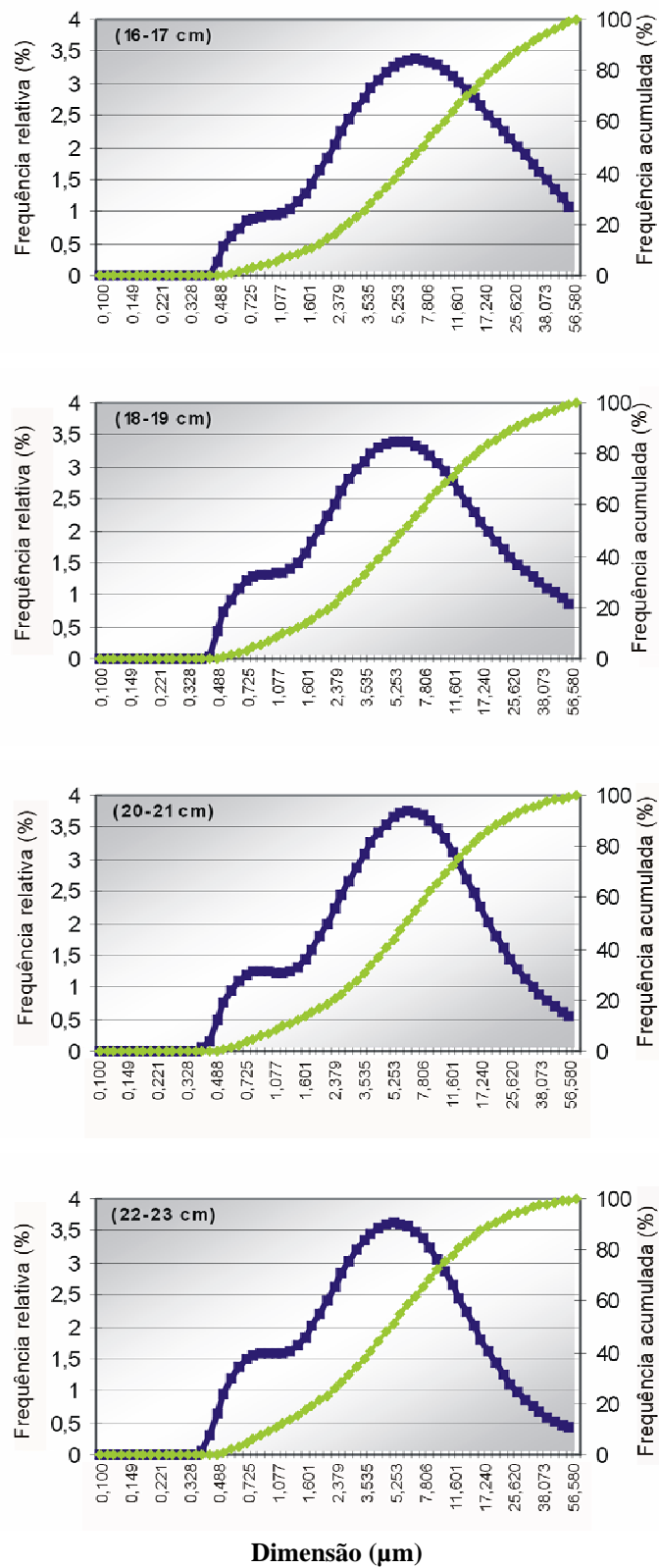
**Distribuição granulométrica da fracção fina
Curvas de frequência simples e acumulada
Sondagem FAR4A**

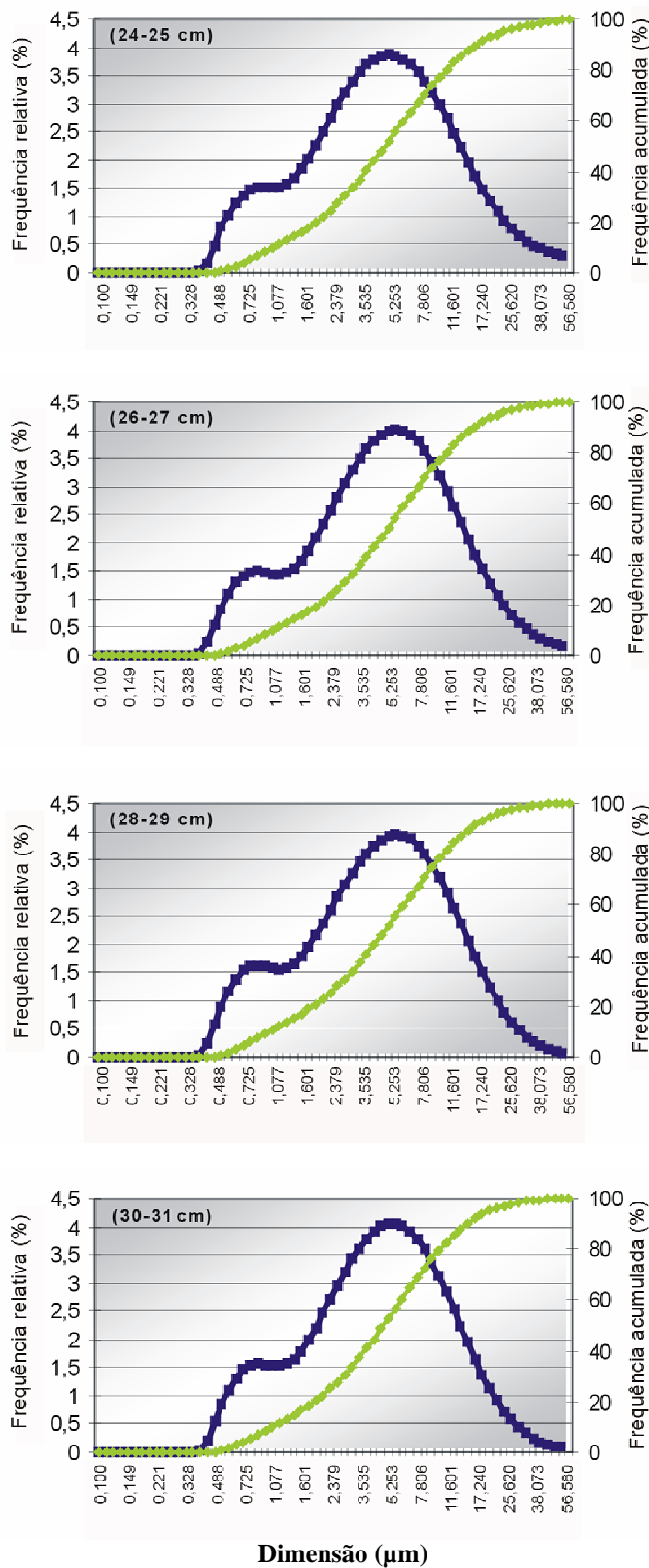


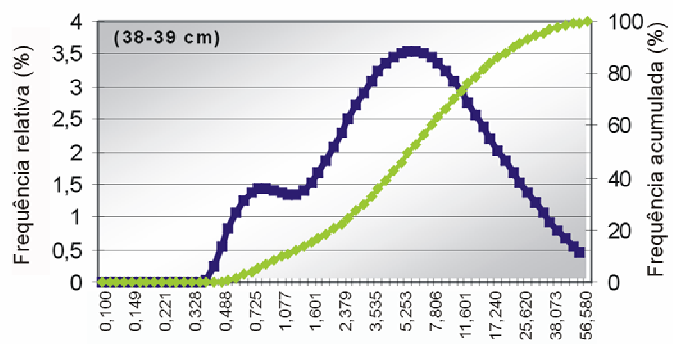
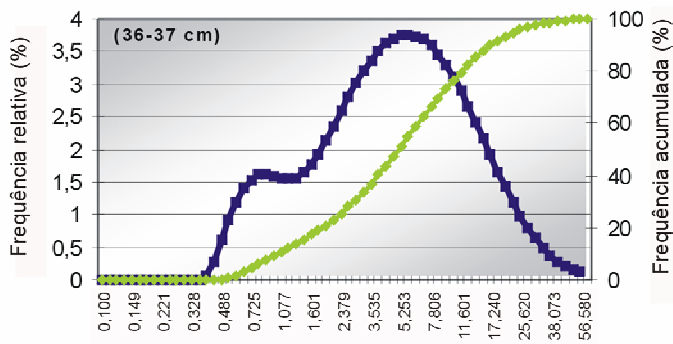
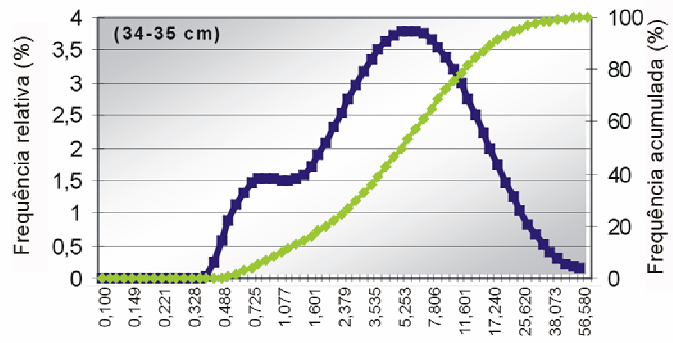
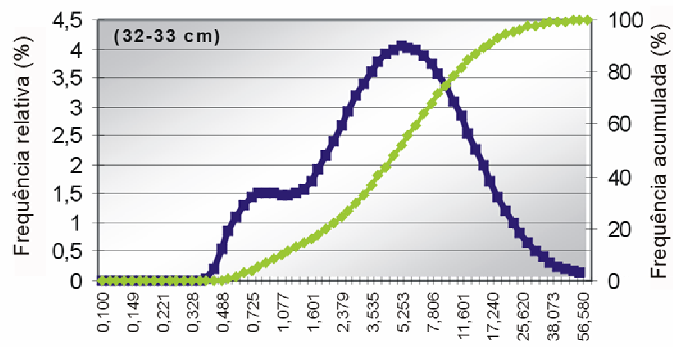
Dimensão (µm)



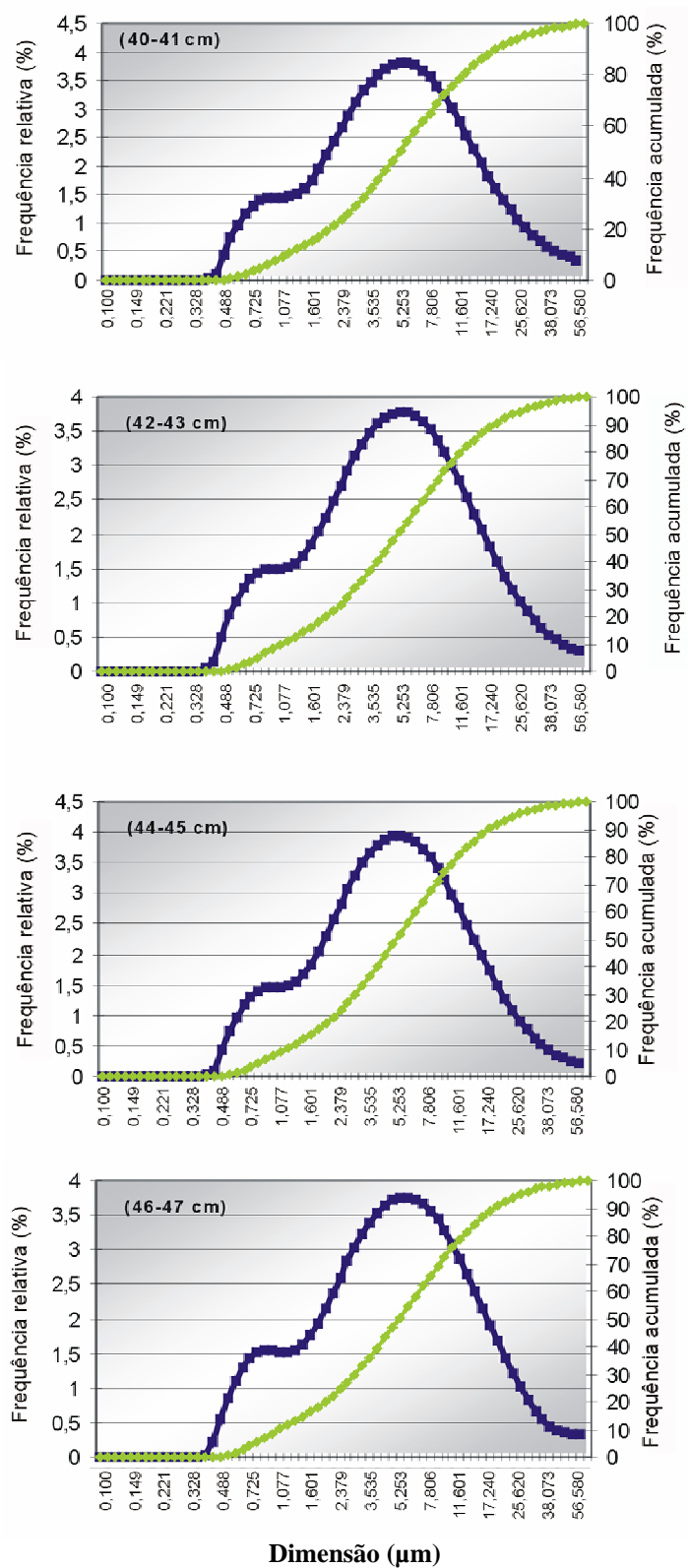
Dimensão (µm)

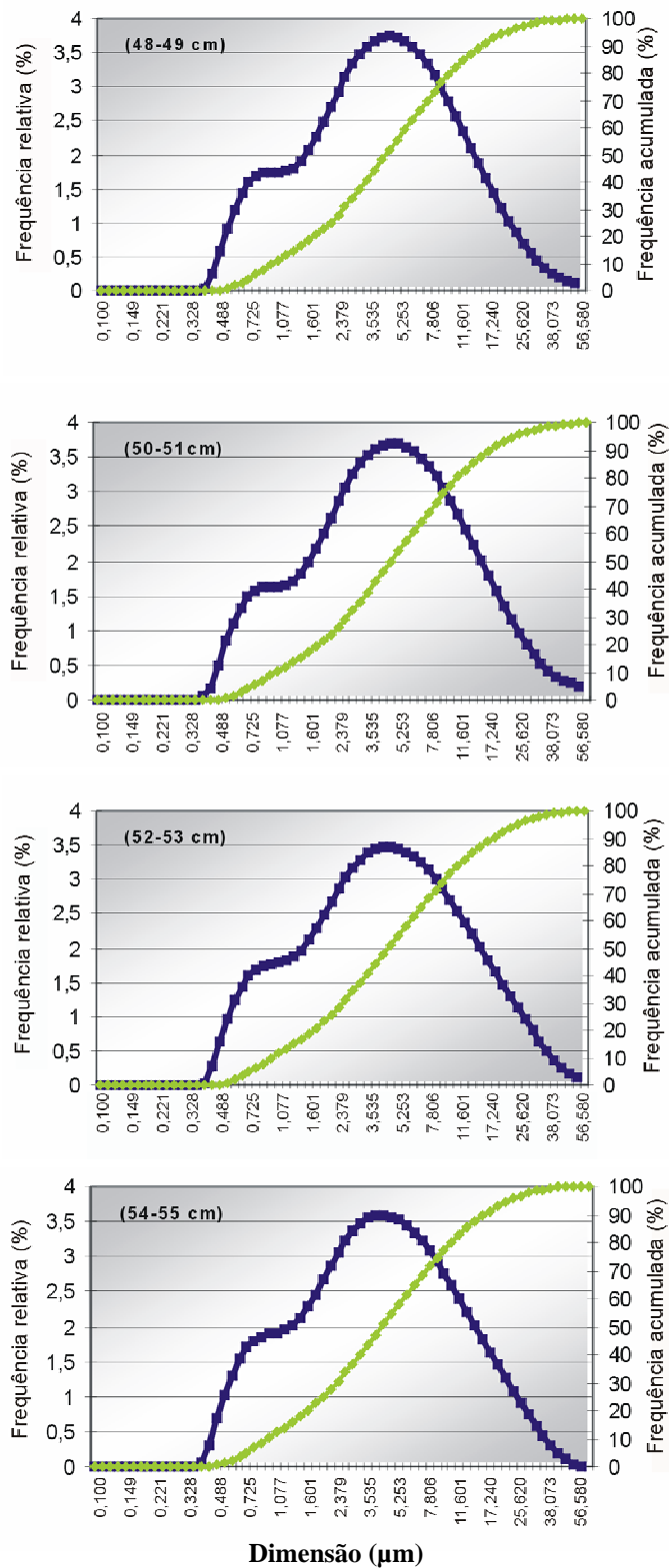


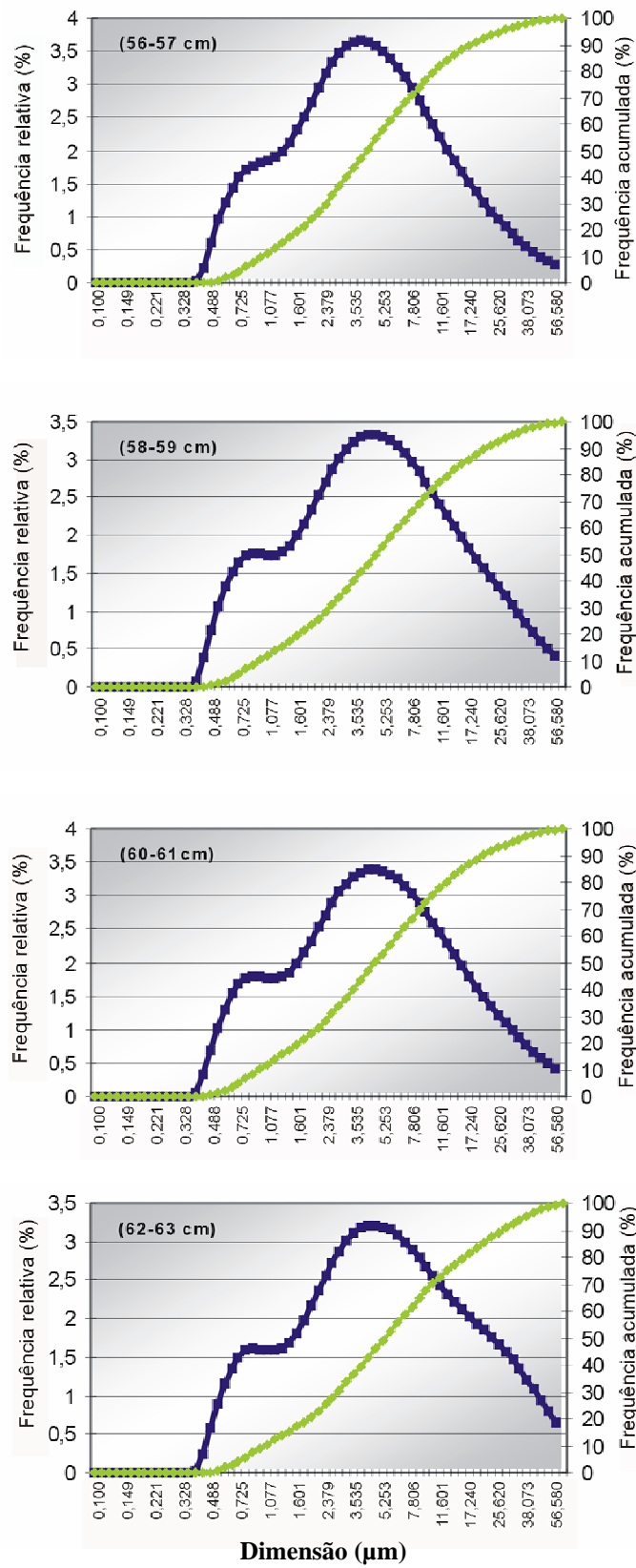


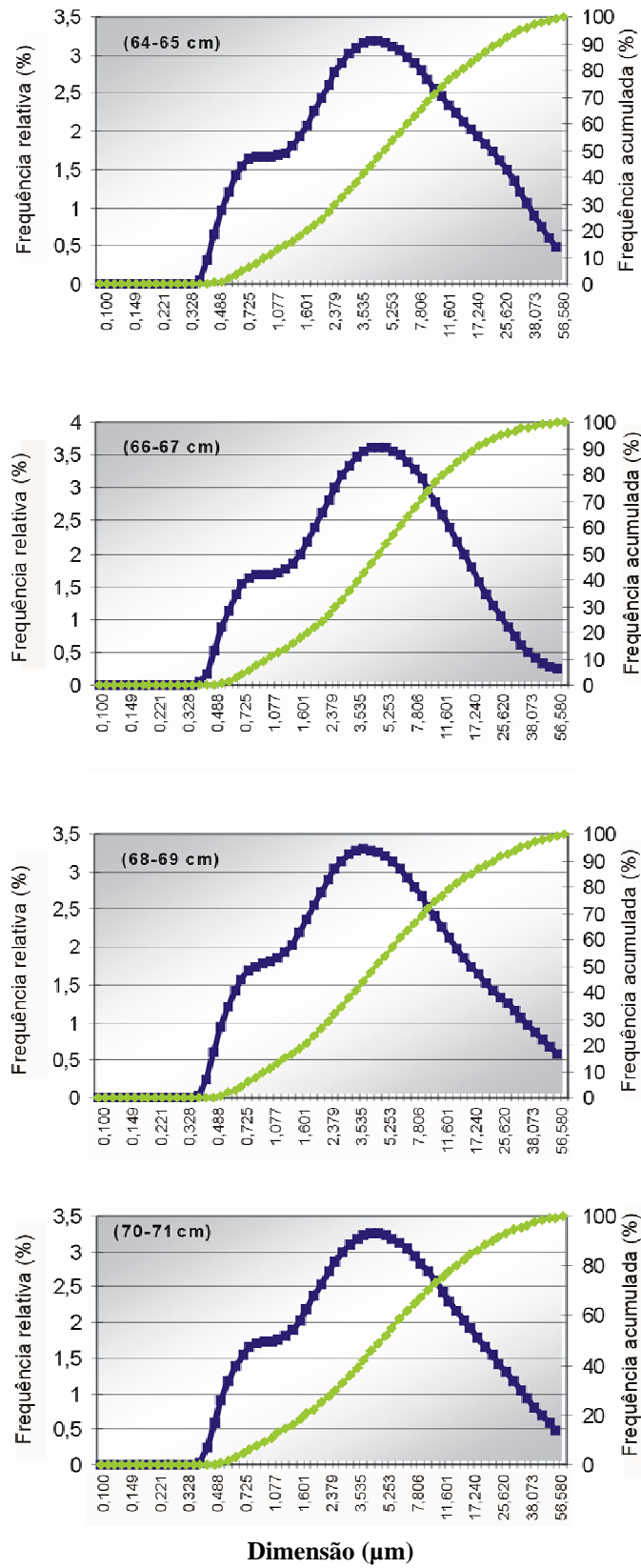


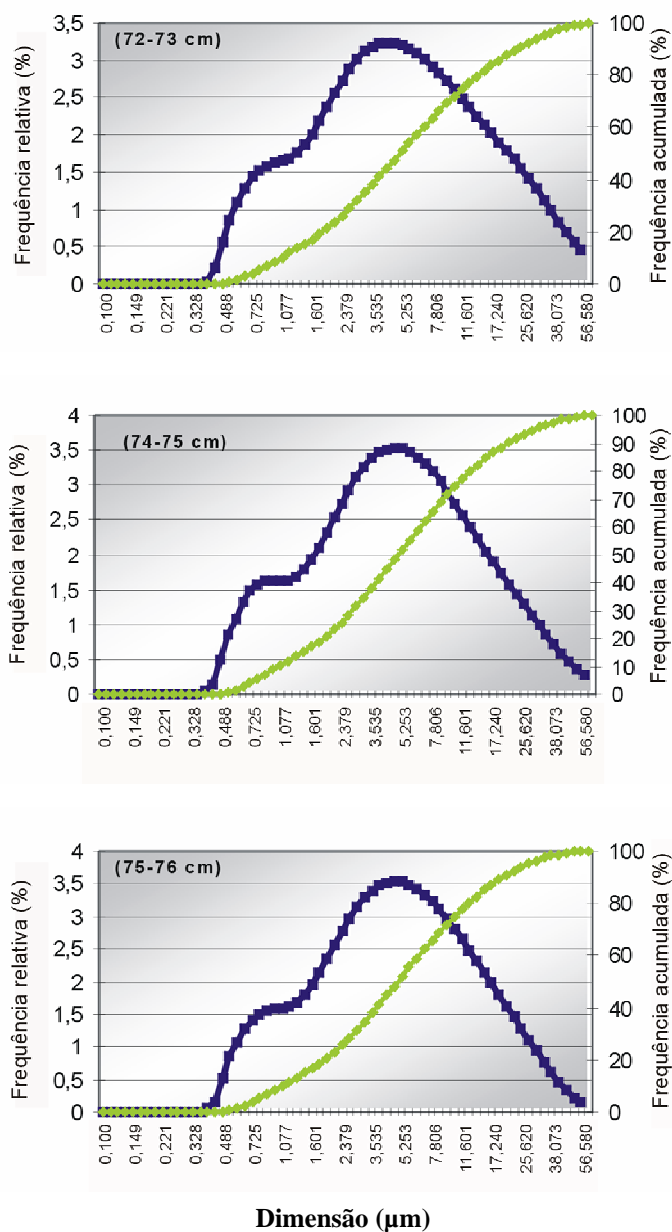
Dimensão (µm)





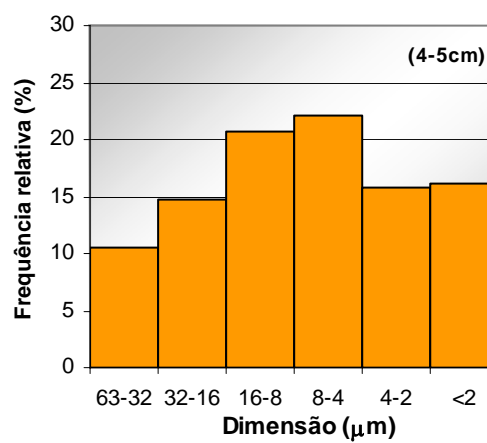
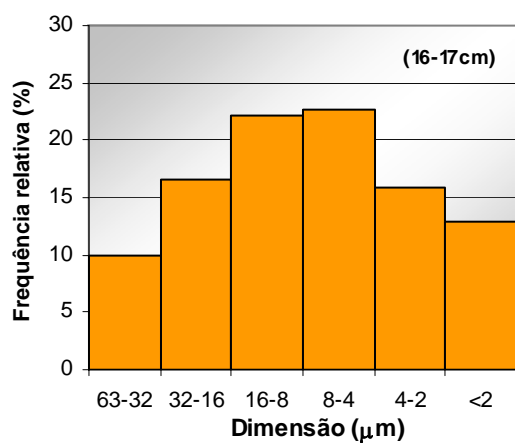




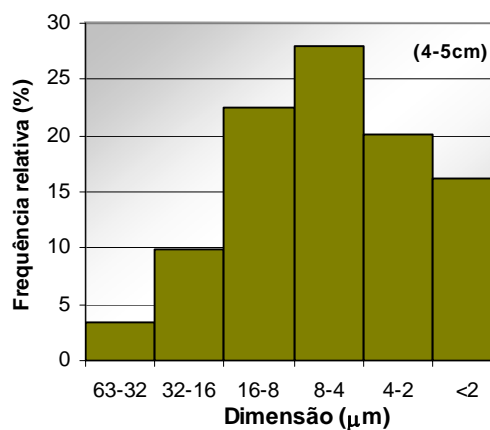
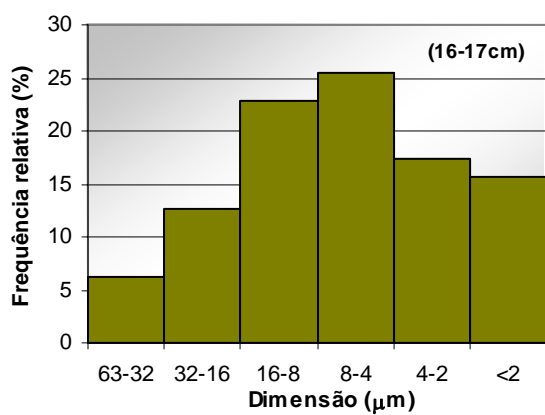


Anexo 8

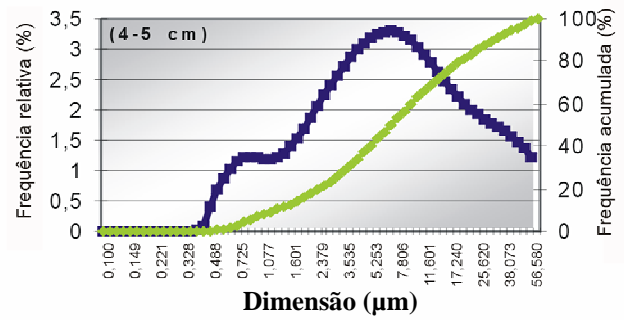
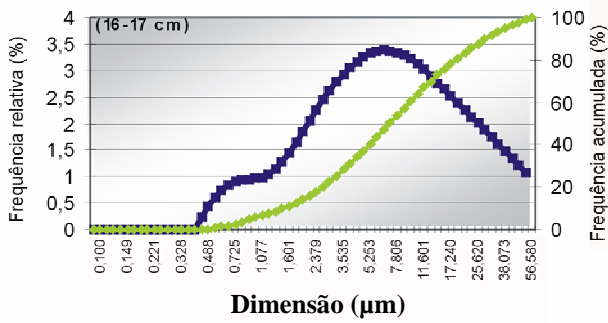
Distribuição granulométrica da fracção fina Comparação de resultados com e sem matéria orgânica



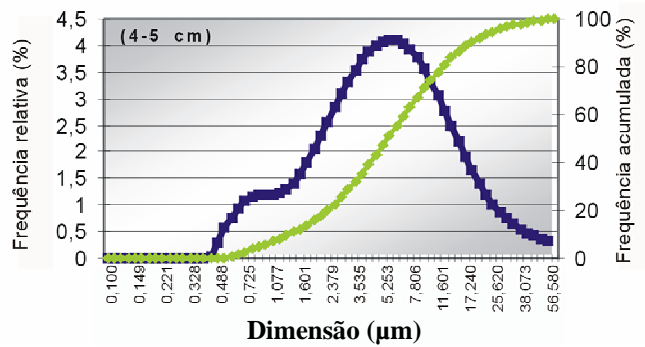
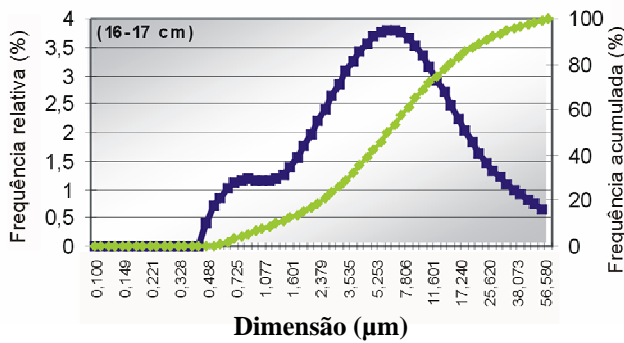
Distribuição granulométrica da fracção fina da amostra total
(Histogramas)



Distribuição granulométrica da fracção fina da amostra sem matéria orgânica
(Histogramas)



Distribuição granulométrica da fracção fina da amostra total
(Curvas de frequência relativa e acumulada)



Distribuição granulométrica da fracção fina da amostra sem matéria orgânica
(Curvas de frequência relativa e acumulada)

Anexo 9

Análise textural

Parâmetros da distribuição granulométrica de finos Sondagem FAR4A

Prof. Média (cm)	Classe modal		Bimodalidade	Mediana	
	Dimensão (μm)	Classe		Dimensão (μm)	Classe
1,0	8-4	Siltes finos	Não	7,896	Siltes finos
2,5	8-4	Siltes finos	Sim	6,665	Siltes finos
4,	8-4	Siltes finos	Sim	7,543	Siltes finos
6,5	8-4	Siltes finos	Sim	6,577	Siltes finos
8,5	8-4	Siltes finos	Não	6,114	Siltes finos
10,5	8-4	Siltes finos	Sim	6,692	Siltes finos
12,5	8-4	Siltes finos	Sim	7,093	Siltes finos
14,5	8-4	Siltes finos	Não	6,802	Siltes finos
16,5	8-4	Siltes finos	Não	8,093	Siltes finos
18,5	8-4	Siltes finos	Não	6,381	Siltes finos
20,5	8-4	Siltes finos	Não	6,376	Siltes finos
22,5	8-4	Siltes finos	Sim	5,206	Siltes finos
24,5	8-4	Siltes finos	Não	5,409	Siltes finos
26,5	8-4	Siltes finos	Não	5,235	Siltes finos
28,5	8-4	Siltes finos	Sim	5,030	Siltes finos
30,5	8-4	Siltes finos	Não	4,959	Siltes finos
32,5	8-4	Siltes finos	Não	5,061	Siltes finos
34,5	8-4	Siltes finos	Sim	5,346	Siltes finos
36,5	8-4	Siltes finos	Sim	5,116	Siltes finos
38,5	8-4	Siltes finos	Sim	6,000	Siltes finos
40,5	8-4	Siltes finos	Não	5,322	Siltes finos
42,5	8-4	Siltes finos	Não	5,199	Siltes finos
44,5	8-4	Siltes finos	Não	5,043	Siltes finos
46,5	8-4	Siltes finos	Sim	5,371	Siltes finos
48,5	8-4	Siltes finos	Sim	4,576	Siltes finos
50,5	8-4	Siltes finos	Sim	4,838	Siltes finos
52,5	<2	Argilas	Sim	4,640	Siltes finos
54,5	<2	Argilas	Sim	4,223	Siltes finos
56,5	<2	Argilas	Sim	4,298	Siltes finos
58,5	<2	Argilas	Sim	4,961	Siltes finos
60,5	<2	Argilas	Sim	4,823	Siltes finos
62,5	8-4	Siltes finos	Sim	5,498	Siltes finos
64,5	<2	Argilas	Sim	5,400	Siltes finos
66,5	8-4	Siltes finos	Sim	4,838	Siltes finos
68,5	<2	Argilas	Sim	4,742	Siltes finos
70,5	<2	Argilas	Sim	5,042	Siltes finos
72,5	8-4	Siltes finos	Sim	5,203	Siltes finos
74,5	8-4	Siltes finos	Sim	5,024	Siltes finos
75,5	8-4	Siltes finos	Sim	5,052	Siltes finos

Anexo 10

Tabela de resultados da análise geoquímica Sondagem FAR4

Análises químicas de amostras da sondagem FAR4.
Elementos maiores expressos em % na forma de óxidos e elementos traço expressos em mg/kg

Prof.média (cm)	1,0	3,0	4,5	7,5	10,5	13,5	15,5	17,5	19,5	22,5	25,5	28,5	33,5	37,5	41,5	47,0	51,5	57,0	62,5	67,0	73,0	78,5
SiO₂	43,53	47,79	44,21	44,37	44,58	45,12	46,92	49,42	46,54	47,26	47,97	48,00	49,97	48,86	50,68	48,58	49,60	49,80	50,89	50,09	50,32	51,23
TiO₂	1,16	1,17	1,23	1,16	1,16	1,24	1,37	1,36	1,21	1,14	1,15	1,23	0,97	1,66	1,37	1,80	1,43	1,86	1,33	1,71	1,83	1,09
Al₂O₃	17,93	18,57	18,71	17,94	18,12	19,37	19,06	19,12	18,40	18,09	18,61	18,65	18,80	19,86	20,12	20,39	19,59	19,92	19,67	19,37	19,86	20,30
Fe₂O₃ t	7,35	7,74	7,28	6,96	7,65	7,36	7,93	6,37	7,60	7,28	6,68	7,52	6,44	8,95	7,06	8,70	7,57	7,24	5,68	6,83	6,15	6,37
MnO	0,09	0,09	0,08	0,06	0,12	0,08	0,03	0,02	0,02	0,03	0,07	0,19	0,09	0,17	0,11	0,11	0,07	0,04	0,02	0,05	0,04	0,02
MgO	1,58	1,56	1,35	1,33	1,40	1,30	1,18	1,27	1,13	1,33	1,43	1,45	1,34	1,47	1,43	1,51	1,57	1,41	1,38	1,40	1,57	1,39
CaO	0,61	0,63	0,60	0,57	0,50	0,59	0,56	0,34	0,92	0,37	0,68	0,65	0,70	0,43	0,39	0,41	0,52	0,59	0,47	0,57	0,61	0,63
Na₂O	2,82	3,04	2,83	2,81	2,88	2,75	2,09	2,19	2,18	2,19	2,22	2,19	2,11	2,37	2,01	2,18	2,22	2,16	2,07	2,31	2,29	2,23
K₂O	2,03	2,17	2,29	2,32	2,14	2,10	2,38	2,41	2,52	2,51	2,24	2,45	2,14	2,12	2,34	2,10	2,68	2,25	2,64	2,18	2,36	2,63
LOI	22,90	21,23	21,43	22,48	21,46	20,08	18,48	17,51	19,47	19,81	18,96	17,67	17,44	14,10	14,50	14,23	14,74	14,72	15,85	15,47	14,96	14,10
Cu mg/kg	136	126	111	117	101	86	69	76	66	64	52	46	46	46	45	42	41	43	40	43	40	51
Zn mg/kg	201	202	185	196	204	177	129	168	185	158	175	184	103	138	77	146	104	138	87	162	154	67
Co mg/kg	36	23	18	19	22	32	22	14	23	40	26	33	18	19	21	15	28	17	23	17	14	30
Pb mg/kg	73	73	77	56	65	64	36	43	48	103	49	32	26	42	26	48	13	55	171	65	58	104

Observações: Elementos maiores: padrões de referência MAG-1 e SCo-1 (Geostandards Newsletter, Julho 1984).

Elementos menores: padrões de referência MAG-1, SCo-1, JSD-3 e DR-N (Geostandards Newsletter, Julho 1984).

Erro analítico: 5% < elementos maiores > 3%; 10% < Mg > 6%; 5% < Cu > 3%; Zn < 3%; 10% < Pb e Co > 3%.

Métodos de análise: SiO₂ – Gravimetria. Elementos maiores e menores - Espectrometria de Absorção Atômica.

Anexo 11
Guião de Campo
SAPAL DE CORROIOS



À descoberta do sapal e zonas envolventes...



Figura 1 – Localização das paragens.

Material (*)

- ▷ Caderno de campo
- ▷ Lápis/lapiseira
- ▷ Tabela de marés
- ▷ Bússula
- ▷ Mapa topográfico
- ▷ Fita métrica metálica
- ▷ Sacos de plástico
- ▷ Marcador
- ▷ Estacas
- ▷ Fio grosso
- ▷ Máquina fotográfica
- ▷ Amostrador

* Sugere-se a organização dos alunos em grupos de 4 ou 5 elementos.



O Sapal de Corroios

O sapal de Corroios, com 55ha [1], integra a Reserva Ecológica do Concelho do Seixal, criada pelo Decreto-Lei 93/90 de 19 de Março, com a finalidade de proteger os ecossistemas e salvaguardar valores económicos, ecológicos e sociais [2].

A sua elevada produtividade primária, associada à capacidade de acumulação de nutrientes e à baixa profundidade das águas, fazem deste ecossistema um importante local de nidificação e crescimento de juvenis de um considerável número de peixes e aves.

O sapal de Corroios (figura 2) localiza-se no interior da Baía do Seixal, na margem esquerda do estuário interior do Tejo. Esta baía, com uma área de cerca de 482ha [3], abrigada por uma extensa língua de areia (restinga do Alfeite) apresenta condições de baixo hidrodinamismo, permitindo a deposição de sedimentos finos (lodosos), formando extensas manchas de sapal, como é exemplo o Sapal de Corroios.



Figura 2 – Aspectos do sapal de Corroios e zonas envolventes.

Investiga e regista:

▷ Identifica no mapa topográfico a Baía do Seixal, a restinga do Alfeite, as manchas de sapal de Corroios, os esteiros do rio Judeu e do rio Coina.

▷ Justifica a existência de extensas manchas de sapal na zona NW da Baía do Seixal, em contraste com a restante área.

▷ Identifica o elemento natural que promove, nesta baía, as condições propícias à formação do sapal.

▷ Que factor natural terá estado na origem da escolha do esteiro do rio Coina para a instalação de um importante núcleo industrial?



1ª Paragem - O Moinho de Maré de Corroios

Os moinhos de maré construídos nos esteiros do concelho do Seixal, a partir do séc. XV, faziam parte do importante centro moageiro do estuário do Tejo [4].

Para além das condições naturais, favoreceram a edificação de tantos moinhos [4]:

▷ a proximidade de Lisboa (grande centro de consumo de pão e ponto de partida de numerosas embarcações para as novas colónias);

▷ a proximidade dos fornos de biscoito de Vale de Zebro (produção de biscoitos que abasteciam as naus que saíam de Lisboa);

▷ a existência de bons transportes fluviais (trazendo os cereais para as moendas e o escoamento das farinhas).

A vantagem da energia das marés

Este tipo de edifícios permite obter um rendimento superior ao proporcionado pelos moinhos de vento ou pelas azenhas, uma vez que o seu funcionamento é regular (numa média de 8h/dia na vazante), não dependendo das irregularidades do vento ou dos caudais fluviais.

O assoreamento da caldeira do moinho

A caldeira, com cerca de 2m de profundidade e uma capacidade de armazenamento de cerca de 10000m³, permitia a moagem de 40 sacos de farinha numa vazante [1]. Actualmente, o intenso assoreamento diminuiu essa capacidade drasticamente, não permitindo o funcionamento do moinho (figura 3).

O portinho do Rouxinol

Tal como outros na Baía do Seixal, este portinho, hoje reconstruído em alvenaria (figura 3), foi importante para o escoamento dos produtos da região e transporte diário de pessoas para Lisboa, até meados do séc. XX.



Figura 3 – Portinho, caldeira e moendas do moinho de maré de Corroios e trabalho do moleiro.

Investiga e regista:

- ▷ Data da edificação, fim da actividade e princípios de funcionamento do Moinho de Maré.
- ▷ Local de acostagem das embarcações dos moinhos.
- ▷ Causas do assoreamento da caldeira.
- ▷ Causas do abandono dos portinhos.



Caldeira; vala principal de abastecimento da caldeira; comporta; moendas; portinho.



Extracto da Folha 442 da Carta Militar de Portugal (1:25 000) editada em1993, do Instituto Geográfico do Exército.



2ª Paragem – ETAR da Quinta da Bomba

A ETAR da Quinta da Bomba, instalada em pleno sapal de Corroios (figura 4), iniciou o seu funcionamento em 1994, recebendo águas pluviais e águas residuais domésticas dos aglomerados urbanos adjacentes, dos concelhos do Seixal e Almada.

Com o grande crescimento populacional da zona de Corroios, especialmente a partir dos anos 80, era urgente proceder ao tratamento das águas domésticas, que eram descarregadas directamente na zona de sapal.

Com o objectivo de remover o máximo de poluentes das águas, para que o impacte ambiental seja minimizado, a ETAR da Quinta da Bomba utiliza um tratamento microbiológico das águas em dois leitos percoladores (figura 4).

MELHORIAS NO AMBIENTE:

- Três anos depois da instalação da ETAR, os flamingos voltaram ao Sapal de Corroios.
- Regresso de certas espécies de peixes.
- Na piscicultura há menor necessidade de oxigenação nos tanques.



Figura 4 – Enquadramento da ETAR no sapal de Corroios.

Investiga e regista:

- ▷ Assinala no mapa topográfico o local onde te situas.
- ▷ Etapas principais de funcionamento da ETAR.
- ▷ Área geográfica de colecta das águas.
- ▷ Questiona a localização da ETAR, no interior da Baía do Seixal.



Panorâmica geral; tanques de decantação e leitos percoladores



3ª Paragem – Piscicultura embargada

Já no caminho de terra batida de acesso ao sapal, logo após o fim do muro da Quinta da Bomba, entrar por entre a vegetação, em direcção ao sapal.

Com o objectivo de construir tanques de engorda artificial de peixes, como ampliação das instalações da piscicultura Esperança, foram iniciadas obras em 2001, numa área de 17,3ha [1]. Embora licenciada pelo Ministério do Ambiente, levantou grande polémica junto da população e mais tarde a obra foi embargada, impedindo a continuação da construção dos tanques (figura 5), num local onde já nos anos 50/60 existia um viveiro de peixes (viveiro do Felisberto) [2].



Figura 5 – Aspecto da zona de sapal intervencionada.

Investiga e regista:

- ▷ Assinala no mapa topográfico o local onde te situas.
- ▷ Identifica aspectos da intervenção antrópica no sapal.
- ▷ Debate os prós e contras da construção dos tanques, numa perspectiva de desenvolvimento sustentável.



Panorâmica geral do sapal; alterações na morfologia do sapal.



4ª Paragem – Sapal de Corroios – património ornitológico

Sobre as margens dos tanques da piscicultura, caminhando até ao interior do sapal, este é um local privilegiado para observar as aves que habitam no sapal. As melhores condições de observação encontram-se a partir de Outubro e em baixa-mar.

O sapal de Corroios, situado na zona mais abrigada da Baía do Seixal, possui águas calmas e de baixa profundidade, onde os fundos lodosos ricos em nutrientes ficam a descoberto na vazante.

No sapal a vida animal é intensa, quer nos lodos, onde abundam os seres bentónicos, como os anelídeos e moluscos, quer nas águas, onde predominam os peixes e crustáceos.

Este grandioso viveiro natural é um local privilegiado para as aves, que em período de reprodução e invernada, encontram no sapal alimento e abrigo, constituindo importante património ornitológico.

É no Inverno que as aves migradoras do Norte da Europa, fugindo aos frios rigorosos, se refugiam neste oásis ornitológico, das quais se distinguem (figura 6): o alfaiate (A)*, o maçarico-de-bico-direito (B), o maçarico-real (C), perna-vermelha comum (D), tarambola-cinzenta (E), pilrito-comum (F) e perna-longa (G)[3].



* Símbolo da Reserva Natural do Estuário do Tejo, com 60% da população mundial a residir neste estuário, em época de invernada.



Figura 6 – Aves a observar no sapal de Corroios.

Investiga e regista:

- ▷ Assinala no mapa topográfico o local onde te situas.
- ▷ Tenta identificar as aves aquáticas que avistares, com o auxílio do Guia de Aves Aquáticas editado pelo Ecomuseu do Seixal [5].



Panorâmica geral do sapal; aves.

5ª Paragem – Sapal – coberto

No caminho principal, um pouco antes do portão da base naval, entra-se num caminho à direita.

Portinho do “Malaverde”

No seio do sapal meandrizado, encontram-se instalados vários pontos de acostagem de pequenas embarcações de pesca, em construção palafítica. Apesar de só poderem ser utilizadas na preia-mar, estes portinhos encontram-se particularmente abrigados e os pescadores usufruem da abundância em peixe e marisco que caracteriza os canais do sapal.

Vegetação do sapal

Os sapais são colonizados por vegetação halófitas, apresentando uma zonação característica, determinada essencialmente pelo tempo de emersão. O coberto vegetal constitui um factor condicionante da evolução do sapal, uma vez que retém eficazmente os sedimentos trazidos em suspensão pelas correntes de maré.

O baixo sapal é colonizado por *Spartina marítima* (A).

No alto sapal encontram-se: *Arthrocnemum fruticosum* (B), *Halimione portucaloides* (C), *Suaeda vera* (D) e *Inula crithmoides* (E) [1] [6] (figura 7).

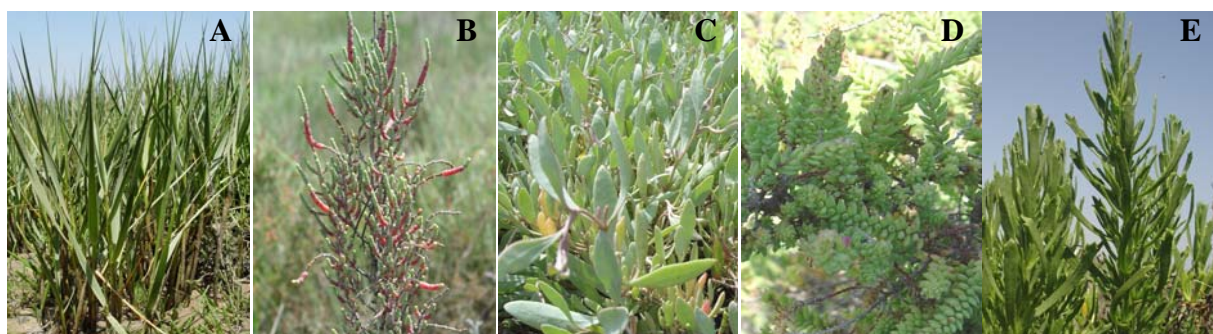


Figura 7 – Plantas identificadas no sapal de Corroios.

Investiga e regista:

- ▷ Assinala no mapa topográfico o local onde te situas.
- ▷ Identifica zonas de alto sapal, baixo sapal e raso de maré.
- ▷ Regista o estado da maré, com a ajuda da tabela de marés.
- ▷ Com a fita métrica, duas estacas e um fio, traça um transecto perpendicular à margem do sapal, com cerca de 10m. Identifica as plantas halófitas interceptadas, com a ajuda do anexo do guião registando a sua posição no transecto estabelecido.

- ▷ Selecciona um local do interior do alto sapal e faz a recolha de sedimentos, depois de retiradas as plantas e as raízes maiores. Se houver possibilidade, recolhe os primeiros 20 a 40cm superficiais.



Panorâmica geral do sapal; canais de maré; raso de maré limite entre o alto e baixo sapal; coberto vegetal.



6ª Paragem – Sapal - Morfologia

Cerca de 100m depois do muro da Base Naval do Alfeite deixar de estar paralelo ao caminho principal, um outro caminho sobe no sentido inverso, dando acesso a uma zona alta, onde se pode ter acesso à melhor panorâmica do sapal, obtida da margem Oeste da Baía do Seixal (figura 8).

O sapal desenvolve-se sobre sedimentos lodosos e é recortado por inúmeros canais de maré meandrizados.

Estes canais, contrariamente aos canais fluviais, não são formas erosivas, mas formas remanescentes da acreção lateral e vertical dos bancos lodosos que os limitam.



Figura 8 – Aspecto da morfologia dos canais de maré no sapal de Corroios.

Investiga e regista:

- ▷ Assinala no mapa topográfico o local onde te situas.
- ▷ Descreve a morfologia típica do sapal.
- ▷ Infere acerca da maturidade deste sapal.



Panorâmica geral do sapal; canais de maré.



7ª Paragem – Restinga do Alfeite – face norte (Ponta do Mato)

A restinga do Alfeite, corresponde a um corpo arenoso com cerca de 2,5km, com a sua extremidade W enraizada nas arribas de Cacilhas, protegendo a enseada do Seixal.

Na sua face norte, apresenta uma praia estuarina de areias lavadas, bioclásticas, ao contrário da sua face sul abrigada, que contacta com os sedimentos lodosos dos extensos sapais e rasos de maré.

A instalação da restinga, há cerca de 500 anos [7], assim como a sua evolução, está associada à ondulação de geração local.

Em condições de preia-mar, a praia estuarina encimada por pinheiros é batida pelas ondas geradas por ventos dominantes no Mar da Palha.

Em baixa-mar (especialmente de águas vivas), as águas afastam-se da praia dezenas de metros (figura 9), deixando a descoberto um fundo lodoso rico em moluscos e anelídeos, onde a presença dos pescadores e mariscadores é frequente.



Figura 9 – Aspecto da praia estuarina em situação de baixa-mar de águas vivas.

Investiga e regista:

- ▷ Assinala no mapa topográfico o local onde te situas.
- ▷ Morfologia da praia estuarina na parte norte da restinga.
- ▷ Morfologia longitudinal da restinga.
- ▷ Recolhe areias da praia para posterior observação à lupa.



Panorâmica geral das cristas da restinga e da praia estuarina.



8ª Paragem – Restinga do Alfeite – face sul (Ponta dos Corvos)

A instalação desta barreira arenosa originou condições de baixo hidrodinamismo no interior da Baía do Seixal, permitindo a deposição de sedimentos finos, dando lugar ao desenvolvimento de zonas de sapal.

Moinhos de Maré

Em condições privilegiadas de amplitude de marés e de acessibilidade, construíram-se entre os séculos XVI e XVIII, quatro moinhos de maré neste local (figura 10).

Seca do bacalhau

Na face sul da restinga instalaram-se, no início do séc. XX, estabelecimentos de seca do bacalhau, onde chegavam as embarcações carregadas de pescado, proveniente do Atlântico Norte [8] e [9].

As centenas de toneladas de bacalhau trazidas em cada viagem, eram lavadas no interior de amplos edifícios, sendo depois colocados a secar naturalmente sobre mesas de arame.

A actividade que deu trabalho a mais de 600 trabalhadores na década de 50, chegou até 1992 [2], ano em se secou bacalhau pela última vez neste local.



Figura 10 – Moinhos de maré na Ponta dos Corvos.

Investiga e regista:

- ▷ Assinala no mapa topográfico o local onde te situas.
- ▷ Identifica os quatro moinhos da Ponta dos Corvos.
- ▷ Indica outra vantagem da localização privilegiada destes moinhos.



Panorâmica geral do interior da baía, vestígios das mesas de seca, edifício e zona de acostagem.



9ª Paragem – Piscicultura Esperança

No sapal de Corroios, a partir da década de 40, iniciou-se a actividade da piscicultura por métodos extensivos, com a construção de dois grandes viveiros, com uma área de cerca de 25ha. Nestas explorações, sem oxigenação das águas ou alimentação artificial, o peixe era aprisionado em albufeiras, escavadas no sapal, onde crescia e era depois capturado, [1].

Em 1993, iniciou-se um novo sistema de piscicultura por método semi-intensivos, com a construção de 11 tanques, onde as águas são renovadas regularmente nas marés vivas ou bombeadas do esteiro e onde crescem os alevins (peixes “bebés”) introduzidos, oriundos dos tanques de pré-engorda, no interior do edifício.

Investiga e regista:

- ▷ Assinala no mapa topográfico o local onde te situas.
- ▷ Há algum tratamento das águas provenientes do vazamento dos tanques?
- ▷ Que tipo de peixe é aqui criado?
- ▷ Há introdução de novas espécies no sapal?



Panorâmica geral dos tanques de pré-engorda (interiores) e engorda (exteriores).

Referências bibliográficas

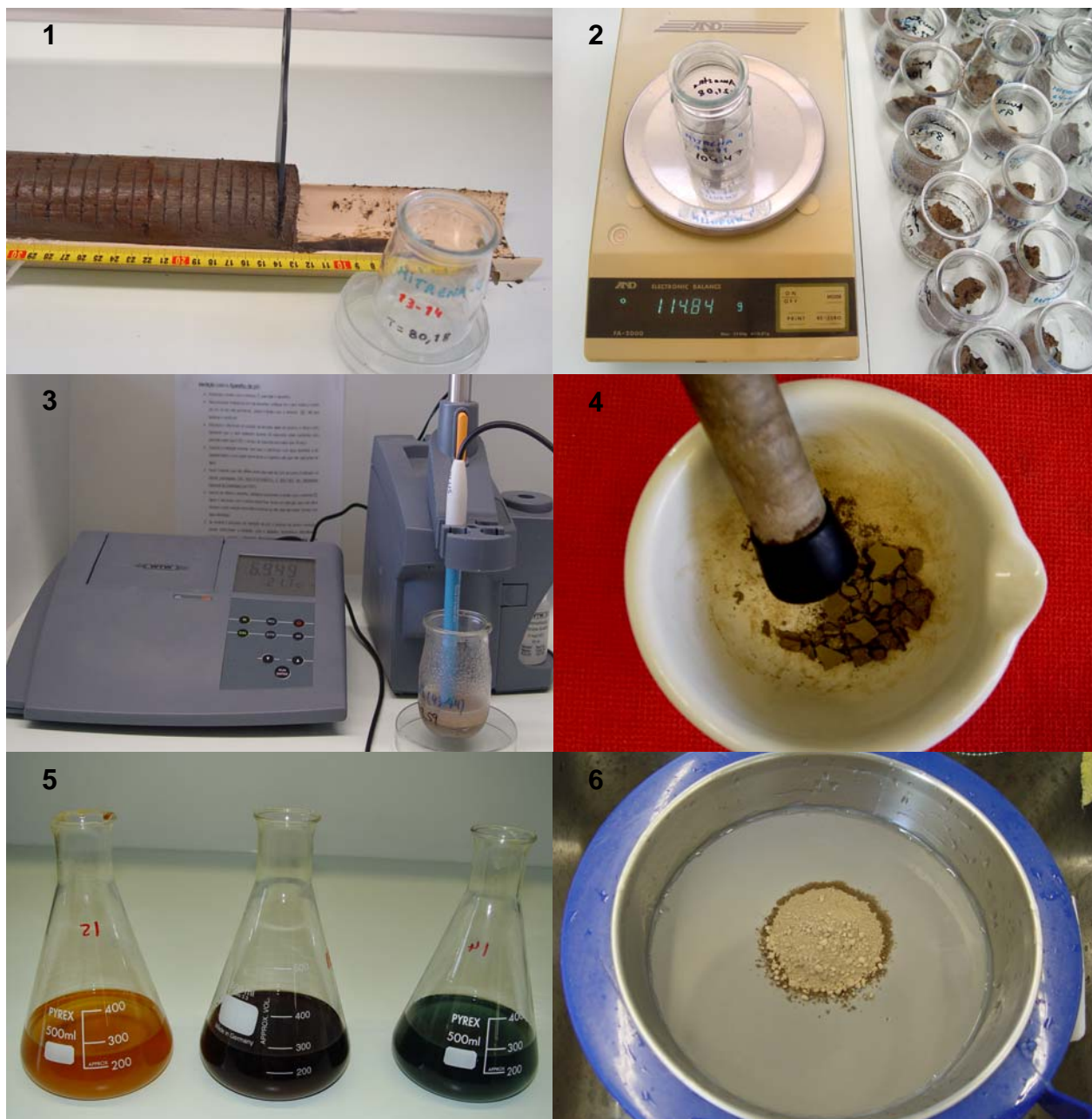
- [1] Tibério, A.S.P. (2004) – Biodiversidade, ecologia e produtividade do sapal de Corroios – Um contributo no âmbito da educação ambiental. *Dissertação apresentada à Fac. de Ciências da Univ. de Lisboa*, Lisboa, 75p.
- [2] Lima, M.A.S (1997) – *Terras de Laurus*. Encontros com o património natural e ambiental do concelho do Seixal. *Câmara Municipal do Seixal, Plátano Editora*, Seixal, 192p.
- [3] Câmara Municipal do Seixal (1997) – A Reserva Ecológica do Concelho do Seixal – Contributos para a sua descrição e divulgação. *Câmara Municipal do Seixal*, Seixal, 76p.
- [4] Nabais, A.J.C.M. (1986) – História do concelho do Seixal – Património Industrial – Moinhos de Maré. *Câmara Municipal do Seixal*, Seixal, 155p
- [5] Ecomuseu Municipal do Seixal (1996) – Aves aquáticas e ribeirinhas do concelho do Seixal. Coleção Património Natural. *Câmara Municipal do Seixal*, 2ª edição, Seixal, 47p.
- [6] Caçador, M.I.V. (1994) – Acumulação e retenção de metais pesados nos sapais do estuário do Tejo. *Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa*, Lisboa, 141p.
- [7] Freitas, M.C., Andrade, C., Moreno, J.C., Munhá, J.M., Cachão, M. (1999) – The sedimentary record of recent (last 500 years) environmental changes in the Seixal Bay marsh, Tagus estuary, Portugal. *Geologie en Mijnbouw*, 77, *Kluwer Academic Publishers*, Netherlands, pp.283-293.
- [8] Ecomuseu Municipal do Seixal (1987) – Identidade Cultural do Concelho do Seixal - Território, O Homem, A História. *Câmara Municipal do Seixal*, Seixal, 44p.
- [9] Lima, M.A.S (2001) – Corroios, Minha Terra co(m a)rroios. *Plátano Editora*, Corroios, 355p.

Referências das imagens da avifauna:

- A-ALFAIATE – *Recurvirostra avosetta* (<http://personal.auna.com/1277509/ocells1.html>)
- B-MAÇARICO-DE-BICO-DIREITO - *Limosa limosa* (<http://www.blueskybirds.co.uk/blackwit.php>)
- C -MAÇARICO-REAL - *Numenius arquata* (<http://www.kolkatabirds.com/birdsind.htm>)
- D - PERNA-VERMELHA COMUM - *Tringa Totanus* (<http://www.oiseaux.net/photos/christian.laverdet/chevalier.gambette.2.html>)
- E - TRAMBOLA-CINZENTA - *Pluvialis squatarola* (http://www.geocities.com/jviana_98/Pluvialis_squatarola.html)
- F - PILRITO-COMUM - *Calidris alpina* (http://www.ctbirding.org/smaller_ct_shorebirds.htm)
- G -PERNA-LONGA - *Himantopus himantopus* (<http://www.mallorcaweb.net/salbufera/ausfotos.html>)

Anexo 12
Guião laboratorial

GUIÃO LABORATORIAL



Procedimento Experimental 1

DETERMINAÇÃO DO TEOR DE HUMIDADE

Material:

- balança
- estufa
- excicador
- copos de vidro
- espátula

Procedimento:

1. Seccionar o testemunho de sondagem em lâminas de 1 em 1 cm, com a ajuda de uma espátula (imagem 1).
2. Pesar a amostra húmida num copo de vidro previamente tarado (imagem 2).
3. Deixar a amostra a secar em estufa a 60°C, durante, pelo menos, 48 horas.
4. Retirar a amostra seca da estufa e pesar, depois de arrefecida num excicador.
5. Armazenar as amostras nos copos tapados.
6. Registrar os resultados numa grelha.
7. Inserir os resultados das pesagens em folha de cálculo (anexo) e obter o teor de humidade de cada amostra (peso de água/peso da amostra seca), assim como o gráfico da variação do teor de humidade com a profundidade.

Procedimento Experimental 2

DETERMINAÇÃO DO pH (método electrométrico)

Material:

- eléctrodo para medição de pH*
- placa eléctrica
- balão graduado de 500 cm³
- proveta de 50 ml
- vareta de vidro
- frasco de lavagem por esguicho

Procedimento:

1. Levar água destilada** à fervura num balão graduado e deixar arrefecer, tapada.
2. Considerar o peso das amostras previamente secas (Procedimento 1) e calcular a quantidade de água destilada fervida a adicionar a cada amostra, sabendo que a proporção é de 75 cm³ de água para 30g de solo (Folha de cálculo em anexo).
3. Juntar a água a cada amostra de solo, medida numa proveta, mexer com a vareta e deixar repousar até ao dia seguinte.
4. Agitar a suspensão de solo, lavar o eléctrodo com água destilada e mergulhar na suspensão agitada (imagem 3).
5. Fazer a leitura do valor de pH após estabilização do sensor.
6. Proceder a mais duas leituras do pH, para a mesma amostra, repetindo-se os passos 4 e 5.***
7. Retirar o eléctrodo da suspensão e lavar com água destilada.
8. Repetir os passos 4 a 7 para outras amostras.
9. Secar as amostras em estufa a 60°C durante 48 horas.
10. Registrar os resultados, arredondados às décimas, numa grelha.
11. Inserir as três leituras em folha de cálculo (anexo) e obter-se a média, assim como o gráfico da variação do pH com a profundidade.

*Deve consultar-se previamente o manual de instruções do sensor de pH e proceder à sua calibração antes de efectuar as leituras.

**A quantidade de água destilada a ferver está dependente do somatório da água necessária para o conjunto de amostras a analisar num dia. Para dias diferentes, deve-se voltar a ferver mais água.

***As leituras não devem diferir entre si mais de 0,05 unidades de pH.

Procedimento Experimental 3

DETERMINAÇÃO DA PRESENÇA DE CARBONATOS

Material:

- lupa binocular
- almofariz de porcelana e pilão de borracha
- espátula
- vidro de relógio
- conta-gotas
- HCl (10%)

Procedimento:

1. Desagregar a amostra num almofariz de porcelana (imagem 4).
1. Colocar cerca de 1g de sedimento num vidro de relógio.
2. Deitar cerca de 1ml de HCl (10%) sobre a amostra.
3. Observar a intensidade da reacção à lupa.
4. De acordo com a intensidade de efervescência, estipular a % aproximada de carbonatos segundo a tabela seguinte:

Intensidade de efervescência	% Carbonatos (aproximada)
Pouco/Nada	<2
Clara (pouco tempo)	2–10
Forte (muito tempo)	10-20
Muito intensa (muito tempo)	>20

5. Registrar os resultados numa grelha.

Procedimento Experimental 4

DETERMINAÇÃO DO TEOR EM MATÉRIA ORGÂNICA (Titulação)

Material:

- balança de precisão
- vidro de relógio
- espátula de meia cana
- duas buretas de 50 cm³, graduadas em 0,1 cm³ e suporte
- balões de ErlenMayer de 500 cm³
- duas provetas graduadas de 20 cm³
- proveta graduada de 200 cm³
- ácido sulfúrico concentrado
- ácido ortofosfórico a 85%
- solução de sulfato ferroso *
- solução de dicromato de potássio **
- difenilaminassulfonato de sódio ***

Procedimento:

1. Titulação da solução de sulfato ferroso ****
 - 1.1. Deitar 10 cm³ da solução de dicromato de potássio, com a ajuda de uma bureta, num balão de ErlenMayer.
 - 1.2. Juntar, cuidadosamente, 20 cm³ de ácido sulfúrico concentrado, agitar e deixar arrefecer.
 - 1.3. Adicionar 200 cm³ de água destilada, medida numa proveta (imagem 5).
 - 1.4. Depois de juntar 10 cm³ de ácido ortofosfórico e 1 cm³ de indicador, agitar vigorosamente.
 - 1.5. Juntar solução de sulfato ferroso, numa segunda bureta, por fracções de 0,5 cm³, agitando sempre, até que a cor da solução mude de azul para verde (imagem 5).
 - 1.6. Adicionar 0,5 cm³ de solução de dicromato de potássio, fazendo mudar de novo a cor para azul (imagem 5).
 - 1.7. Adicionar a solução de sulfato ferroso, gota a gota, agitando sempre, até que a cor da solução mude novamente para verde. Registrar o volume total de solução de sulfato ferroso gasto (V_1).

1.8. Repetir o ensaio e considerar a média do volume V_1 .

2. Preparação da amostra

2.1. A porção da amostra seca para análise química variará com a quantidade de matéria orgânica presente. Podem ser necessárias cerca de 5 g para solos com pouca matéria orgânica e apenas cerca de 0,2 g para solos turfosos. Depois de se ter feito um certo número de determinações, a experiência indicará a porção mais conveniente a tomar. No caso de sedimentos vasosos dos sapais, a porção a tomar deve variar entre 0,2 e 0,3 g. Para outros casos, devem pesar-se e ensaiar-se diferentes porções, devendo tomar-se como correcto o resultado da determinação que dê um total de 6 a 8 cm³ de solução de dicromato reduzido.

3. Determinação da matéria orgânica

3.1. Pesar cerca de 0,3 g de amostra (m), previamente seca e pulverizada, proveniente do procedimento 2 e transferir para um balão de ErlenMayer.

3.2. Adicionar 10 cm³ da solução de dicromato de potássio, através de uma bureta.

3.3. Juntar, muito cuidadosamente, 20 cm³ de ácido sulfúrico concentrado, medidos numa proveta.

3.4. Agitar bem durante 1 minuto e, em seguida, deixar repousar sobre uma superfície isoladora do calor (amianto ou madeira) durante 30 minutos, para permitir que se processe a oxidação da matéria orgânica.

3.5. Juntar 200 cm³ de água destilada, seguidos de 10 cm³ de ácido ortofosfórico.

3.6. Adicionar cerca de 1 cm³ de indicador e agitar-se bem a mistura.

3.7. Adicionar, por meio de uma segunda bureta, a solução de sulfato ferroso, por fracções de 0,5 cm³, agitando sempre, até que a cor da solução mude de azul para verde.

3.8. Adicionar 0,5 cm³ de solução de dicromato de potássio, fazendo mudar de novo a cor para azul.

3.9. Adicionar a solução de sulfato ferroso, gota a gota, agitando sempre, até que a cor da solução mude novamente para verde. Registrar o volume total de solução de sulfato ferroso gasto (V_2).

3.10. Repetir o ensaio para a mesma amostra.

4. Cálculos (aparecem automaticamente na folha de cálculo, assim como o gráfico da variação da percentagem de matéria orgânica com uma profundidade).

4.1. O volume total (V) da solução de dicromato de potássio, em cm³, gasto na oxidação da matéria orgânica é dado por: $10,5 (1 - V_2/V_1)$

V_1 é o volume total (cm^3) da solução de sulfato ferroso gasto na titulação

V_2 é o volume total (cm^3) de solução de sulfato ferroso gasto na determinação

4.2. O teor em matéria orgânica, expresso em percentagem (arredondado às décimas) da amostra seca, é dado por: $(0,67 V)/m$

m corresponde à massa do solo usada na determinação

* Solução de sulfato ferroso, aproximadamente 0,5N: dissolvem-se 140g de sulfato ferroso em ácido sulfúrico 0,5N e perfaz-se o volume de 1000 cm^3 . Para obter a solução de ácido sulfúrico 0,5N, juntam-se 14 cm^3 de ácido sulfúrico concentrado a água destilada e perfaz-se o volume de 1000 cm^3 . A solução de sulfato ferroso é instável ao ar, pelo que deve ser conservada hermeticamente fechada.

** Solução de dicromato de potássio N: dissolvem-se 49,035g de dicromato de potássio em água destilada e perfaz-se o volume de 1000 cm^3 .

*** Indicador: dissolvem-se 0,25g de difenilaminassulfonato de sódio em 100 cm^3 de água destilada.

**** Esta titulação faz-se no dia ou na semana da aplicação da solução.

NOTA: No cálculo da percentagem de matéria orgânica, admite-se que a matéria orgânica contém em média 58% de carbono. Com esta técnica são oxidados cerca de 77% do carbono da matéria orgânica.

Procedimento Experimental 5

SEPARAÇÃO DA FRACÇÃO GROSSEIRA/FINA CRIVAGEM POR VIA HÚMIDA

Material:

- balança
- peneiro de 63 μ m
- balde
- copos de vidro de 1000 cm³
- frasco de lavagem por esguicho

Procedimento:

1. Pesar a amostra desagregada separada para a granulometria.
2. Encaixar o peneiro no balde, sob uma torneira.
3. Depositar a amostra no peneiro (imagem 6) e fazer verter um fio contínuo de água sobre a amostra.
4. Descrever movimentos circulares com os dedos, comprimindo levemente os sedimentos contra a rede do peneiro.
5. Cessar o processo quando a cor da água que atravessa o peneiro mostrar que está isenta de sedimentos.
6. Com a ajuda de um esguicho de água, transferir os sedimentos retidos no peneiro (>63 μ m) para um copo de vidro e levar à estufa..
7. Transferir toda a suspensão do balde (<63 μ m) para um copo de vidro e levar à estufa.
8. Depois de seca, armazenar a fracção fina.
9. Pesar e armazenar a fracção grosseira.
10. Inserir os resultados das pesagens na folha de cálculo e obter a percentagem de cada uma das fracções.

Procedimento Experimental 6

GRANULOMETRIA DOS FINOS – MÉTODO DA PIPETAGEM

Material:

- almofariz e pilão
- balança
- estufa
- termómetro
- cronómetro
- proveta graduada de 1000 cm³
- 7 copos de vidro
- pipeta graduada de 20 cm³
- agitador manual
- água destilada
- frasco de lavagem por esguicho
- defloculante*
- tabela tempo/profundidade
- régua

*Utilizar a mistura de 36g de *calgon* + 8g de carbonato de sódio, dissolvidos num litro de água destilada.

Procedimento:

1. Desagregar a amostra constituída por material <63µm, proveniente do procedimento anterior.
2. Quartear a amostra até obter aproximadamente 15g.
3. Pesar a amostra com a precisão de 4 casas decimais.
4. Colocar a amostra na proveta.
5. Adicionar 50 cm³ de defloculante.
6. Juntar à mistura anterior 500 cm³ de água destilada.
7. Agitar com o agitador manual (cada vez que o agitador é retirado, lavar com o esguicho de água destilada, para que nenhuma partícula seja perdida).
8. Deixar a preparação em repouso pelo menos 24 horas.
9. Completar o conteúdo da proveta até 1 litro, com água destilada.

10. Registrar a temperatura da mistura, com um termómetro.
11. Pesar e numerar 7 copos de vidro, que ficam junto da proveta.
12. Com a ajuda de uma régua e um marcador, graduar a pipeta de 5 em 5 cm, desde a base.
13. Preparar o cronómetro, a pipeta graduada e a tabela de tempo-profundidade.
14. Agitar vigorosamente a coluna de líquido com o agitador manual, desde o fundo até à superfície, com um movimento de vai-vem para cima e para baixo.
15. No instante em que se retira o agitador, colocar o cronómetro a funcionar e, passados 20s, fazer a primeira recolha de 20 cm³ de amostra com a pipeta, a 20 cm de profundidade.
16. Colocar a amostra recolhida no copo nº1 e lavar a pipeta para dentro do copo, com um esguicho de água destilada.
17. Repetir a operação de recolha de amostra no segundo tempo indicado na tabela tempo-profundidade para a temperatura obtida.
18. Depositar a amostra recolhida no copo nº2, lavando a pipeta para dentro do copo.
19. Agitar de novo a coluna de líquido.
20. Repetir a operação de recolha de amostra, de acordo com a tabela tempo-profundidade.
21. Colocar os sete copos na estufa, a 60°C, durante 48 horas.
22. Pesar as amostras secas na estufa, depois de arrefecidas num excicador.
23. Inserir resultados na folha de cálculo e obter a percentagem de amostra correspondente a cada intervalo de dimensão, assim como o histograma, curva de frequência relativa e de frequência acumulada.
24. Classificar a amostra de acordo com o diagrama triangular de Pejrup (1998) e Fleming (2000).

Grelha de Registo de Resultados

Granulometria de Finos – Método da Pipetagem										
Ref ^a	Prof. (cm)	Copos	P1 (g) Peso dos Copos	P2 (g) Peso amostra seca + copos + desfloculante	P3 (g) Peso amostra + desfloculante	P4 (g) Peso da amostra	PA (g) Peso material em 1000ml	Classes Texturais	Peso em cada classe	Classificação de Wentworth*
								< 63 µm		Silte grosseiro
								< 44 µm		
								< 31 µm		Silte Médio
								< 22 µm		
								< 16 µm		Silte fino
								< 8 µm		Silte muito fino
								< 4 µm		Argilas
								< 63 µm		Silte grosseiro
								< 44 µm		
								< 31 µm		Silte Médio
								< 22 µm		
								< 16 µm		Silte fino
								< 8 µm		Silte muito fino
								< 4 µm		Argilas
								< 63 µm		Silte grosseiro
								< 44 µm		
								< 31 µm		Silte Médio
								< 22 µm		
								< 16 µm		Silte fino
								< 8 µm		Silte muito fino
								< 4 µm		Argilas
								< 63 µm		Silte grosseiro
								< 44 µm		
								< 31 µm		Silte Médio
								< 22 µm		
								< 16 µm		Silte fino
								< 8 µm		Silte muito fino
								< 4 µm		Argilas

Campos preenchidos automaticamente na folha de cálculo (anexo).

*In Pettijohn, 1975.

GRANULOMETRIA DE FINOS – MÉTODO DA PIPETAGEM
TABELA DE TEMPO - PROFUNDIDADE

TEMPO PARA DIFERENTES TEMPERATURAS												
Dímetros < que Ø	Dímetros < que (µ)	PROF. (cm)	18°C	19°C	20°C	21°C	22°C	23°C	24°C	25°C	26°C	27°C
4.0	62.5	20	20s	20s	20s	20s	20s	20s	20s	20s	20s	20s
4.5	44.2	20	2min 0s	1min 57s	1min 54s	1min 51s	1min 49s	1min 46s	1min 44s	1min 41s	1min 39s	1min 37s
VOLTAR A AGITAR E INICIAR A CONTAGEM DO TEMPO												
5.0	31.2	10	2min 0s	1min 57s	1min 54s	1min 51s	1min 49s	1min 46s	1min 44s	1min 41s	1min 39s	1min 37s
5.5	22.1	10	4min 0s	3min 54s	3min 48s	3min 42s	3min 37s	3min 32s	3min 27s	3min 22s	3min 18s	3min 13s
6.0	15.6	10	8min 0s	7min 48s	7min 36s	7min 25s	7min 15s	7min 5s	6min 55s	6min 45s	6min 36s	6min 27s
7.0	7.8	10	31min 59s	31min 11s	30min 26s	29min 41s	28min 59s	28min 18s	27min 39s	27min 1s	26min 25s	25min 49s
8.0	3.9	5	63min 58s	62min 22s	60min 51s	59min 23s	57min 58s	56min 36s	55min 18s	54min 2s	52min 49s	51min 39s
9.0	1.95	5	4h 16min	4h 9min	4h 3min	3h 58min	3h 52min	3h 46min	3h 41min	3h 36min	3h 31min	3h 27min
10.0	0.98	5	17h 8min	16h 38min	16h 14min	15h 50min	15h 28min	15h 6min	14h 45min	14h 25min	14h 5min	13h 46min
11.0	0.49	5	68h 14min	66h 32min	64h 54min	63h 20min	61h 50min	60h 23min	58h 59min	57h 38min	56h 20min	55h 5min

Anexo 13

Guião de interpretação de resultados

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL 1

DETERMINAÇÃO DO TEOR DE HUMIDADE

O teor em água de um solo é geralmente determinado em pequenas amostras, por secagem em estufa a uma temperatura entre 60°C e 105°C, até peso constante. Esta temperatura é suficiente para provocar a evaporação da água que esteja livre (água capilar), sem destruir a matéria orgânica. Assim, ao pesar a amostra antes e após o aquecimento, a diferença de peso indica a quantidade de água existente no solo. Com este método, fica por avaliar a água de constituição, que integra a estrutura química das partículas sedimentares e a água higroscópica, fortemente adsorvida à superfície dos colóides – minerais de argila e húmus.

O teor de humidade (ou teor em água) exprime-se como percentagem do peso de água em relação ao peso do solo seco (Costa, 1999).

Valores superiores a 100% revelam que o peso da água é superior ao peso dos sedimentos, indicando a provável presença de uma importante fracção de matéria orgânica (peso baixo). Em regra, existe uma boa correlação entre o teor de matéria orgânica e o teor de humidade, em profundidade, facto que deve ser avaliado.

Outro factor que geralmente influencia o teor de humidade nos sedimentos é a sua textura. Em sedimentos em que a componente arenosa é importante, a água extraída por este método corresponde à água total do sedimento (água capilar). Em sedimentos vasosos, a água extraída corresponde a uma parcela da água do sedimento, uma vez que as argilas têm grande capacidade de retenção de água nas superfícies externa e interna dos seus minerais (água higroscópica e de constituição). Assim, a comparação de teores de humidade obtidos em sedimentos de texturas diferentes deve ter em consideração a capacidade de retenção desse sedimento.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL 2

DETERMINAÇÃO DO pH

O pH é uma medida da actividade dos hidrogeniões (a valores maiores de pH corresponde uma menor concentração de H^+ na solução do solo), reflectindo a constituição química dos sedimentos e as numerosas reacções que neles ocorrem.

A acidificação do solo está ligada a várias origens, tais como: formação de ácidos húmicos por decomposição da matéria orgânica; produção de dióxido de carbono por animais que, reagindo com a água do solo origina ácido carbónico; hidrólise de sesquióxidos de ferro e de alumínio e de aluminossilicatos das fracções finas; perda por lixiviação de cationes básicos, como o cálcio, magnésio, potássio e sódio e ainda, à actividade antrópica (contaminação por drenagens ácidas da indústria mineira e utilização de fertilizantes, entre outras) (Costa, 1999). Deve ser avaliada a correlação entre o pH e o teor de matéria orgânica.

O pH afecta extraordinariamente a solubilidade de vários elementos, como o ferro e o alumínio (Costa, 1999) que se tornam solúveis para valores de pH baixos, facilitando a sua mobilidade na coluna sedimentar. Valores de pH baixos influenciam também os fenómenos de adsorção e trocas iónicas, diminuindo a capacidade de retenção de cationes pelos minerais de argila.

Para classificação do solo em relação ao pH exibido, usa-se geralmente a escala de Pralongo (Costa, 1999):

pH do solo	Designação
4,5 ou menor	Hiperácido
4,6 a 5,5	Ácido
5,6 a 6,5	Subácido
6,6 a 7,5	Neutro
7,6 a 8,5	Subalcalino
8,6 a 9,5	Alcalino
9,6 ou maior	Hiperalcalino

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL 3

DETERMINAÇÃO DA PRESENÇA DE CARBONATOS

A utilização deste método tem como objectivo estipular uma percentagem aproximada de carbonatos em pequenas amostras de sedimento.

Sem recorrer a procedimentos complexos e aparelhos dispendiosos, esta análise revela a ausência ou presença de carbonatos, que num ambiente de sapal podem ser atribuídos à ocorrência de bioclastos.

A partir da avaliação da intensidade da reacção, infere-se uma percentagem aproximada de carbonatos presentes (tabela).

Se a intensidade de reacção for forte ou muito intensa, deve investigar-se a presença bioclastos à lupa.

Intensidade de efervescência	% Carbonatos (aproximada)
Pouco/Nada	<2
Clara (pouco tempo)	2-10
Forte (muito tempo)	10-20
Muito intensa (muito tempo)	>20

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL 4

DETERMINAÇÃO DO TEOR EM MATÉRIA ORGÂNICA

A determinação do teor em matéria orgânica pelo método da titulação, consiste na oxidação do carbono orgânico da amostra com dicromato de potássio e ácido sulfúrico concentrado, seguida de titulação do excesso de dicromato de potássio com sulfato ferroso. A percentagem da matéria orgânica é estimada a partir do teor de carbono orgânico, com base em fórmula empírica, admitindo que aquela contém em média 58% de carbono e que com esta técnica são oxidados aproximadamente 77% do carbono da matéria orgânica (norma E 201 do L.N.E.C., 1967b).

A matéria orgânica do solo forma-se a partir dos organismos vivos, particularmente da matéria vegetal. Segundo Waksman (1936 *in* Costa, 1999), a matéria orgânica representa um complexo heterogéneo, genericamente designado por húmus. Para outros autores referidos por Costa (1999), o húmus constitui uma fracção da matéria orgânica com elevada resistência à decomposição e propriedades coloidais, fazendo-se acompanhar por outras substâncias químicas que representam estádios mais precoces da humificação.

Encarando o húmus de uma forma mais lata ou mais restrita, a presença de matéria orgânica no solo influencia claramente as suas propriedades físicas e químicas, aumentando a porosidade e a capacidade de retenção de catiões e água adsorvida e contribuindo para a acidificação. Assim, verifica-se geralmente que o teor em matéria orgânica diminui em profundidade (o que provavelmente estará relacionado com a decomposição dos constituintes orgânicos nos sedimentos), existindo nos sedimentos superficiais um maior arejamento e maior capacidade de retenção de nutrientes para as plantas.

Por outro lado, em solos alagados como os dos sapais, a matéria orgânica presente nos sedimentos desempenha uma função importante no que respeita aos contaminantes existentes na água, fixando-os e retirando-os do meio aquático, funcionando como verdadeiros filtros ambientais.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL 5

CRIVAGEM POR VIA HÚMIDA

A textura dos sedimentos caracteriza a proporção relativa de cada um dos elementos que compõem a sua fracção mineral.

De uma forma geral, considera-se que os sedimentos são representados por quatro classes texturais, com propriedades físico-químicas distintas (Dias, 2004): cascalho, areia, silte e argila, não tendo a primeira representatividade em ambientes de baixo hidrodinamismo, como os sapais.

Na crivagem por via húmida, procede-se à separação da fracção grosseira ($>63\mu\text{m}$) da fracção fina ($<63\mu\text{m}$), ou seja, separam-se os sedimentos da dimensão das areias (ou superior) dos sedimentos da dimensão dos siltes e argilas. Desta forma obtém-se a percentagem relativa de grosseiros e finos na amostra total, numa primeira aproximação à textura dos sedimentos estudados.

Deve no entanto proceder-se à identificação, à lupa binocular, do material de dimensão superior a $63\mu\text{m}$, uma vez que pode ser constituído em parte ou totalmente por fibras vegetais e/ou fragmentos bioclásticos.

Uma vez que a percentagem de grosseiros é determinada pelo peso destes materiais em relação ao total da amostra, pode acontecer que uma pequena percentagem corresponda a um pequeno número de grãos de quartzo ou a um grande volume de fibras vegetais, sendo por isso importante a caracterização da fracção grosseira.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL 6

GRANULOMETRIA DOS FINOS - MÉTODO DA PIPETAGEM

Uma vez que tecnicamente é impossível construir peneiros com malhas adequadas às dimensões dos siltes e argilas, utilizam-se outros métodos que não a peneiração, baseados na velocidade de queda (ou velocidade de sedimentação).

Na análise granulométrica de finos tenta-se determinar a distribuição dos diâmetros das partículas individuais. Como as partículas destas dimensões, especialmente as argilas, tendem a sofrer processos de aglutinação, há necessidade de usar um dispersante (ou desfloculante).

No método da pipetagem determina-se a quantidade de material existente em fracções dimensionais previamente definidas, considerando as velocidades de sedimentação de cada uma dessas fracções (Dias, 2004). Para tal, procede-se à pipetagem de uma porção da suspensão a uma profundidade tal da proveta que garanta que, a esse nível, não existam partículas maiores que as da fracção pretendida, por já estarem em sedimentação a níveis mais profundos (Dias, 2004).

Assim, a suspensão colhida no tempo t_0 , contém partículas de todas as dimensões presentes na proveta ($<63\mu\text{m}$), enquanto que a colheita efectuada no tempo t_1 , já não contém as partículas maiores ($<44\mu\text{m}$). A diferença entre os dois pesos, representa o peso da fracção entre $63\mu\text{m}$ e $44\mu\text{m}$.

Como as características da água variam com a temperatura, as profundidades de colheita são também função da temperatura do fluido, devendo garantir-se que essa temperatura não varia ao longo das várias colheitas.

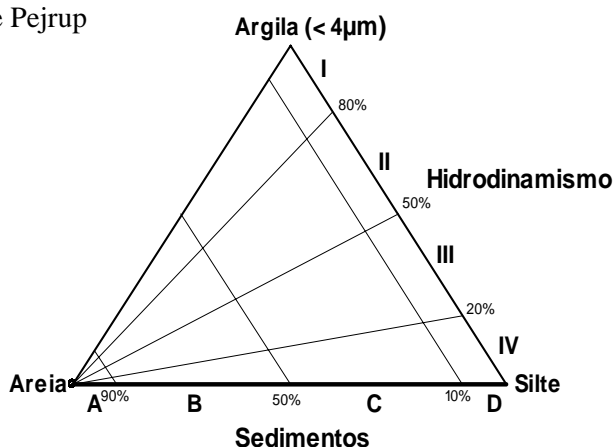
Na classificação dos sedimentos com teores elevados de partículas finas recorre-se geralmente a diagramas triangulares. Estes diagramas baseiam-se num triângulo, em que cada vértice corresponde a 100% de uma classe textural elementar (areias, silte ou argila).

Existem várias classificações texturais deste tipo, mas neste trabalho utilizam-se a de Pejrup (1988) e a de Flemming (2000).

Pejrup propõe um esquema classificativo, baseado em considerações de índole hidrodinâmica. Com esta classificação distinguem-se 16 classes texturais e com base na razão silte/argila, obtêm-se quatro “grupos hidrodinâmicos” (I a IV). Cada grupo hidrodinâmico é

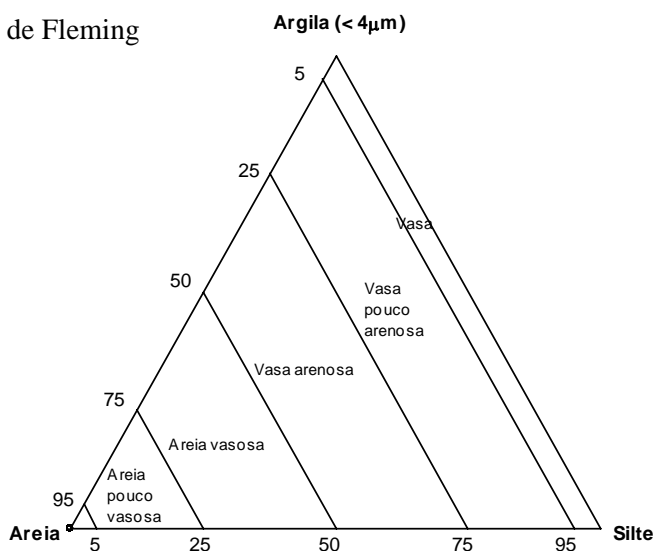
dividido em zonas (de A a D), correspondendo o A a maiores níveis energéticos, permitindo assim ter a percepção dos níveis energéticos que condicionaram a deposição do sedimento.

Diagrama ternário de Pejrup



Na classificação de Flemming, uma das mais recentes propostas classificativas deste tipo de sedimentos, apresenta o conteúdo em areia como o indicador principal de hidrodinamismo, contemplando também a razão areia/vasa. Distinguem-se 6 classes texturais, representando as classes extremas uma areia (conteúdo em vasa <math>< 5\%</math>) e uma vasa (conteúdo em vasa >math>> 95\%</math>).

Diagrama ternário de Fleming



Embora as duas classificações apresentem como objetivo a caracterização do hidrodinamismo que presidiu à deposição dos sedimentos, a de Fleming tem a vantagem de complementar com uma terminologia descritiva acessível.

Anexo 15

Proposta de candidatura ao Programa Ciência Viva

CANDIDATURA AO PROGRAMA CIÊNCIA VIVA

1. Identificação da entidade beneficiária

Escola Secundária Moinho de Maré – Clube do Ambiente.

2. Identificação do coordenador

Maria João Ferreira de Sousa, Professora do quadro de nomeação definitiva da Escola Secundária Moinho de Maré no departamento de Ciências da Terra e da Vida.

3. Caracterização do projecto

3.1. Título: Estudo e promoção ambiental do sapal de Corroios

3.2. Resumo:

O ensino da Ciência, tal como é encarado nos novos programas, numa perspectiva construtivista, deve conter uma índole prática enfatizada e visar a criação de ambientes de ensino e de aprendizagem favoráveis à construção activa do saber. Neste contexto, as actividades de âmbito experimental desempenham um papel importante na aprendizagem da Ciência, quer ao nível das saídas de campo, quer no laboratório, conduzindo ao desenvolvimento de novas capacidades nos alunos, essencialmente ao nível reflexivo. Neste âmbito, a promoção de situações motivadoras, que desencadeiem processos de identificação de problemas, investigação e construção de hipóteses explicativas, constituem estratégias privilegiadas de ensino/aprendizagem.

Para além de desenvolver competências práticas relacionadas com a Geologia e aplicar os conhecimentos adquiridos a problemas quotidianos, interessa promover, junto dos alunos, a valorização do conhecimento geológico na sociedade actual. Os problemas decorrentes da acção antrópica nos sistemas terrestres passa, em muitos casos, pelo desconhecimento dos materiais e processos geológicos. Mas, ao promover a formação de cidadãos participativos e conscientes das suas decisões, porque informados e capacitados para argumentarem a favor de uma causa, estaremos certamente a contribuir para uma melhor relação entre o Homem e a Terra.

No trabalho de investigação proposto aos alunos, parte-se da caracterização ambiental e recolha de amostras de campo, no estuário do Tejo (sapal de Corroios), para posterior tratamento laboratorial, utilizando metodologias análogas àquelas que se desenvolvem nos laboratórios da Universidade. A selecção do local é decorrente da proximidade da Escola Secundária Moinho de Maré ao sapal e do interesse em caracterizar as modificações aí operadas pelo Homem nos últimos anos.

Neste âmbito, as problemáticas levantadas nesta proposta de trabalho de investigação, vão ao encontro dos grandes temas abordados nos programas de Geologia do Ensino Secundário, concretizadas numa situação-problema.

4.Entidades envolvidas

- ✓ Escola Secundária Moinho de Maré
- ✓ Centro de Investigação em Geociências Aplicadas (CIGA) da Universidade Nova de Lisboa
- ✓ Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
- ✓ EcoMuseu Municipal do Seixal
- ✓ Câmara Municipal do Seixal
- ✓ Biblioteca Municipal do Seixal
- ✓ Instituto da Conservação da Natureza (Reserva Natural do Estuário do Tejo)

5.Elementos da equipa

- ✓ Escola Secundária Moinho de Maré – 5 docentes, dois do departamento de Ciências da Terra e da Vida, 2 do departamento de Física e Química e 1 do departamento de informática; 2 elementos da Associação de Pais e Encarregados de Educação.
- ✓ Centro de Investigação em Geociências Aplicadas (CIGA) da Universidade Nova de Lisboa – 2 docentes e investigadores do CIGA/Faculdade de Ciências da Universidade Nova de Lisboa.
- ✓ Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa – 1 docente e investigador e 1 bolsheiro de processos costeiros.
- ✓ EcoMuseu Municipal do Seixal – 1 elemento com ligação às escolas.

- ✓ Câmara Municipal do Seixal – 1 elemento com ligação às escolas.
- ✓ Biblioteca Municipal do Seixal
- ✓ Instituto da Conservação da Natureza (Reserva Natural do Estuário do Tejo) – 1 elemento da Reserva Natural do Estuário do Tejo.

6. Destinatários do projecto

Escola Secundária Moinho de Maré (Corroios) – 20 alunos do ensino secundário (Clube do Ambiente); 120 alunos de diferentes anos de escolaridade.

7. Descrição do projecto

Este projecto consiste num trabalho investigativo a desenvolver por alunos do ensino secundário, com actividades a decorrer nas instalações da escola (salas de aula, laboratório, clube do ambiente, centro de recursos) e no exterior: sapal de Corroios; estuário do Tejo; outros ecossistemas de sapal em Portugal; bibliotecas municipais; Laboratório de Processos Costeiros do Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa; Centro de Investigação em Geociências Aplicadas da Universidade Nova de Lisboa; Moinho de Maré de Corroios.

7.1. Objectivos que pretende atingir com as acções a desenvolver.

7.1.1. Objectivos gerais

- Desenvolver no aluno capacidades e atitudes associadas à resolução de problemas, observação, espírito crítico, curiosidade, responsabilidade, autonomia e persistência.
- Familiarizar o aluno com as teorias, natureza e metodologia da ciência.
- Proporcionar ao aluno a vivência de factos e fenómenos naturais.
- Consciencializar o aluno para intervir, esclarecidamente, na resolução de problemas ecológicos e ambientais.
- Promover a sociabilização do aluno (participação, comunicação, cooperação, respeito pela opinião dos outros) com vista à sua integração social.
- Motivar os alunos para a necessidade de protecção e preservação do património natural, numa perspectiva de desenvolvimento sustentável.
- Consciencializar os alunos sobre problemas ambientais, que lhes permita o exercício de uma cidadania crítica, construtiva e esclarecida.

- Promover uma maior proximidade da escola e da comunidade local.
- Trazer os encarregados de educação à escola, em acções dinamizadas pelos próprios educandos.
- Proporcionar aos alunos um espírito de auto-confiança e de realização pessoal, participando num projecto que terá um impacto concreto na região onde vivem.

7.1.2.Objectivos específicos:

- Familiarizar os alunos com a metodologia do geólogo.
- Promover a utilização de cartas topográficas.
- Compreender que a importância da preservação dos sapais decorre da sua riqueza e vulnerabilidade.
- Diversificar de ambientes de aprendizagem, com especial ênfase para as actividades de campo e de laboratório.
- Potenciar actividades de indagação e investigação, utilizando preferencialmente as actividades laboratoriais.
- Desenvolver um espírito investigativo, que conduza ao questionamento e análise de situações problema.
- Utilizar das NTIC como suporte na pesquisa de informação, tratamento de dados e divulgação de resultados, no actual contexto de partilha global de conhecimento e acesso à informação.
- Fornecer à autarquia instrumentos de divulgação do sapal como património natural a preservar.

7.2.Discriminação das actividades que permitem concretizar os objectivos enunciados e respectiva calendarização.

A – Preparação da saída de reconhecimento ao ecossistema a estudar. A preparação será realizada com os recursos elaborados nesta dissertação (Guião de Campo Multimédia e Apresentação em *power point*), para além da exploração do mapa topográfico.

B – Saída de reconhecimento ao Sapal e Baía do Seixal. Saída de reconhecimento *in loco* do ecossistema a estudar, com o principal objectivo de motivar os alunos, de forma a um pleno envolvimento no trabalho de projecto.

C – Levantamento de questões e estruturação do trabalho de projecto. Sistematização de dados e problemas e planificação do trabalho para o ano lectivo.

D – Reconhecimento das zonas envolventes da Baía do Seixal (viagens de barco entre as duas margens do estuário: Seixal-Lisboa-Montijo-Lisboa-Cacilhas). As viagens no estuário serão efectuadas a bordo dos barcos de carreira da Transtejo, com o objectivo de reconhecimento do tipo de ocupação das suas margens e apreciação das áreas intertidais a descoberto em marés baixas de águas vivas.

E – Saída de reconhecimento das zonas envolventes ao sapal de Corroios (Toda a Baía do Seixal). Caminhadas pela envolvente à Baía do Seixal, com orientação topográfica.

F – Estudo do sapal (morfologia, factores locais condicionantes da sua génese, execução de vários transectos com identificação do coberto vegetal do alto e baixo sapal, identificação das várias formas de intervenção antrópica no sapal e recolha de sedimentos superficiais para análise laboratorial.

G – Tratamento experimental. O equipamento de laboratório a adquirir para o desenvolvimento deste projecto de investigação, constituirá uma mais valia para todos os alunos da escola. As actividades experimentais decorrerão, na sua maioria, nos laboratórios da escola, com o apoio teórico-prático de docentes das áreas de geologia, biologia e química e terão como materiais de suporte os guiões laboratoriais elaborados nesta dissertação. Uma das actividades experimentais será desenvolvida no laboratório de processos costeiros do Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

H – Pesquisa de informação. A pesquisa de informação será realizada recorrendo aos computadores ligados à Internet do centro de recursos da escola, nas bibliotecas municipais e nas bibliotecas da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa e da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

I – Recolha de imagens em suporte fotográfico e vídeo. Nas saídas de campo, procede-se à recolha de imagens em fotografia digital e vídeo, que posteriormente serão tratadas e editadas em documentos de divulgação e consulta.

J – Montagem e edição de imagem e som (produção de um DVD). Após a recolha de imagens nas saídas de campo, em períodos intercalados com o trabalho experimental de laboratório, construção de material multimédia para integrar a página da escola, produção de um DVD para divulgação e actualização do material exposto no “Ponto do Ambiente”.

L – Comunicação final do trabalho. Os alunos serão convidados a proceder a uma comunicação, dirigida à comunidade local, de preferência na sala do moinho de maré, onde

terão oportunidade de divulgar os resultados da sua pesquisa através dos materiais multimédia que produziram. Proceder-se-á ao convite de uma personalidade ligada à defesa do ambiente para participar como orador.

M – Acções de divulgação ambiental. Estas acções de divulgação são dirigidas aos alunos do ensino básico. Pretende-se que os alunos do clube dinamizem acções no âmbito da educação ambiental, dirigida aos mais novos, com actividades no campo, na última semana de cada período lectivo, com 40 alunos em cada acção.

N – Produção de materiais para o “Ponto do Ambiente”, com actualização mensal.

Os materiais para a exposição permanente, e actualizada mensalmente, são integralmente produzidos pelos alunos e correspondem a materiais multimédia (apresentações multimédia em suporte vídeo, áudio e fotografia e informação em formato de poster A₀).

Tarefas	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho
A											
B											
C											
D											
E											
F											
G											
H											
I											
J											
L											
M											
N											

7.3. Materiais que pensa adaptar/desenvolver ao longo do projecto

- Equipamento de um laboratório do ambiente

- Guiões de visitas de interesse ambiental para publicação na página da Internet da escola
- Protótipo de “placards” (formato A₀) dos vários pontos de especial interesse do sapal e da Baía do Seixal
- Álbum fotográfico do Ambiente (coleção de imagens catalogadas e comentadas, passíveis de serem utilizadas por professores e alunos)
- Coleção de mapas topográficos
- Produção de DVD com:
 - itinerários naturais, relacionados com a temática da geologia costeira, propostos como visitas virtuais
 - apresentações multimédia para a comunidade escolar e local

7.4. Forma de divulgação do projecto e dos materiais produzidos

- Jornal da escola
- Boletins municipais
- Exposição permanente (“Ponto do Ambiente”) na escola, com actualização mensal
- Realização de conferências, ao longo do ano, com convidados ligados às questões ambientais, com participação dos alunos com comunicações
- Participação na dinamização da Semana das Ciências
- Página da Internet da escola
- GeoRoteiros
- Distribuição gratuita do DVD por todas as instituições do Concelho do Seixal, incluindo bibliotecas, EcoMuseu, escolas e Instituto da Conservação da Natureza.
- Apresentação de uma ou várias sessões públicas de sensibilização da população local, na sala de conferências do moinho de maré de Corroios.

7.5. Recursos necessários à execução do projecto

7.5.1. Recursos materiais existentes

- ✓ Centro de Investigação em Geociências Aplicadas, Universidade Nova de Lisboa
 - Máquina fotográfica e de filmar digital

- Software de tratamento de imagem e edição vídeo
- Material para fotografia aérea
- Impressora A₀.
- ✓ Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
 - *Hotte* para realizar o ensaio de determinação do teor em matéria orgânica presente nos sedimentos recolhidos no sapal
 - Biblioteca de Geologia.
- ✓ Escola Secundária Moinho de Maré
 - 4 martelos de geólogo
 - 2 bússolas de geólogo
 - 1 computador (ineficaz para tratamento de imagens vídeo)
 - 1 impressora
 - 2 leitores de DVD
 - 2 televisões
 - 2 estufas
 - espátulas; provetas, balões graduados; frascos de lavagem; varetas de vidro; vidros de relógio; pipetas.
 - Ácido clorídrico, carbonato de sódio
 - placa eléctrica
 - Termómetros
 - Cronómetros
 - Balança com precisão de duas casas decimais

7.6. Recursos materiais a adquirir (orçamentado posteriormente)

✓ **Consumíveis:**

Ácido ortofosfórico

Sulfato ferroso

Dicromato de potássio

Difenilaminassulfonato de sódio

✓ **Equipamento:**

Computador portátil com capacidades multimédia

Balança com precisão de 4 casas decimais

Excicador

Eléctrodo para medição do pH

Lupa binocular

Almofariz de porcelana com pilão de borracha

Buretas e respectivo suporte

Peneiro com malha 63 μ m

NOTAS:

A proposta apresentada segue a estrutura dos formulários de candidatura *on-line* ao Programa Ciência Viva de 2005.

O orçamento do projecto não foi elaborado por se considerar pouco relevante na apresentação desta proposta neste trabalho.