



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

FACULDADE DE CIÊNCIAS DO MAR E DO AMBIENTE

*APLICAÇÃO DA ESPECTROFOTOMETRIA AO
ESTUDO DE PERFIS SEDIMENTARES EM
AMBIENTES ESTUARINOS*



Dissertação apresentada à Universidade do Algarve para a obtenção
do grau de Mestre em Estudos Marinhos e Costeiros

NÉLIA CRISTINA DA COSTA MESTRE

FARO

2005



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

FACULDADE DE CIÊNCIAS DO MAR E DO AMBIENTE

***APLICAÇÃO DA ESPECTROFOTOMETRIA AO
ESTUDO DE PERFIS SEDIMENTARES EM
AMBIENTES ESTUARINOS***

**Dissertação apresentada à Universidade do Algarve para a obtenção
do grau de Mestre em Estudos Marinhos e Costeiros**

NÉLIA CRISTINA DA COSTA MESTRE

FARO

2005

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO:

APLICAÇÃO DA ESPECTROFOTOMETRIA AO ESTUDO DE PERFIS SEDIMENTARES EM
AMBIENTES ESTUARINOS

AUTORA:

Nélia Cristina da Costa Mestre

ORIENTADORA DA TESE DE Mestrado:

Prof. Doutora Cristina Carvalho Veiga-Pires (Professora Auxiliar de Nomeação
Definitiva) Faculdade de Ciências do Mar e do Ambiente, Universidade do Algarve,
Faro, Portugal.

JÚRI:

Presidente: *Prof. Doutor Tomasz Boski* (Faculdade de Ciências do Mar e do Ambiente,
Universidade do Algarve)

Arguente Principal: *Doutora Teresa Drago* (IPIMAR)

O conteúdo desta tese é da inteira responsabilidade da autora.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à Prof. Doutora Cristina Veiga-Pires por ter aceite ser minha orientadora e por todo o apoio prestado durante o período de execução da tese de mestrado.

A todos os investigadores envolvidos no projecto LOCOTO, Prof^a. Delminda Moura, Prof. Joaquim Luís, Prof. Tomasz Boski, João, Carlos, Miguel e Paulo Santana.

Ao Prof. Sadat Muzavor e ao Carlos Afonso pela ajuda na identificação taxonómica dos fragmentos de organismos fósseis.

Ao Dr. Hélio Martins, técnico da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade do Algarve, pela colaboração na análise elementar CNHS.

A todos aqueles que, por uma forma directa ou indirecta, me apoiaram durante o período de execução da tese de mestrado.

RESUMO

O estudo de sedimentos estuarinos, aplicado à reconstrução paleoambiental, é de extrema importância, pois reflecte avanços e recuos da linha de costa originados por variações climáticas, quer a nível mundial, regional e local. Neste sentido, têm havido esforços em desenvolver novas técnicas de estudo de sedimentos que permitam a obtenção de dados a uma escala temporal cada vez mais reduzida. Com este trabalho pretende-se verificar a aplicabilidade da espectrofotometria, do estado sólido, para estudar perfis sedimentares em ambientes estuarinos. No presente trabalho foi desenvolvida uma técnica de amostragem e análise de dados que permite a obtenção de perfis sedimentares com elevada resolução, baixo custo e rapidez. Foram recolhidos testemunhos de sondagem de sedimentos de estuários algarvios dos rios Alvor, Arade, Gilão-Almargem e Guadiana. Em cada estuário foram recolhidos três testemunhos de sondagem com cerca de 3 m de comprimento e 3 cm de diâmetro. Em laboratório foi analisada a cor dos sedimentos, todos os 5 cm, recorrendo ao espectrofótopmetro *Colortron*TM. A superfície de todos os testemunhos de sondagem analisados foi ainda digitalizada recorrendo ao *Scanner Mustek 1200 A3 PRO*. Em cada testemunho foram recolhidas amostras a todos os 5 cm de profundidade, para análise de elementos maiores e traço (*ICP/MS*), análise elementar *CNHS (Carlo Erba)*, datação ¹⁴C (*AMS*) e granulometria (*Malvern Mastersizer*). De um modo geral, o material e métodos adoptados permitiram a aquisição de dados de cor (*CIE Lab*) com boa reprodutibilidade. Os valores das componentes de cor CIE a e CIE b, quer no sedimento húmido quer no sedimento seco são estatisticamente semelhantes. Os valores médios de CIE L para o sedimento seco são mais elevados (59,5) que em sedimento húmido (35,1) e significativamente distintos. Relativamente ao teste de distância máxima de semelhança entre dois testemunhos de sondagem, verificou-se que, mesmo para uma distância mínima de 0,5 m, dois testemunhos de sedimentos estuarinos não se podem considerar equivalentes, isto com base nos 3 parâmetros de cor analisados. Com a Análise de Componentes Principais foi ainda possível comprovar estatisticamente que a cor do sedimento é influenciada pela sua composição química, sendo o conteúdo em Fe e Si determinantes na caracterização de unidades sedimentares. Foi também possível encontrar semelhanças entre unidades sedimentares de dois estuários através da cor. Contudo, estas necessitam de ser validadas com dados da composição química e da granulometria. Por fim, a extracção de factores foi útil na interpretação das numerosas variáveis em análise e permitiu obter uma visão global da variabilidade do sedimento em profundidade e da forma como os elementos químicos se relacionam entre si. Fica desta forma provada a utilidade da aplicação da espectrofotometria ao estudo de perfis sedimentares em ambientes estuarinos, bem como as suas vantagens e limitações que devem ser aceites em estudos futuros da cor dos sedimentos.

Palavras-Chave:

PERFIS SEDIMENTARES; ESPECTROFOTOMETRIA, COR, GEOQUÍMICA, ALGARVE

APPLICATION OF SPECTROPHOTOMETRY TO THE STUDY OF SEDIMENTARY PROFILES IN AN ESTUARINE ENVIRONMENT

ABSTRACT

The study of estuarine sediments applied to paleoenvironmental reconstruction had always been of extreme importance, as it reflects the coastal line evolution, either by local, regional or global changes. In this sense, efforts have been made in order to develop new techniques that enable the acquirement of high-resolution sedimentary data. In this work, new sampling and analytical methods, with low cost, were developed to study sedimentary profiles. Sediment cores were collected in 4 estuaries from the Algarve region (Guadiana, Almargem, Arade and Alvor). For each estuary, three cores were collected and each core had three centimeters of diameter and c.a. three meters length. The color of the sediments was acquired every five centimeters, using the spectrophotometer *Colortron*TM. Sediment core surface was digitized using the *Scanner Mustek 1200 A3 PRO*. Sediment samples have been taken every five centimeters depth of the cores for major and minor elements analysis (*ICP/MS*), elemental analysis *CNHS* (*Carlo Erba*), ¹⁴C dating (*AMS*) and grain size analysis (*Malvern Mastersizer*). For the color parameters *CIE Lab* data, a good reproducibility was obtained. *CIE a* and *CIE b* parameters are statistically similar for dry or wet sediment, but for *CIE L* there is a significant difference, with higher values for dry sediment. For the similarity test between 2 cores, even for a minimal distance of 0,5 m, with the color data, it is not possible to consider that the 2 cores are statistically equivalent. With the Principal Components Analysis, it was possible to prove that the sediment color is influenced by the chemical properties of the sediment. Fe and Si elements are determinant to characterize sedimentary units. It was also possible to compare two estuaries with the color properties of the sediments, but chemical and grain size data is necessary to validate the results. Factor Analysis was useful to interpret all the amount of variables and enabled to have a global view of sediment profile variability and how chemicals relate as well as chemicals relate with color parameters. In this way the application of spectroscopy for the study of estuarine sedimentary profiles is possible and useful, and the inherent advantages and limitations should be taken into account for future studies of sediment' color.

Keywords:

SEDIMENT PROFILE; SPECTROPHOTOMETRY; COLOR; GEOCHEMISTRY; ALGARVE.

ÍNDICE GERAL

1. <u>Introdução</u>	1
2. <u>Objectivos</u>	2
3. <u>Estado do Conhecimento</u>	3
3.1. <u>Estudos da Cor em Sedimentologia</u>	3
3.2. <u>Geoquímica</u>	5
4. <u>Material e Métodos</u>	10
4.1. <u>Enquadramento Geográfico</u>	10
4.1.1. <u>Bacia Hidrográfica do Alvor</u>	11
4.1.2. <u>Bacia Hidrográfica do Arade</u>	12
4.1.3. <u>Bacia Hidrográfica do Gilão-Almargem</u>	13
4.1.4. <u>Bacia Hidrográfica do Guadiana</u>	15
4.1.5. <u>Ambiente Sedimentar das Amostragens</u>	16
4.2. <u>Delineamento Experimental</u>	18
4.3. <u>Método de Análise da Cor</u>	22
4.4. <u>Método de Análise de Elementos Maiores e Traços</u>	23
4.5. <u>Método de Análise Elementar de Carbono, Azoto e Enxofre</u>	23
4.6. <u>Método de Análise Granulométrica</u>	24
4.7. <u>Método de Datação</u>	25
4.8. <u>Método de Análise Estatística</u>	25
5. <u>Resultados</u>	29
5.1. <u>A Reprodutibilidade do Espectrofotómetro Colortron</u>	29
5.2. <u>Teste à Distância Máxima em que 2 Testemunhos são Estatisticamente Semelhantes</u>	29
5.3. <u>Sedimentos Húmidos versus Sedimentos Secos</u>	31
5.4. <u>Perfis de Cor dos Sedimentos Estuarinos</u>	32
5.5. <u>Perfis dos Elementos Químicos nos Sedimentos Estuarinos</u>	35
5.6. <u>Perfis de Granulometria dos Sedimentos Estuarinos</u>	36
5.7. <u>A Relação entre a Cor e a Geoquímica nos Sedimentos Estuarinos</u>	38
5.7.1. <u>A Relação entre os Elementos Químicos nos sedimentos estuarinos</u>	40
5.8. <u>Datações</u>	44
6. <u>Discussão</u>	45
6.1. <u>Discussão do Método de Amostragem</u>	45

6.2. A Cor e a Geoquímica dos Sedimentos Estuarinos	47
6.2.1. Determinação de Unidades Sedimentares	47
6.2.2. A Relação entre a Cor e as Características Sedimentares	53
6.3. Caracterização Paleoambiental	58
7. Conclusões e Considerações Finais	63
8. Referências Bibliográficas	65

Anexo I – O Espectrofotômetro Colortron™

Anexo II – Locais de Amostragem

Anexo III – Imagens Digitais da Superfície dos Testemunhos de Sondagem

Anexo IV – Perfis Sedimentares de Química e de Granulometria

Anexo V – Identificação taxonômica de Fragmentos de Conchas Enviados para Datação

Anexo VI – PCA de Cor e de Química para o Testemunho AL2

Anexo VII – Factores e Relação com a Cor

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Localização dos estuários algarvios dos rios Alvor, Arade, Gilão-Almargem e Guadiana, de Oeste para Este, respectivamente.	10
Figura 2 – Localização das bacias hidrográficas do Alvor, Arade e Gilão-Almargem, de Oeste para Este, respectivamente (Mapa retirado de SIG realizado no âmbito do projecto LOCOTO).	11
Figura 3 – Mapa com limites das bacias hidrográficas do Alvor e do Arade, com indicação das principais linhas de água (Mapa retirado de SIG realizado no âmbito do projecto LOCOTO).	12
Figura 4 – Mapa com o limite da bacia hidrográfica do Gilão-Almargem, com indicação das principais linhas de água (Mapa retirado de SIG realizado no âmbito do projecto LOCOTO).	14
Figura 5 – Mapa da Península Ibérica com o limite da bacia hidrográfica do Guadiana (a verde escuro). Adaptado da página Internet do INAG < http://mapas.inag.pt/Website/AgSupHTML/viewer.htm >	15
Figura 6 – Zona de amostragem no estuário do Alvor.	16
Figura 7 – Instrumento de recuperação de testemunhos de sondagem – meia cana.	18
Figura 8 – Fotografia e esquema representativo do modo de sub amostragem do sedimento no testemunho. O esquema é um exemplo de uma sub-amostra dos 1,24 aos 1,26 m, onde o ponto de leitura (1) da cor foi aos 1,25 m.	21
Figura 9 – Imagem digital de uma secção do testemunho de sondagem digitalizada no Scanner Mustek A3 PRO. Na parte superior da imagem encontra-se uma paleta de cores padrão, fornecida com o aparelho Colortron™ e usada na calibração deste.	22
Figura 10 – Comparação dos parâmetros de cor (CIE Lab) para os testemunhos A e B distantes 0,5 m para o local LG1 (a) e LG2 (b).	30
Figura 11 – Diagrama de extremos e quartis com a média dos parâmetros de cor CIE L, CIE a e CIE b, em sedimento húmido e seco, de um total de 144 amostras da região.	31
Figura 12 – Perfis dos parâmetros de cor CIE Lab, para os testemunhos de sondagem recolhidos nos estuários Alvor (a) e Arade (b).	33
Figura 13 – Perfis dos parâmetros de cor CIE Lab, para os testemunhos de sondagem recolhidos nos estuários Gilão-Almargem (a) e Guadiana (b).	34
Figura 14 – Perfis dos elementos químicos analisados para o testemunho de sondagem AL3 do estuário do Alvor. As concentrações para os elementos químicos Ba, Sr, Y, Sc, Zr, Be e V encontram-se em p.p.m. e os restantes em %.	35
Figura 15 – Perfis de granulometria, Média (ϕ) e Calibragem (ϕ) do tamanho das partículas no testemunho de sondagem GD2 (Guadiana) e T1 (Gilão-Almargem).	37
Figura 16 – Factor 1 <i>versus</i> Factor 2 resultante da Análise de Factores, com extracção de 3 factores. As variáveis são: Si, Al, Fe, Mg, Mn, Ca, Ti, Na, K, P, Ba, Sr, Y, Zr, Sc, Be, V, TOC, TIC, TN e TS. Amostras: 54, dos estuários do Alvor e Guadiana.	41
Figura 17 – Factor 1 <i>versus</i> Factor 3 resultante da Análise de Factores, com extracção de 3 factores. Variáveis: Si, Al, Fe, Mg, Mn, Ca, Ti, Na, K, P, Ba, Sr, Y, Zr, Sc, Be, V, TOC, TIC, TN e TS. Amostras: 54, dos estuários do Alvor e Guadiana.	42

Figura 18 – Factor 1 versus Factor 2 resultante da Análise de Factores, com extracção de 3 factores. Variáveis: Si, Al, Fe, Mg, Mn, Ca, Ti, Na, K, P, Ba, Sr, Y, Zr, Sc, Be, V, TOC, TIC, TN e TS. Amostras: 25, do estuário do Alvor.	43
Figura 19 – Factor 1 versus Factor 2 resultante da Análise de Factores, com extracção de 3 factores. Variáveis: Si, Al, Fe, Mg, Mn, Ca, Ti, Na, K, P, Ba, Sr, Y, Zr, Sc, Be, V, TOC, TIC, TN e TS. Amostras: 29, do estuário do Guadiana.	43
Figura 20 – Resultados dos testemunhos de sondagem AL1, AL2 e AL3. (a) Perfis dos parâmetros de cor CIE Lab. Nº total de amostras: AL1= 38; AL2 = 52; AL3 = 52. (b) Imagem digital da superfície dos testemunhos, com indicação da idade radiocarbono – AMS. (c) Perfis de Si, Fe, Ca, Sr, em % de peso seco. Nº total de amostras: AL1= 9; AL2 = 13; AL3 = 12.	48
Figura 21 – Resultados dos testemunhos de sondagem GD1, GD2 e GD3. (a) Perfis dos parâmetros de cor CIE Lab. Nº total de amostras: GD1= 52; GD2 = 57; GD3 = 51. (b) Imagem digital da superfície dos testemunhos, com indicação da idade radiocarbono – AMS. (c) Perfis de Si, Fe, Ca, Sr, em % de peso seco. Nº total de amostras: GD1= 12; GD2 = 14; GD3 = 12.	49
Figura 22 – Análise de componentes principais dos dados do testemunho de sondagem AL1 (Alvor), com o número total de amostras = 9. Em (a) as variáveis são os parâmetros de cor CIE Lab. Em (b) as variáveis são os elementos químicos Si %, Fe %, Ca %, Sr p.p.m.	50
Figura 23 – Análise de componentes principais dos dados do testemunho de sondagem GD3 (Guadiana), com o número total de amostras = 12. Em (a) as variáveis são os parâmetros de cor CIE Lab. Em (b) as variáveis são os elementos químicos Si %, Fe %, Ca %, Sr p.p.m.	51
Figura 24 – CIE a versus CIE b para todos os dados de cor obtidos nos testemunhos de sondagem AL1 (38 amostras) e GD3 (51 amostras). Foi calculada a regressão linear para as duas unidades sedimentares definidas com base no PCA da cor.	53
Figura 25 – Perfis de Ca/Sr, TOC/TN, vector DE e F1 para o testemunho de sondagem AL1. Em segundo plano encontra-se uma imagem digital, adaptada da superfície do testemunho.	58
Figura 26 – Perfis de Ca/Sr, TOC/TN, vector DE e F1 para o testemunho de sondagem AL3. As datações indicadas possuem um erro de ± 40 anos.	59

ÍNDICE DE TABELAS

<u>Tabela I – Coordenadas geográficas e UTM, e profundidade atingida dos testemunhos de sondagem recolhidos nos estuários algarvios (Datum WGS84).</u>	<u>17</u>
<u>Tabela II – Tabela ANOVA para os 3 replicados de CIE L para LG 1 50, LG1 100, LG1 200, LG2 50, LG2 100 e LG2 200.</u>	<u>30</u>
<u>Tabela III – Características da cor dos sedimentos da zona em estudo, para os parâmetros CIE Lab.</u>	<u>32</u>
<u>Tabela IV – Matriz de correlação de CIE Lab em função dos parâmetros químicos e granulométricos, com referência aos testemunhos de sondagem quando nestes a correlação é positiva e superior a 0,5.</u>	<u>39</u>
<u>Tabela V – Matriz de correlação de CIE Lab em função dos parâmetros químicos e granulométricos, com referência aos testemunhos de sondagem quando nestes a correlação é negativa e inferior a -0,5.</u>	<u>40</u>
<u>Tabela VI – Espécies identificadas nas amostras analisadas e tipo de habitat (Hayward e Ryland, 1995; Macedo et al., 1999; Muzavor, 1991; Muzavor e Morenito, 1999; Tebble, 1976).</u>	<u>44</u>
<u>Tabela VII – Matriz de correlação para os factores F1, F2 e F3 e para os parâmetros de cor CIE L, CIE a, CIE b e Vector DE, obtidas para um total de 54 amostras dos estuários do Alvor e Guadiana.</u>	<u>55</u>
<u>Tabela VIII – Matriz de correlação para os factores F1, F2 e F3 e para os parâmetros de cor CIE L, CIE a, CIE b e Vector DE, obtidas para 25 amostras do estuário do Alvor.</u>	<u>56</u>
<u>Tabela IX – Matriz de correlação para os factores F1, F2 e F3 e para os parâmetros de cor CIE L, CIE a, CIE b e Vector DE, obtidas para 29 amostras do estuário do Guadiana.</u>	<u>56</u>
<u>Tabela X – Caracterização do estrato a que pertencem as amostras (idade, paleoambiente e flutuação do nível do mar).</u>	<u>60</u>

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos verificou-se um aumento da importância dos estudos paleoambientais o que originou uma crescente necessidade de encontrar métodos de análise que permitam a aquisição de dados de elevada resolução, de uma forma rápida e de fácil compilação.

Até ao presente, os métodos frequentemente usados para análise de sedimentos no âmbito das variações climáticas em ambientes continentais passam pela recuperação de testemunhos sedimentares e envolvem estudos geoquímicos (Freitas *et al.*, 1998; 2002; Lopez-Buendia *et al.*, 1999, etc.), sedimentológicos (Andrade *et al.*, 2004; Boski *et al.*, 2002, etc.), estratigráficos (Andrade *et al.*, 2004; Hernandez-Molina *et al.*, 2002; Madureira *et al.*, 1997, etc.) macro e micropaleontológicos (Barcena e Abrantes, 1998, Boski *et al.*, 2002; Cronin *et al.*, 1999), etc. Qualquer destes métodos envolve análises morosas e/ou dispendiosas e nenhum permite adquirir perfis contínuos de dados. A cor dos sedimentos e/ou a reflectância, têm também sido analisados em testemunhos sedimentares, principalmente em sedimentos marinhos profundos (Andrews e Barber, 2002; Balsam *et al.*, 1998, 1999; Chapman e Shackleton, 1998, 2000; Cramer, 2001; Giosan *et al.*, 2002a e b) e também em sedimentos de lagos interiores (Steenbrink *et al.*, 2003).

As zonas costeiras, devido a elevadas taxas de sedimentação, são locais propícios a registar variações climáticas com elevada resolução temporal, que poderá ir até uma escala de décadas. Os sedimentos estuarinos costeiros da região do Algarve são depósitos do Holocénico, época em que se verificou uma rápida subida do nível do mar até aos 5000 anos BP seguida de uma subida mais lenta com pequena amplitude nas variações do nível do mar até ao presente (Boski *et al.*, 2002; Dias *et al.*, 2000).

Este trabalho é parte integrante do projecto de investigação científica LOCOTO –

Development of a Low Cost Tool for studies in estuarine sediments: Application to paleoclimatology and paleoenvironment (POCTI/CTA/39733/2001), desenvolvido na Universidade do Algarve e financiado pelo FEDER e OE através da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT).

2. OBJECTIVOS

Com este trabalho pretende-se verificar a aplicabilidade da espectrofotometria para estudar perfis sedimentares em ambientes estuarinos. Para cumprir este objectivo é necessário:

- a) Compreender a relação entre as componentes de cor (CIE Lab) e a composição química e a granulometria dos sedimentos. Não menos importante é a necessidade de explorar o significado/origem dos elementos químicos, em termos de presença e/ou conteúdo nos sedimentos estuarinos, bem como a relação entre elementos;
- b) Escrutinar em que condições de humidade, os dados de cor, melhor reflectem a composição do sedimento;
- c) Esclarecer em que medida os perfis digitais de cor podem ser usados para documentar a evolução dos sedimentos estuarinos ao longo do tempo;
- d) Correlacionar testemunhos de sondagem intra e inter estuários, recorrendo aos dados de cor do sedimento e algumas datações, através da identificação de pontos comuns nos perfis entre testemunhos.

A aplicação da espectrofotometria ao estudo de perfis sedimentares em ambientes estuarinos e/ou continentais deverá constituir uma nova ferramenta que permita estabelecer rapidamente perfis sedimentares de testemunhos de sondagem de uma forma prática, económica e de elevada resolução, para estudos de reconstrução paleoambiental, por exemplo.

3. ESTADO DO CONHECIMENTO

3.1. ESTUDOS DA COR EM SEDIMENTOLOGIA

A cor dos sedimentos e das rochas tem origem em alterações da energia electromagnética nas orbitais dos electrões, causadas pela absorção de fotões, que ocorrem nos elementos de transição contidos na estrutura cristalina dos minerais (Burns, 1970 *in* Blum, 1997).

Um dos modos mais objectivos de medir a cor é através da espectrofotometria difusa – reflectida (Blum, 1997). O espectrofotómetro permite adquirir dados digitais da cor do sedimento de forma contínua, ou quase (Nederbragt *et al.*, 2000). Estes dados digitais correspondem a coordenadas esféricas referentes a um dado espaço de cor tridimensional resultante da conversão dos dados espectrais. O espaço de cor tridimensional frequentemente usado em estudos de sedimentos é o CIE (*Commission International d'Éclairage*) Lab (Andrews e Freeman, 1996).

Os usos mais comuns dos dados de cor são: (1) os parâmetros de cor CIE Lab fornecem séries temporais detalhadas de alterações relativas da composição do material e são frequentemente usados para correlacionar secções de testemunho para testemunho e para analisar a ciclicidade de alterações litológicas (Deaton e Balsam, 1991); e (2) os dados de espectro podem ser usados para determinar a abundância de certos compostos químicos (Deaton e Balsam, 1991).

Os resultados obtidos por Chapman e Shackleton (1998) mostram que o espectrofotómetro é uma ferramenta válida na investigação da variabilidade de sequências de sedimentos, quantificando frequentemente a variabilidade que não pode ser observada visualmente. É evidente que o espectrofotómetro é uma ferramenta excelente para dirigir a questão da existência de variabilidade coerente dentro do registo geológico, e que possua também valor estratigráfico no estabelecimento de correlações

testemunho para testemunho sobre zonas mais abrangentes. Embora a resolução máxima temporal adquirida, das medições realizadas ao longo do testemunho de sondagem, seja afinal determinada pelas taxas de sedimentação. A existência de variações abruptas dentro de intervalos de 2 a 4 cm de profundidade revela a possibilidade de estarem preservadas nos sedimentos marinhos flutuações à escala de séculos ou mesmo de décadas, até depois de retirar a influência dos processos de bioturbação.

A humidade afecta significativamente a reflectância da cor. Nagao e Nakashima (1991) estudaram a diferença entre testemunhos de sondagem marinhos secos e húmidos com base no espaço de cor CIE Lab. Descobriram que para sedimentos pelágicos típicos do primeiro metro abaixo do fundo marinho, o valor de CIE L é cerca de 20% superior em amostras secas e CIE a e CIE b tomam valores superiores em cerca de 1%. Felizmente, a variabilidade do perfil dos parâmetros de cor não altera as suas características em função da humidade, desde que a influência desta seja homogénea em todo o sedimento (Nagao e Nakashima, 1991). Estes autores também examinaram os efeitos da dimensão dos grãos, adição de água a amostras secas e oxidação. Concluíram que os valores de CIE L são essencialmente controlados pelo conteúdo de água com reduzida dimensão dos grãos e efeito de homogeneização; os valores de CIE a e CIE b são controlados pelo conteúdo de água, oxidação de materiais esverdeados e pela dimensão dos grãos (Blum, 1997).

Andrews e Freeman (1996) realizaram um estudo em que foi testado o espectrofotómetro Colortron™ na medição da cor dos sedimentos marinhos (ver Anexo I, sobre as propriedades do Colortron). Segundo estes autores, métodos rápidos e não destrutivos para a análise de testemunhos de sondagem de sedimentos marinhos e lacustres permitem uma detecção de alterações rápidas nas propriedades dos sedimentos

e dos processos controladores. Contudo, medições de, por exemplo, susceptibilidade magnética (Andrews *et al.*, 1995) são normalmente espaçadas 3 a 10 cm de intervalo e integram uma propriedade dentro de um ou mais centímetros. Porém o espectrofotómetro Colortron™ tem a capacidade de medir uma propriedade importante do sedimento, a cor, à escala milimétrica. Consideram ainda que a quantificação da cor é importante em adição a medições ao longo da sondagem e deveria substituir o julgamento subjectivo da cor baseado na escolha por parte do observador da paleta de cores apropriadas da escala de Munsell. Com este trabalho Andrews e Freeman (1996) concluíram que o espectrofotómetro Colortron™ é um instrumento versátil e com óptima reprodutibilidade.

Alterações na cor de sedimentos marinhos ou lacustres reflectem alterações de granulometria do sedimento, composição mineralógica, composição química da água intersticial e produtividade biológica. Estes são os sinais primários de alterações no ambiente de deposição e sua proveniência (Andrews e Freeman, 1996). Desta forma os dados de cor quantitativos podem ser usados como proxy em estudos paleoambientais (Nederbragt *et al.*, 2000). Quando aplicado aos estudos de sedimentos estuarinos, não se deve razoavelmente esperar encontrar as mesmas relações que em estudos de sedimentos marinhos profundos ou lacustres. No entanto medidas contínuas de cor em testemunhos sedimentares provindos de tais ambientes deveriam mostrar uma relação com factores ambientais, nomeadamente climáticos.

3.2. GEOQUÍMICA

As características cromáticas do sedimento são, em regra, dadas pelos minerais ricos em ferro: os oxihidróxidos, sulfuretos e minerais argilosos ricos em ferro. A luminosidade do sedimento aumenta com o conteúdo em carbonatos e opalas e diminui

com o conteúdo em matéria orgânica (Balsam e Deaton, 1991; 1996; Mix *et al.*, 1995; Giosan, 2002a). Outros minerais constituintes podem também exercer influência secundária na reflectância (Mix *et al.*, 1995; Balsam e Deaton, 1996; Giosan, 2002a). Os resultados de várias investigações em campanhas ODP (*Ocean Drilling Project*) revelaram que a correlação entre o CIE L e o conteúdo em carbonatos é a melhor e mais óbvia e semelhante em vários locais. Os parâmetros CIE a e CIE b não parecem conter muita informação sobre variações características ou cíclicas sendo, no entanto, sensíveis à mineralogia das argilas e conteúdo em nanofósseis (Blum, 1997). Ainda foi observado em testemunhos de sondagem de sedimentos marinhos profundos que existe uma alternância do padrão claro / escuro de sedimentos ricos em carbonatos e ricos em argilas, evidentes em sequências marinhas do Pliocénico superior e Quaternário, o que providencia um válido, mas de algum modo impreciso, proxy paleoclimático (Bond *et al.*, 1992; Cortijo *et al.*, 2000).

Alguns elementos químicos comuns nos sedimentos reflectem as condições ambientais e os processos envolvidos aquando da sua deposição num determinado local. Elementos como a Sílica (Si) e o Ferro (Fe) são tão abundantes que as suas propriedades químicas governam o comportamento dos materiais geológicos. Elementos menos abundantes como o Rubídio (Rb) ou o Estrôncio (Sr) participam de forma mais passiva nos processos geológicos e ainda assim ajudam a perceber como funcionam esses processos (Gill, 1989).

Em termos de abundância nos materiais geológicos, os elementos químicos são divididos em duas classes: os elementos maiores e os elementos traços. Contudo, um mesmo elemento pode ser considerado maior num dado tipo de rocha (e.g.: o Potássio (K) no granito) ou traço noutra tipo de rocha (K em peridotite) (Gill, 1989).

Si, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, Ti, P – Estes elementos químicos são considerados, de uma forma geral como elementos maiores, possuindo concentrações que excedem 0,1% e são os constituintes essenciais dos minerais que formam as rochas. Desta forma os elementos menos abundantes desta classe podem possuir concentrações na forma de óxidos inferiores a 1 % (Gill, 1989). A Sílica é o elemento mais abundante na crosta terrestre, ocorre no estado oxidado (SiO_2) numa variedade de cristais (ex: quartzo), no seu estado elementar possui uma cor cinzento-escuro levemente azulada. O quartzo tem solubilidade baixa na água, mas significativa. O Alumínio (Al) é o elemento metálico mais comum na crosta terrestre, e tem cor prateada (Gill, 1989; Leeder, 1999). O Ferro (Fe), o Manganês (Mn) e o Titânio (Ti) pertencem ao grupo dos metais de transição. Muitos minerais devem a sua cor à presença de metais de transição, e estes são responsáveis pelo magnetismo de minerais e consequentemente de rochas. O elevado teor em Ferro nos minerais pode produzir uma tonalidade avermelhada, nos mesmos (ex: limonite), apesar do elemento na sua forma pura ser cinzento metálico. O Manganês pode contribuir para a cor rosa nos minerais (ex: carbonato de manganês), sendo a sua cor no estado elementar o prateado. O Titânio no seu estado elementar também possui uma cor prateada. O Magnésio (Mg) e o Cálcio (Ca) pertencem ao grupo dos metais terrígenos alcalinos, que formam óxidos básicos estáveis e possuem a cor branco – prateada. O Mg^{2+} é o segundo catião mais importante na água do mar. O Ca^{2+} , é menos abundante na água do mar que o Mg^{2+} , mas os sais de cálcio (carbonatos e sulfatos) estão entre os primeiros a precipitar com a evaporação. A maior parte do Cálcio nos sedimentos tem origem em calcários biogénicos (Gill, 1989). O Sódio (Na) e o Potássio (K) pertencem ao grupo dos metais alcalinos. Possuem uma cor branco-prateada e são muito reactivos, oxidam ao ar e os seus óxidos têm um carácter básico em relação à escala de pH. Alguns compostos com estes metais são muito solúveis em

água e por isso são dos primeiros a sofrerem meteorização. O catião de sódio é o dominante na água do mar e o potássio é um nutriente importante para as plantas (Gill, 1989; Leeder, 1999). Os fosfatos pertencem a uma minoria importante de rochas sedimentares. A forma elementar do Fósforo (P) não ocorre na natureza, existindo como oxianião de fosfato (PO_4^{3-}) que é comum no mineral acessório apatite ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$). O Fósforo pode não ter cor, ser avermelhado ou branco – prateado. Na água do mar a sua concentração é baixa (cerca de 0,07 p.p.m.). É um componente essencial de todas as células vivas, e está presente em fertilizantes utilizados na agricultura. O fluxo do fósforo para os oceanos está de acordo com os processos de meteorização e sua magnitude que ocorrem nos continentes. Os teores de fósforo que chegam aos oceanos por esta via abafam qualquer outra fonte de fósforo (e.g.: atmosférica) (Amethyst Galleries Inc., 1995, 1996; Gill, 1989; Leeder, 1999; Winter, 1993-2003).

Ba, Sr, Y, Sc, Zr, Be, V – Estes elementos ocorrem como impurezas integradas nos minerais que formam rochas ou em minerais acessórios separados e a sua concentração expressa-se normalmente em p.p.m. (parte por milhão) (Gill, 1989). O Bário (Ba), o Estrôncio (Sr) e o Berílio (Be) pertencem ao grupo dos metais terrígenos alcalinos. O Bário e o Estrôncio possuem uma coloração branco prateada e o Berílio um tom cinzento. O Itrio (Y), o Escândio (Sc), o Zircão (Zr) e o Vanádio (V) pertencem ao grupo dos metais de transição. À excepção do Vanádio de cor cinzenta metalizada, todos estes elementos têm cor branco – prateada. Quando se encontra presente, o Vanádio pode dar uma tonalidade vermelho – alaranjado aos minerais (ex: vanadinite). O Itrio é um elemento raro na natureza. A partir da razão Cálcio/Estrôncio é possível determinar a origem do material depositado, isto é, se tem origem marinha (ex: formação de calcite biogénica) ou de água doce, não biogénica (Amethyst Galleries Inc., 1995, 1996; Gill, 1989; Leeder, 1999; Winter, 1993-2003).

À parte das duas classes de elementos químicos definidas anteriormente encontram-se elementos como o Carbono (C) que ocorre na crosta terrestre principalmente na forma de carbonato, sendo que a maior parte é biogénico. O Carbono pode ter uma tonalidade preta (ex: grafite) ou sem coloração (ex: diamante). O Azoto (N) não tem coloração e na sua forma N_2 é o constituinte da maior parte da atmosfera e forma óxidos gasosos estáveis (N_2O , NO , NO_2). O azoto é ainda um importante constituinte dos seres vivos (Gill, 1989). A partir da razão Carbono/Azoto, por exemplo, é possível estimar se a origem destes elementos está numa planta superior ou numa alga marinha (e.g.: Dellwig *et al.* 1998). O Enxofre (S) nativo forma incrustações amarelas em volta de fontes quentes ricas em H_2S e SO_2 . Pode ocorrer em rochas sedimentares como resultado da redução bacteriana do sulfato (Gill, 1989; Leeder, 1999; Winter, 1993-2003).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO

Neste trabalho foram amostrados 4 estuários (Alvor, Arade, Gilão-Almargem e Guadiana) da região do Algarve (fig. 1). Esta região localiza-se na parte mais a Sul de Portugal Continental, sudoeste da Península Ibérica. A Norte faz fronteira com a região do Alentejo e a Este com Espanha, sendo o Oceano Atlântico a fronteira Sul e Oeste.

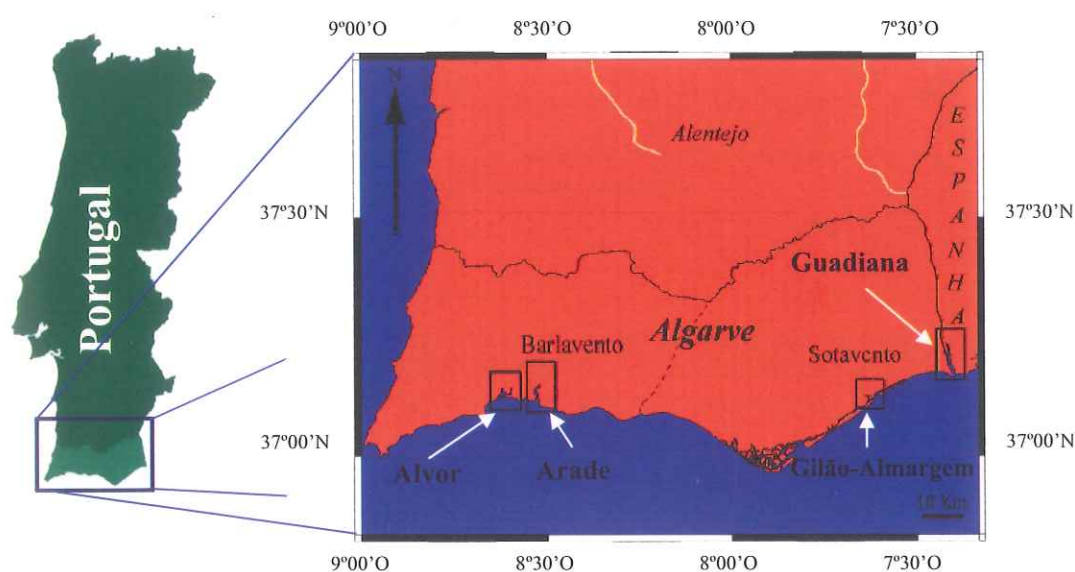


Figura 1 – Localização dos estuários algarvios dos rios Alvor, Arade, Gilão-Almargem e Guadiana, de Oeste para Este, respectivamente.

A região algarvia possui uma área de cerca de 5019 km² e engloba três zonas geomorfológicas: a Serra, constituída por montanhas Hercínicas a norte; a Zona Central denominada por Barrocal; a Orla Litoral a Sul. As montanhas Hercínicas pertencem ao Maciço Hespérico e são compostas essencialmente por xistos e grauvaques. O Barrocal é ocupado por formações do Jurássico e Cretácico, compostas essencialmente por calcários, margas e calcários dolomíticos altamente carsificados. A Orla Litoral Sul é dominada por calcarenitos e sedimentos siliciclásticos que pertencem ao Miocénico e Plio-Plistocénico, respectivamente (Ribeiro *et al.*, 1979).

A altitude média da região é de 150 m e a altitude máxima atinge 902 m em Fóia, no alto da Serra de Monchique. Nas serras de Monchique e Espinhaço de Cão, a noroeste, e na serra do Caldeirão, a nordeste, nascem os principais cursos de água da região, que escoam para o litoral (Anónimo, 2000). Na figura 2 é possível observar a delimitação das bacias hidrográficas do Alvor, Arade e Gilão-Almargem, da esquerda para a direita, respectivamente.

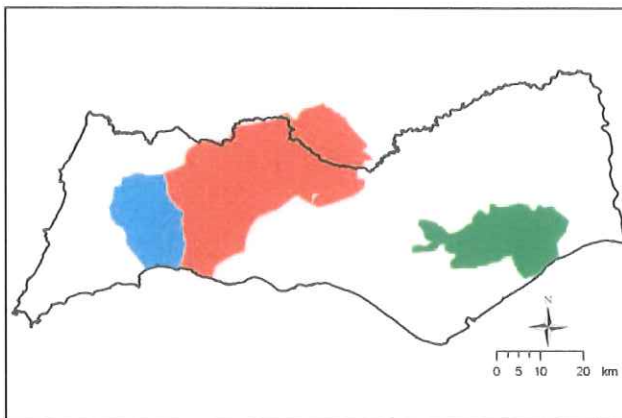


Figura 2 – Localização das bacias hidrográficas do Alvor, Arade e Gilão-Almargem, de Oeste para Este, respectivamente (Mapa retirado de SIG realizado no âmbito do projecto LOCOTO).

De seguida são referidas algumas das principais características geográficas e geológicas de cada bacia hidrográfica em estudo.

4.1.1. Bacia hidrográfica do Alvor

A bacia do rio Alvor ocupa uma área de 257 km² e é limitada a Norte e a Oeste pelas bacias das ribeiras de Aljezur e Bensafrim e a Este pela bacia do Arade. Os sistemas hidrográficos mais importantes desta bacia são as ribeiras de Odiáxere, com 30 km de extensão, do Arão (22 km), do Farelo (20 km) e da Torre (22 km) (fig. 3). Na confluência da ribeira do Farelo e da Torre nasce o rio Alvor que, com apenas 4 km até à foz, constitui uma zona de estuário/laguna. Estas linhas de água nascem na zona da Fóia, na Serra de Monchique, com direcção N-S. Este relevo constitui um maciço intrusivo (sienitos nefelínicos, teschenitos, essexitos, teralitos e brechas eruptivas do Cretácico superior) nas rochas da Formação da Brejeira (Carbónico superior) (Oliveira *et al.*, 1992b). Nos últimos 10 km da bacia do Alvor, em direcção à foz, são drenadas

rochas do Mesozóico (arenitos de Silves do Triássico, calcários compactos, calcários margosos e doleritos do Jurássico inferior) e do Cenozóico (areias rubificadas e cascalheiras do Pliocénico, e areias e lodos do Holocénico)¹ (Anónimo, 2000; Oliveira, 1992a).

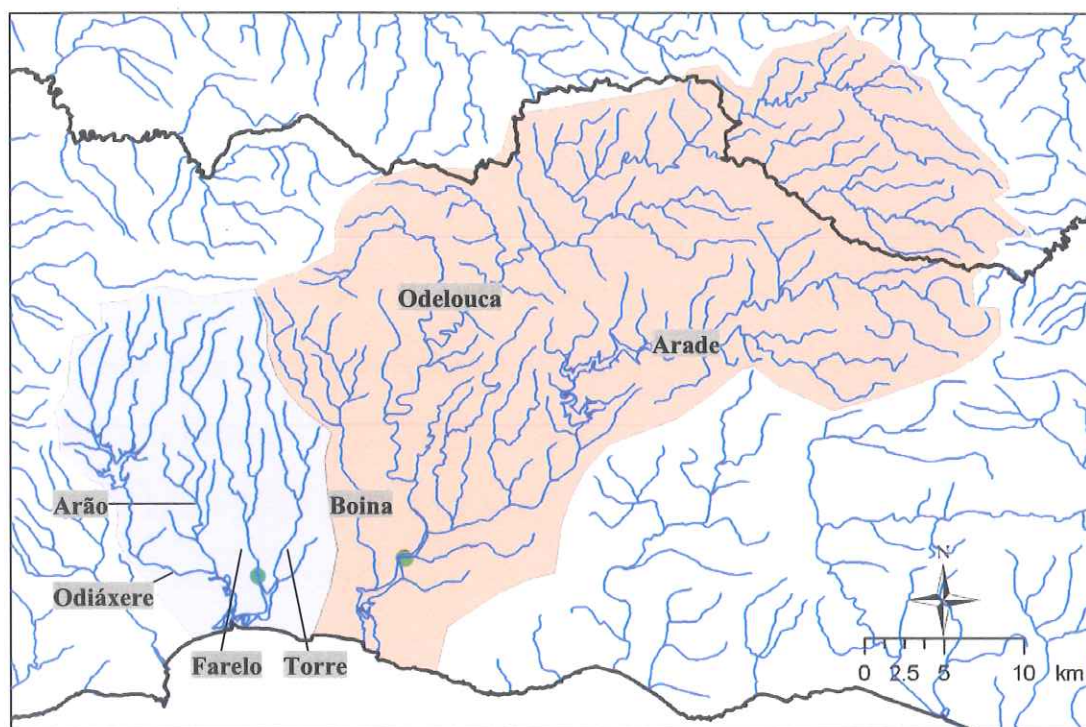


Figura 3 – Mapa com limites das bacias hidrográficas do Alvor e do Arade, com indicação das principais linhas de água (Mapa retirado de SIG realizado no âmbito do projecto LOCOTO).

4.1.2. Bacia hidrográfica do Arade

A bacia hidrográfica do Arade é limitada a Oeste pela bacia do Alvor, a Noroeste pela bacia da ribeira de Seixe, a Norte pela bacia do rio Mira e a Nordeste pela bacia do rio Guadiana, a Sudeste pela bacia da ribeira de Alcantarilha e a Este pela bacia da ribeira de Quarteira. A bacia do Arade possui uma área de 987 km². As principais linhas de água são o rio Arade (75 km de extensão) e a ribeira de Odelouca (92 km), nascem na Serra do Caldeirão com direcção ENE-OSO (fig. 3). Este relevo é constituído por

¹ Cartas topográficas do exército à escala 1:25 000, folhas 584, 585, 593, 594, 603; Carta geológica de Portugal à escala 1:200 000 (folha 7 e 8).

rochas do flysch do Baixo Alentejo, do Carbónico médio (Formação de Mira - grauvaques, siltitos e pelitos). O rio Arade drena várias litologias, como os grauvaques da Formação da Brejeira (Carbónico superior), seguindo durante 10 km, uma forma rectilínea e raramente meandriforme, o contacto NE-SO entre as rochas Paleozóicas e Mesozóicas (arenitos de Silves do Triássico, complexo margo-carbonatado de Silves e série vulcano-sedimentar básica associada – doleritos e basaltos, calcários cristalinos e dolomíticos do Jurássico inferior). Desde a confluência da ribeira de Odelouca com o rio Arade, a 8 km da foz, o rio atravessa margas e calcários do Jurássico médio, formações carbonatadas do Miocénico, areias rubificadas e cascalheiras do Pliocénico, bem como lodos e areias do Holocénico. A ribeira de Boina com 26 km de extensão constitui um sistema N-S, que nasce na Serra de Monchique, mais ou menos paralelo à ribeira de Farelo (bacia do Alvor), e conflui com o rio Arade a cerca de 4 km da foz do estuário² (Anónimo, 2000; Oliveira, 1992a).

4.1.3. Bacia hidrográfica do Gilão-Almargem

Este sistema hidrográfico faz parte da bacia da ria Formosa conforme a classificação do Ministério do Ambiente (Anónimo, 2000). A bacia do Gilão-Almargem é limitada a Norte e a Este pela bacia do rio Guadiana e a Oeste pela bacia da ribeira de Quarteira. A área de bacia considerada neste estudo é estimada em cerca de 270 km². As principais linhas de água nascem na Serra Algarvia, mais precisamente na Serra de Alcaria do Cume com 525 m de altitude, pertencente à terminação Este da Serra do Caldeirão. A serra é constituída por rochas da Zona Sul Portuguesa, do Grupo do flysch do Baixo Alentejo, do Carbónico médio (Formação de Mira - grauvaques, siltitos e pelitos). A ribeira de Alportel (fig. 4) é o curso de água mais importante, com cerca de 50 km de

² Cartas topográficas do exército à escala 1:25 000, folhas 578, 579, 585, 586, 587, 588, 594, 595, e 596; Carta geológica de Portugal à escala 1:200 000 (folha 7 e 8).

extensão e de direcção O-E, possuindo alguns trechos meandriiformes e medianamente encaixados. Nos últimos 10 km, a direcção inflecte para N-S, confluindo com a ribeira da Asseca (O-E, circulando exclusivamente em rochas Mesozóicas), passando a denominar-se Rio Séqua (10 km de extensão). A zona de confluência coincide com o contacto entre as rochas Paleozóicas e Mesozóicas (arenitos de Silves do Triássico superior, calcários, dolomitos, complexos margo-carbonatado-evaporíticos e complexo vulcano-sedimentares básicos do Jurássico) (Oliveira, 1992a; Oliveira *et al.*, 1992b).

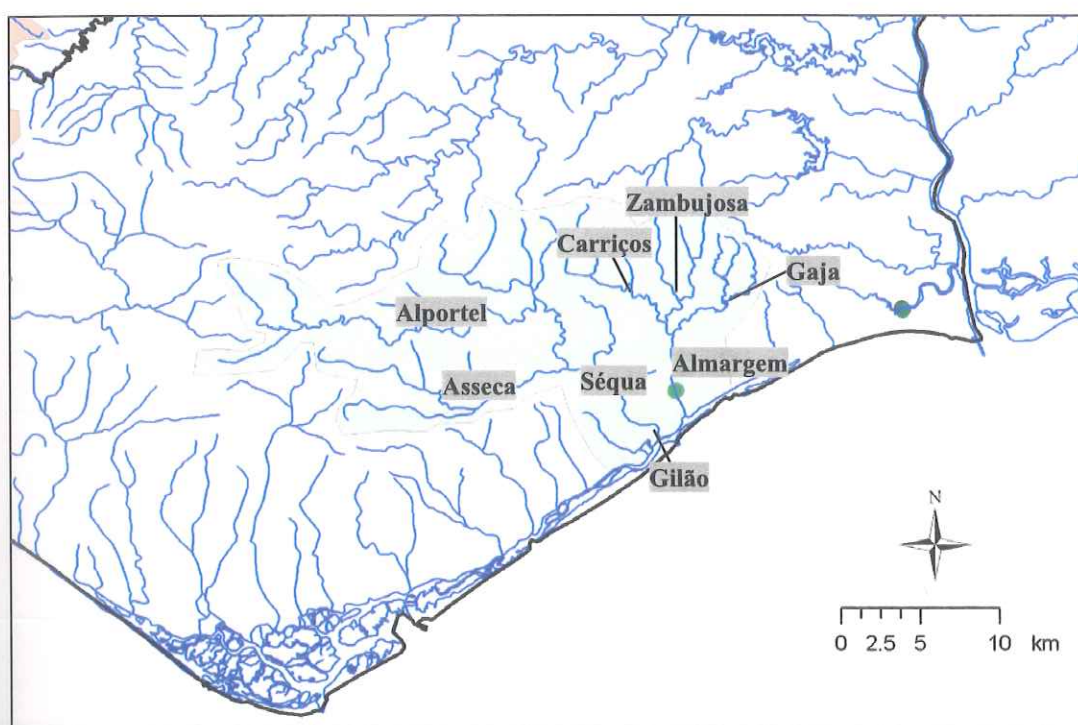


Figura 4 – Mapa com o limite da bacia hidrográfica do Gilão-Almargem, com indicação das principais linhas de água (Mapa retirado de SIG realizado no âmbito do projecto LOCOTO).

O rio Gilão é a designação do troço estuarino (2 km) do Rio Séqua que atravessa siltes e conglomerados do Miocénico e aluviões, areias e lodos do Holocénico. As ribeiras de Carrichos, Zambujosa e Gaja formam um sistema N-S e atravessam geologias descritas anteriormente referentes a Serra Algarvia, e da confluência destas surge a ribeira do Almargem. Esta ribeira percorre cerca de 8 km e atravessa formações

semelhantes àquelas descritas para o rio Séqua. O rio Gilão e a ribeira de Almargem desaguam na Ria Formosa nas zonas da Cidade de Tavira e da Vila de Cabanas respectivamente. Nesta zona a ria Formosa está separada do Oceano Atlântico pela ilha/cordão litoral de Tavira³ (Anónimo, 2000; Oliveira, 1992a).

4.1.4. *Bacia hidrográfica do Guadiana*

Esta bacia hidrográfica é a 4ª maior da Península Ibérica e tem cerca de 70 000 km² (fig. 5). O comprimento do rio Guadiana é cerca de 750 km, de direcção E-O, inflectindo para N-S no segmento fronteiriço de Portugal/Espanha. É limitada pela bacia do Tejo a Norte, do Jucar a Este, do Guadalquivir a Sul (em território espanhol), do Sado, Mira e bacia da ria Formosa a Oeste. Grande parte da água drenada, tem origem em relevos espanhóis na região da Mancha, como a serra Morena, serra de Pineda (1015 m) e a serra de Guadalupe (1601 m) (Anónimo, 2000; Morales, 1997).

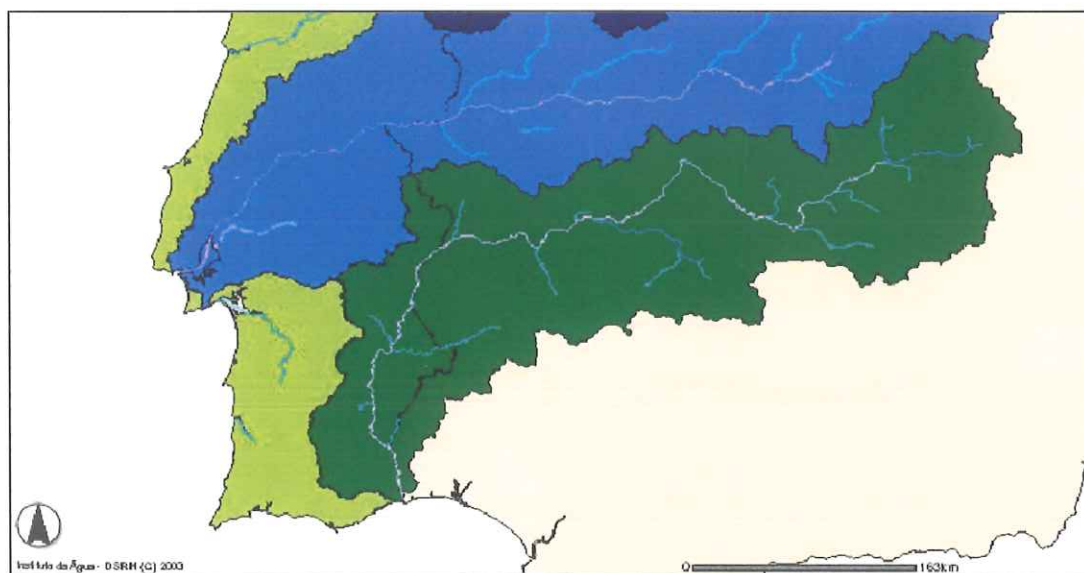


Figura 5 – Mapa da Península Ibérica com o limite da bacia hidrográfica do Guadiana (a verde escuro). Adaptado da página Internet do INAG <http://mapas.inag.pt/Website/AgSupHTML/viewer.htm>

Os principais afluentes do lado espanhol são os rios: Giguela, Riansares, Záncara,

³ Cartas topográficas do exército à escala 1:25 000, folhas 590, 598, 599, 600, 607 e 608; Carta geológica de Portugal à escala 1:200 000 (folha 7 e 8).

Jabalón, Azuer, Bullaque, Esteras, Guadalme, Zújar, Guadamez, Matachel, Ruecas, Burdalo, Zapatón e Gévora. Na parte portuguesa temos as ribeiras de: Ardila, Terges, Oeiras, Carreiros, Lampreia, Vascão, Cadavais, Foupana, Odeleite, Beliche e Esteiro da Lezíria. As litologias drenadas são muito variadas (sedimentares, metamórficas e ígneas), incluindo rochas da Zona Centro-Ibérica, Zona de Ossa-Morena, Zona Sul Portuguesa e Orla Mesoceno-zóica Algarvia (Morales, 1997).

As linhas de água no sector Este (Toledo) da bacia são pouco incisivas, o que contrasta com os vales encaixados no último trecho (N-S). No seu segmento N-S, o rio corta por xistos carboníferos e grauvaques, o que confere ao rio um carácter de vale assente sobre rocha, estreito e profundo: 600 m de largura e 70 m de profundidade ao longo de 7 km até à foz em Vila Real de Santo António⁴ (Anónimo, 2000; Boski *et al.*, 2002; Santos, 2003).

4.1.5. O Ambiente Sedimentar das Amostragens

Os locais de amostragem em cada estuário incidiram em zonas de sapal, que são inundáveis periodicamente por água proveniente dos rios ou por água do mar, conforme o ciclo de marés e a sua amplitude. Durante o mês de Novembro de 2003, foram recolhidos 12 testemunhos de sondagem (3 por estuário), cerca de 30 m de testemunhos no total, dos estuários algarvios dos rios:

Alvor (AL1, AL2, AL3), Arade (AR1, AR2, AR3), Gilão-Almargem (T1, T2, T3) e Guadiana (GD1, GD2, GD3). Na imagem da figura 6 é possível visualizar o aspecto típico de uma zona de sapal,

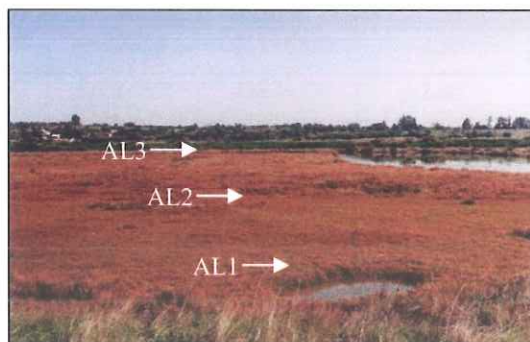


Figura 6 – Zona de amostragem no estuário do Alvor.

⁴Carta geológica de Portugal à escala 1:200 000 (folha 7 e 8) e respectiva notícia explicativa (Oliveira, 1992).

neste caso no Alvor, onde se encontram indicados os pontos de amostragem. Os locais de amostragem foram seleccionados de acordo com a proximidade aos locais onde haviam sido recolhidos testemunhos de sondagem mais profundos, noutros projectos, e sobre os quais já existe algum trabalho realizado na área da reconstituição de variações do nível do mar (Boski *et al.*, 2002). Foram ainda tidos em conta os acessos e o nível de antropização do local, procurando-se as zonas menos antropizadas. Na tabela I encontra-se a localização de cada testemunho, medida com um aparelho GPS (*Global Positioning System*). No Anexo II, encontram-se indicados os pontos de amostragem nos ortofotomapas dos estuários do Alvor e Arade (fig. Iii e fig. Iiii) e nas imagens de satélite do Gilão-Almargem e Guadiana (fig. Iiiii e fig. Iiiv).

Tabela I – Coordenadas geográficas e UTM, e profundidade dos testemunhos de sondagem recolhidos nos estuários algarvios (Datum WGS84).

Testemunho de sondagem	Coordenadas geográficas		Coordenadas UTM (29S)		Profundidade atingida (m)
	Latitude	Longitude	x	y	
AL1	37° 09' 07" N	08° 36' 14" W	0535175	4111791	1,95
AL2	37° 09' 08" N	08° 36' 13" W	0535205	4111830	2,60
AL3	37° 09' 09" N	08° 36' 12" W	0535217	4111854	2,65
AR1	37° 09' 46" N	08° 30' 03" W	0544319	4113045	2,95
AR2	37° 09' 45" N	08° 30' 01" W	0544358	4113010	2,10
AR3	37° 09' 43" N	08° 30' 01" W	0544367	4112956	1,95
T1	37° 08' 39" N	07° 37' 03" W	0622774	4111749	3,00
T2	37° 08' 38" N	07° 37' 04" W	0622749	4111715	2,95
T3	37° 08' 37" N	07° 37' 06" W	0622714	4111699	2,95
GD1	37° 11' 22" N	07° 27' 25" W	0636962	4117013	2,85
GD2	37° 11' 21" N	07° 27' 24" W	0636980	4116967	3,00
GD3	37° 11' 20" N	07° 27' 23" W	0637013	4116934	2,60

4.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Pelo carácter inovador deste trabalho, sobretudo no que diz respeito ao método de amostragem, foi necessária a experimentação de vários materiais e metodologias até encontrar o procedimento mais adequado à situação.

Segundo Blum (1997), a medição da cor da superfície de um testemunho de sondagem coloca alguns problemas que afectam a aquisição de dados: humidade; seca descontrolada do material; irregularidades da superfície; dimensão das partículas; oxidação; uso de películas plásticas protectoras. O método de corte do testemunho de sondagem pode também afectar de forma significativa a reflectância da cor, sendo que a maior parte do problema



Figura 7 – Instrumento de recuperação de testemunhos de sondagem – meia cana.

fica resolvida com uma etapa de limpeza da superfície do testemunho com uma espátula. Desta forma, realizaram-se testes quanto ao método de recolha, acondicionamento e transporte dos testemunhos de sondagem do local de amostragem para o laboratório. Para tal, foi recolhido 1 m de testemunho de sondagem na zona de sapal da Ria Formosa, com o amostrador manual meia cana (fig. 7). Uma das questões essenciais a resolver era qual o melhor material (transparente) para cobrir a superfície do testemunho de sondagem, de modo a permitir que sobre esta superfície fosse colocado o espectrofotómetro para proceder à leitura da cor do sedimento.

Testou-se a película aderente e dois tipos de fita adesiva, determinando qual o erro associado à média de 5 leituras repetidas pelo espectrofotómetro a todos os 5 cm de profundidade, para as três superfícies. Foi ainda tido em conta a facilidade de colocar a fita adesiva e a que melhor mantivesse o sedimento imóvel, durante o transporte.

De modo a determinar a reprodutibilidade do espectrofotómetro, para a superfície

protectora seleccionada, analisaram-se 3 secções de fita adesiva, onde foram realizadas 5 leituras repetidas a todos os 5 cm de profundidade do testemunho recolhido na Ria Formosa.

Após a definição dos materiais para a recuperação e armazenamento dos testemunhos, procedeu-se ao delineamento experimental. Numa primeira fase deste trabalho considerou-se a hipótese de recolher testemunhos de sondagem “gémeos” que permitissem arquivar um testemunho de sondagem e recolher sub-amostras no outro. Para tal considerou-se necessário avaliar até que distância se poderia considerar 2 testemunhos de sondagem estatisticamente equivalentes. O estuário seleccionado para o desenvolvimento desta experiência foi o estuário do Gilão-Almargem. Foram realizadas duas saídas de campo, a 3 e 7 de Julho de 2003, e recuperados 12 testemunhos de sondagem, que perfizeram um total de 24 m de sondagem, 208 amostras.

O procedimento de amostragem para esta primeira fase foi o seguinte:

1- Reconhecimento do terreno e selecção dos sítios de amostragem LG1 e LG2, junto ao local onde fora recolhido o testemunho de sondagem de grande diâmetro G2⁵;

2- Limpeza do terreno de vegetação existente nos sítios seleccionados, sempre que necessário;

3- Para o sítio LG1 selecção de 1 ponto (a denominar de LG1-50A) para a primeira sondagem;

4- Rejeição do primeiro metro em profundidade que corresponde a solo e recolha dos 2 metros seguintes de testemunho;

5- A 0,5 m de distância na horizontal recolha de 2 m de testemunho - LG1-50B, seguindo o processo definido no ponto anterior ;

6- Colocação de cada metro de testemunho recuperado na respectiva calha, limpeza da superfície do sedimento com uma espátula (em paralelo com a profundidade),

⁵ G2 – 37°08'44"N 07°37'06"W, com 13,2 m de profundidade.

cobertura da superfície com fita-adesiva transparente, procedendo à identificação de cada testemunho;

7- Repetição dos passos 3 a 6, para as distâncias 1 m (LG1-100A e LG1-100B) e 2 m (LG1-200A e LG1-200B);

8- Repetição dos passos 3 a 7 para o sítio LG2, seguindo o mesmo tipo de nomenclatura;

Em laboratório foi analisada a cor da superfície dos testemunhos a cada 10 cm de profundidade, em triplicado, tendo o cuidado de medir as mesmas profundidades para todos os testemunhos, segundo o método de análise da cor (sub capítulo 4.3.).

Numa segunda fase deste estudo e não havendo possibilidade de recolher testemunhos “gémeos”, delineou-se o método para analisar a relação dos parâmetros de cor com as propriedades dos sedimentos estuarinos. Os testemunhos recolhidos distanciavam-se cerca de 50 m fazendo uma linha recta perpendicular ao curso do rio. Cada testemunho de sondagem, com cerca de 3 metros de comprimento e 3 cm de diâmetro, foi acondicionado na respectiva calha, conforme o descrito na primeira fase deste estudo.

Em laboratório, momentos antes de se dar início às análises, foi retirada a fita adesiva e colocada uma nova sobre a superfície do testemunho devido à humidade do sedimento que provocou libertação de vapor de água que condensou junto à fita adesiva, deixando de ser transparente.

Foram adquiridos os dados de cor e imagens digitais da superfície dos testemunhos de sondagem, tal como descrito no sub capítulo 4.3..

Após as análises não destrutivas, deu-se início à sub-amostragem dos testemunhos a todos os 5 cm de profundidade (fig. 8).

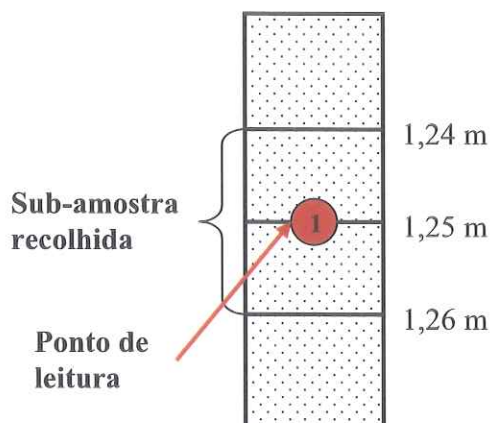
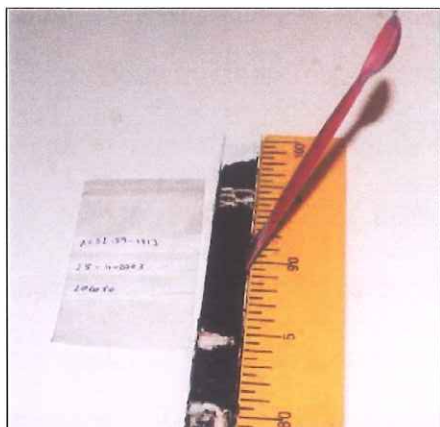


Figura 8 – Fotografia e esquema representativo do modo de sub amostragem do sedimento no testemunho. O esquema é um exemplo de uma sub-amostra dos 1,24 aos 1,26 m, onde o ponto de leitura (1) da cor foi aos 1,25 m.

As sub-amostras foram pesadas e catalogadas, sendo de seguida congeladas a -20°C . Sempre que possível foram recolhidos fragmentos de conchas para posterior datação.

Todo o procedimento anteriormente descrito foi realizado num mesmo dia, isto é, a recolha do testemunho, a aquisição dos dados de cor e a sub amostragem, para evitar eventual alteração das propriedades do sedimento, pelo que, em regra, por dia foi apenas recolhido um testemunho de sondagem.



Das amostras congeladas, um total de 144 foram liofilizadas (secagem a frio, em vácuo) a -50°C , durante 24h. De seguida foram pulverizadas num almofariz de ágata. Entre cada amostra, o almofariz foi lavado com detergente, passado por acetona e seco ao ar. Pesaram-se as amostras e armazenaram-se em bolsas de plástico devidamente identificadas. Calibrou-se o ColortronTM e mediu-se a cor, em triplicado, das amostras secas. Antes destas 144 amostras serem enviadas para o laboratório de análise química ACTLABS⁶, a cada uma destas amostras retirou-se 0,3 a 0,4 g, para análise elementar do carbono.

⁶ Activation Laboratories Ltd (www.actlabs.com)

4.3. MÉTODO DE ANÁLISE DA COR

A cor da superfície dos testemunhos de sondagem foi medida com o espectrofotômetro Colortron™. A luz reflectida do material é introduzida numa esfera de integração, normalizada à fonte de luz da reflectância, e calibrada, antes do início de cada sequência de medições diárias (em triplicado), através da medição com um standard de branco puro (100% de reflectância) e uma caixa preta (com zero de reflectância) ao longo de todo o espectro de comprimentos de onda do visível (Blum, 1997, X-Rite, 1998, X-Rite Color, 2000).

O espectro de comprimentos de onda resultante é convertido em diversos espaços de cor tridimensional. O sistema tridimensional de cor CIE Lab é recomendado para a análise da cor de sedimentos e rochas (Blum, 1997). Neste sistema de coordenadas esféricas, o eixo vertical corresponde à componente luminosidade CIE L que varia entre 0, preto, e 300, branco, e o raio corresponde às componentes cromáticas CIE a e CIE b. A componente CIE a é o eixo do verde (-300) ao vermelho (300) e a componente CIE b é o eixo do azul (-300) ao amarelo (300) (Blum, 1997; X-Rite, 1998, X-Rite Color, 2000).

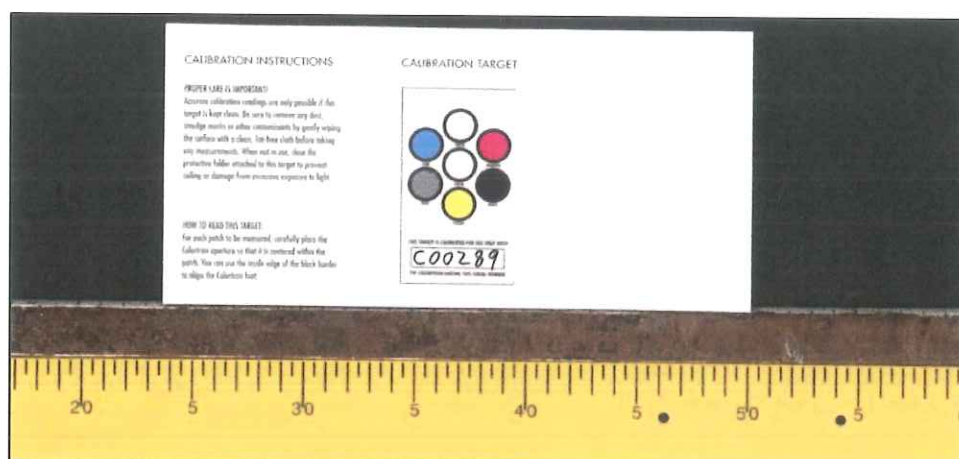


Figura 9 – Imagem digital de uma secção do testemunho de sondagem digitalizada no Scanner Mustek A3 PRO. Na parte superior da imagem encontra-se uma paleta de cores padrão, fornecida com o aparelho Colortron™ e usada na calibração deste.

A superfície de todos os testemunhos de sondagem recolhidos foi ainda digitalizada recorrendo ao Scanner Mustek 1200 A3 PRO. Para cada metro de testemunho foram necessárias 3 imagens digitais, com uma paleta de cores padrão em cada imagem (fig. 9), pelo que se recorreu ao programa informático Adobe Photoshop 6.0 para compilar as imagens.

4.4. MÉTODO DE ANÁLISE DE ELEMENTOS MAIORES E TRAÇOS

As amostras para análise de elementos maiores (Si, Al, Fe, Mg, Mn, Ca, Ti, Na, K, P) e traço (Ba, Sr, Y, Zr, Sc, Be, V) foram enviadas para o Laboratório de análise ACTLABS, onde foram analisadas por ICP/MS (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer*). Esta técnica consiste em colocar a amostra em solução, através de ataque por ácidos ou técnicas de fusão. Posteriormente a amostra é introduzida num plasma excitado a frequência rádio e aquecido a $\sim 8000^{\circ}\text{K}$. Os átomos presentes na amostra são excitados ao ponto de emitirem fotões com um comprimento de onda específico, que possui características de um elemento em particular. O número de fotões produzido está directamente relacionado com a concentração desse elemento na amostra (ACTLABS, 2002). Os resultados dos elementos maiores estão expressos em % de óxido presente na amostra e dos elementos traços em p.p.m.

4.5. MÉTODO DE ANÁLISE ELEMENTAR DE CARBONO, AZOTO E ENXOFRE

As amostras para análise elementar de carbono total (TC), orgânico (TOC) e inorgânico (TIC), azoto total (TN) e enxofre total (TS) foram analisadas por cromatografia gasosa na Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade do Algarve, no cromatógrafo de análise elementar *CHNS-O EA 1108 Elemental Analyser – Carlo-Erba instruments*.

Para a análise do conteúdo percentual de carbono, azoto e enxofre total presente nas amostras, foram colocadas aproximadamente 20 mg de cada amostra numa cápsula de estanho, que se “fechou” hermeticamente, transformando-a numa pequena esfera.

Para a análise do conteúdo em carbono orgânico foram também colocadas 20 mg de amostra numa cápsula de prata (resistente ao ataque com ácido), sendo esta cápsula encaixada numa outra, igualmente de prata, para evitar perda de amostra. À amostra foi adicionado ácido clorídrico a 10% para efectuar descarbonatação da amostra. O ácido foi adicionado até não se observar reacção, e de seguida a amostra foi seca na estufa a 100°C durante ~48h. Após a secagem, a amostra foi então “fechada” hermeticamente na forma de esfera.

As amostras contidas nas respectivas cápsulas, de estanho ou prata, foram colocadas no cromatógrafo, previamente calibrado com amostras padrão adequadas ao tipo de sedimento em análise. Os valores de carbono inorgânico total (TIC) resultam da diferença entre a componente total e a orgânica.

4.6. MÉTODO DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Para a análise ao tamanho das partículas que formam o sedimento recorreu-se ao granulómetro laser Malvern Mastersizer Micro. Antes de proceder à análise foi necessário preparar as amostras. As 141 amostras foram colocadas em frascos de plásticos, foi-lhes adicionado água com anti-floculante – calgon ($1\text{g}/\text{dm}^3$), tapou-se e colocou-se num agitador de braços durante 1 hora, para homogeneizar e desaglomerar as partículas. Para a análise de cada amostra no granulómetro é necessário $0,5\text{ dm}^3$ de água com anti-floculante e $1,5\text{ dm}^3$ de água, para limpar o aparelho após cada leitura. Um copo de vidro com água e anti-floculante é colocado no aparelho e é realizada a calibração, de seguida é adicionada a amostra, em pequenas porções até atingir um

ótimo de turbidez. O granulômetro mede o tamanho das partículas entre 0,5 e 300 µm. Acoplado ao aparelho existe um computador, com o respectivo programa informático (*Mastersizer*) que orienta o processo de análise.

4.7. MÉTODO DE DATAÇÃO

Os fragmentos de conchas encontrados foram lavados, secos na estufa a 60°C, pesados, catalogados e armazenados a temperatura ambiente até à data de expedição para o laboratório *Beta Analytic Inc.*⁷. As idades dos fragmentos de conchas enviadas para este laboratório foram determinadas por AMS (*Accelerator Mass Spectrometry*). Os resultados apresentados neste trabalho estão expressos em idade ¹⁴C convencional. Antes da expedição das 7 amostras, os fragmentos encontrados foram analisados à lupa, fotografados e identificados taxonomicamente, com o apoio de chaves dicotômicas e outra bibliografia disponível.

4.8. MÉTODOS DE ANÁLISE ESTATÍSTICA

Determinou-se a reprodutibilidade do espectrofotômetro Colortron™, calculando a média e o respectivo erro padrão para cada parâmetro de cor CIE L, CIE a e CIE b, de 15 replicados de 20 amostras. Os 15 replicados resultam de 5 leituras repetidas realizadas na superfície do testemunho de sondagem, renovando por 3 vezes a fita adesiva transparente que protegia a superfície do sedimento. Calculou-se então a percentagem de erro associada ao espectrofotômetro Colortron™, para cada parâmetro analisado.

Para avaliar até que distância máxima se poderia considerar 2 testemunhos de sondagem estatisticamente equivalentes recorreu-se a ANOVA (*ANalysis Of VAriance*) de 2 factores para cada parâmetro de cor analisado (CIE Lab) a cada distância testada,

⁷ Beta Analytic Inc. (www.radiocarbon.com)

para o local LG1 e o mesmo se aplicou para o local LG2. Uma ANOVA de dois factores determina de que forma uma resposta é afectada por dois factores e/ou pela sua interacção. Deste modo é possível comparar o efeito de múltiplos níveis de dois factores e combinar cada nível de um factor com cada nível de outro factor. Com replicados é possível ainda estimar o efeito da interacção entre os dois factores. Neste estudo o factor A possui dois níveis (ser testemunho A ou testemunho B, para uma distância testada) e o factor B 10 níveis (profundidades), com três replicados em cada nível, pelo que se tem de considerar o efeito da interacção entre os dois factores. Com 95% de confiança ($\alpha = 0,05$) é possível determinar o efeito de cada factor, bem como a sua interacção, nos replicados, através do teste estatístico F (teste de Fisher). A distribuição F descreve a probabilidade de obter rácios específicos de variâncias (estatísticos F) de amostras de uma mesma população (Davis, 2002). Nesta análise as hipóteses nulas a testar são as seguintes:

Factor A (testemunho A ou B)	$H_0 : \sigma_A^2 = 0$	$H_1 : \sigma_A^2 \neq 0$
Factor B (profundidade)	$H_0 : \sigma_B^2 = 0$	$H_1 : \sigma_B^2 \neq 0$
Factor AB	$H_0 : \sigma_{AB}^2 = 0$	$H_1 : \sigma_{AB}^2 \neq 0$

De cada tabela ANOVA deve-se poder concluir se a variância do modelo global é devida apenas a variação entre profundidades, factor B ou também à variância entre testemunhos de sondagem A e B, factor A. No teste F , e nos casos em que a probabilidade (p) for superior a 0,005, ou seja, a variação do factor A é não significativa para a variação do modelo global, não se rejeita a hipótese nula, e pode-se dizer que os dois testemunhos de sondagem em questão são equivalentes.

A análise da relação dos parâmetros da cor com as restantes propriedades dos sedimentos, dos estuários dos rios Alvor, Arade, Gilão-Almargem e Guadiana, começou com a observação de perfis de cada parâmetro dos testemunhos recuperados. Os perfis

de cor, para cada testemunho de sondagem, foram delineados a partir da média dos 3 replicados obtidos. De forma a determinar qual o tipo de dados de cor (húmido ou seco) a utilizar verificou-se se os valores médios de uns e outros são ou não estatisticamente diferentes. Os dados relativos à composição química que se apresentavam em percentagem na forma de óxidos foram transformados em percentagem de elemento. A média e calibragem do tamanho das partículas presentes nas amostras analisadas foram calculadas com recurso ao programa informático GRADISTAT, desenvolvido por Simon Blott (2000). Optou-se por determinar estes parâmetros granulométricos segundo o Método dos Momentos calculando o tamanho das partículas logaritmicamente, usando a escala de ϕ (Krumbein e Pettijohn, 1938 *in* Blott, 2000). O tipo de sedimento foi calculado com base na classificação de Folk e Ward (1957 *in* Blott, 2000). Por estuário e para toda a região foi determinado o coeficiente de correlação entre todos os parâmetros analisados.

Por fim, recorreu-se também à análise estatística multivariada, nomeadamente Análise de Componentes Principais (PCA) e Análise de Factores, com o objectivo de determinar as associações existentes entre variáveis (composição química) para o conjunto de amostras seleccionadas. A análise de factores foi usada para analisar intercorrelações entre um grande número de variáveis e para explicar estas variáveis em termos das suas dimensões subjacentes comuns (factores). O objectivo é o de encontrar um modo de condensar a informação contida no número de variáveis originais num conjunto menor de factores com uma mínima perda de informação (Hair *et al.*, 2000).

Após a extracção de factores, é possível construir o perfil dos mesmos em cada testemunho com base na seguinte fórmula para cada amostra, tal como proposto por Dellwig *et al.* (1998):

$$F_x = \sum f_{xi} \cdot (c_i/c_{max})$$

Onde cada factor (F_x) corresponde à soma do produto do *factor loading* (fl_{xi}) e da concentração (c_i) (normalizado à concentração máxima (c_{max})) de cada elemento químico (i). Quanto maior o valor numérico da contribuição do elemento químico (*factor loading*) para um factor, maior a sua correlação com o mesmo.

5. RESULTADOS

5.1. A REPRODUTIBILIDADE DO ESPECTROFOTÓMETRO COLORTRON™

Como foi referido anteriormente, realizaram-se testes para definir qual o melhor material a usar para cobrir a superfície dos testemunhos de sondagem. As diferenças existentes entre os diferentes tipos de cobertura da superfície do testemunho não são muito significativas, pelo que se optou por aquela que é mais fácil de colocar e que melhor isola o sedimento – a fita adesiva transparente de 5 cm de largura. Com esta película adesiva, os valores dos 15 replicados dos parâmetros de cor CIE L, CIE a e CIE b para o testemunho analisado permitiu estimar a reprodutibilidade do espectrofotómetro Colortron™. Desta forma, a percentagem de erro inerente ao método, para cada parâmetro de cor é a seguinte: CIE L \pm 0,22%; CIE a \pm 3,47%; CIE b \pm 0,96%, para valores médios de cor de: CIE L 32,469; CIE a 0,783; CIE b 5,212.

5.2. TESTE À DISTÂNCIA MÁXIMA EM QUE 2 TESTEMUNHOS SÃO ESTATISTICAMENTE SEMELHANTES

A comparação dos parâmetros de cor CIE Lab entre testemunhos (A e B) para as distâncias testadas, encontra-se na figura 10. Para o parâmetro de cor CIE L é possível verificar que não existe qualquer relação entre os dois testemunhos distantes de 0,5 m ($R^2 < 0,02$), quer no local LG1 quer no local LG2. Nas restantes distâncias testadas o parâmetro CIE L apresenta coeficientes de regressão entre testemunhos A e B variáveis, desde 0,00 no caso de LG1 100 a 0,49 em LG2 100. No caso dos parâmetros de cor CIE a e CIE b o coeficiente de regressão é superior para o local LG2 50 (fig. 10 (b)) do que para o local LG1 50. Os parâmetros CIE a e CIE b registam coeficientes de regressão máximos (0,92 e 0,77 respectivamente) entre os dois testemunhos distantes de 1 m no local LG2.

Com base na ANOVA de 2 factores para o parâmetro de cor CIE L (tabela II), por exemplo, observa-se que para o factor profundidade (B) o estatístico F é sempre significativo, pelo que as variações em profundidade contribuem sempre para a variação no modelo global. Para LG1-50, LG1-200, LG2-50 e LG2-200, ambos factores A e B, e suas interacções possuem estatísticos F significativos, isto é, são fontes de variação para o modelo global não desprezáveis. Nunca se poderá considerar, por exemplo, que dentro do factor A, o testemunho de sondagem A é semelhante ao testemunho de sondagem B.

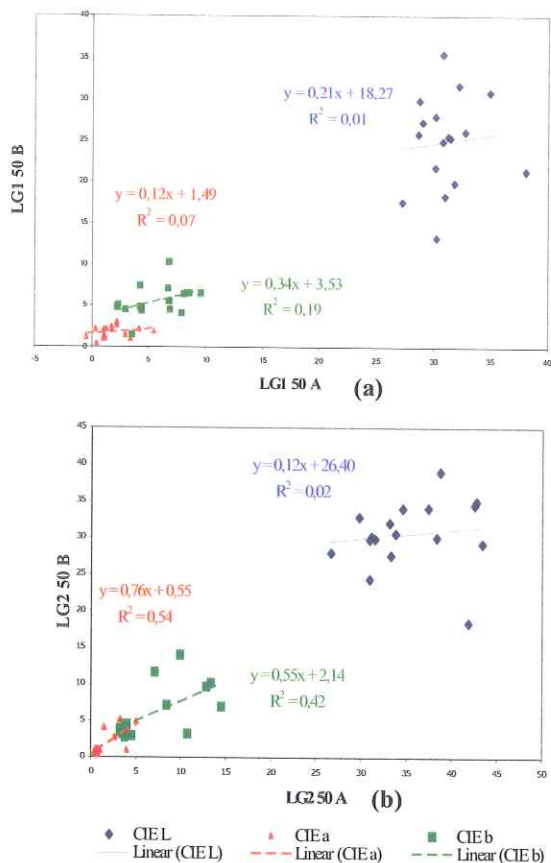


Figura 10 – Comparação dos parâmetros de cor (CIE Lab) para os testemunhos A e B distantes de 0,5 m para o local LG1 (a) e LG2 (b).

Tabela II – Tabela ANOVA para os 3 replicados de CIE L para LG1-50, LG1-100, LG1-200, LG2-50, LG2-100 e LG2-200, CIE L.

ANOVA	LG1 50					LG1 100					LG1 200				
	SQ	gl	MQ	F	p>F	SQ	gl	MQ	F	p>F	SQ	gl	MQ	F	p>F
MODELO (GLOBAL)	1518,6	19	79,9	55,8	0,000	812,5	19	42,8	50,1	0,000	2530,9	19	133,2	69,3	0,000
A	875,2	1	875,2	611,2	0,000	0,0	1	0,0	0,0	0,901	302,1	1	302,1	157,2	0,000
B	386,2	9	42,9	30,0	0,000	377,1	9	41,9	49,1	0,000	2027,0	9	225,2	117,2	0,000
A×B	257,3	9	28,6	20,0	0,000	435,4	9	48,4	56,6	0,000	201,7	9	22,4	11,7	0,000
ERRO	57,3	40	1,4			34,2	40	0,9			76,9	40	1,9		
TOTAL	1575,9	59				846,7	59				2607,8	59			

ANOVA	LG2 50					LG2 100					LG2 200				
	SQ	gl	MQ	F	p>F	SQ	gl	MQ	F	p>F	SQ	gl	MQ	F	p>F
MODELO (GLOBAL)	2014,4	19	106,0	47,0	0,000	554,2	19	29,2	7,8	0,000	1597,5	19	84,1	8,0	0,000
A	714,7	1	714,7	317,0	0,000	1,1	1	1,1	0,3	0,590	153,0	1	153,0	14,5	0,000
B	573,0	9	63,7	28,2	0,000	430,2	9	47,8	12,8	0,000	1096,2	9	121,8	11,5	0,000
A×B	726,7	9	80,7	35,8	0,000	122,9	9	13,7	3,7	0,002	348,3	9	38,7	3,7	0,002
ERRO	90,2	40	2,3			149,3	40	3,7			422,6	40	10,6		
TOTAL	2104,6	59				703,5	59				2020,1	59			

O mesmo exercício foi realizado para os parâmetros de cor CIE a e CIE b. Verificou-se que não se pode afirmar que alguma das distâncias testadas é significativamente semelhante para se poder proceder à amostragem para análise química em separado da análise da cor. Em alguns casos verificou-se que a variação no modelo global não era devida aos testemunhos de sondagem (com estatístico F não significativo). Contudo, tal facto não se observou para todos os parâmetros de cor analisados, o que indica que os testemunhos não são semelhantes estatisticamente, apesar de o serem para um parâmetro de cor. Desta forma, considera-se que o ideal é a aquisição dos dados de cor em triplicado e em seguida extrair as amostras para análise do sedimento, não sendo possível armazenar nenhum arquivo dos testemunhos.

5.3. SEDIMENTOS HÚMIDOS VERSUS SEDIMENTOS SECOS

Na figura 11 estão apresentadas as médias dos parâmetros de cor CIE L, CIE a e CIE b, em sedimento húmido e seco, de todas as amostras da região. Nesta figura é possível verificar que a distribuição de valores de CIE a e CIE b, quer no sedimento

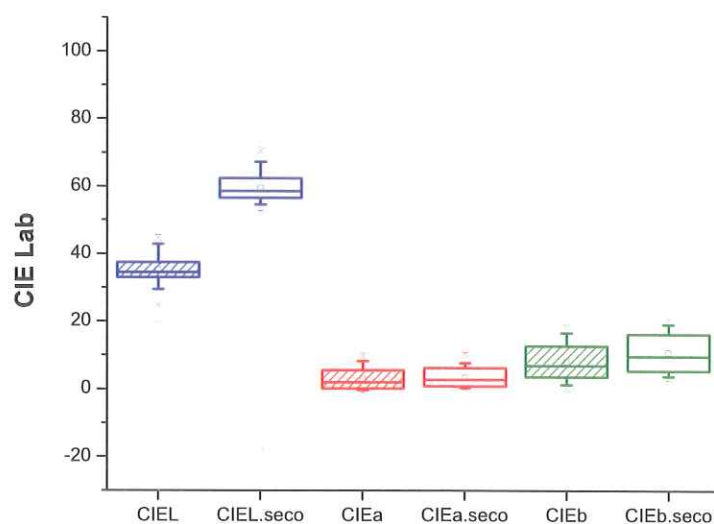


Figura 11 – Diagrama de extremos e quartis com a média dos parâmetros de cor CIE L, CIE a e CIE b, em sedimento húmido e seco, de um total de 144 amostras da região.

húmido quer no sedimento seco são estatisticamente semelhantes. Por outro lado, os valores médios de CIE L para o sedimento seco são mais elevados (59,5) que em sedimento húmido (35,1) e significativamente distintos, como se pode verificar pela não intersecção dos limites superior de CIE L húmido e inferior de CIE L seco.

No resto do trabalho apenas serão apresentados os resultados da cor obtidos no sedimento húmido.

5.4. PERFIS DE COR DOS SEDIMENTOS ESTUARINOS

O método proposto de aquisição de imagens digitais da superfície de testemunhos de sondagem permitiu complementar a base de dados com informação sobre os testemunhos, bem como comparar visualmente o aspecto e cor destes ao longo da análise dos dados (Anexo III).

Tabela III – Características da cor dos sedimentos da zona em estudo, para os parâmetros CIE Lab.

CIE L	Média	Máximo	Mínimo	Nº amostras
<i>Algarve</i>	35,092	46,840	16,340	600
<i>Alvor</i>	34,884	44,593	26,687	142
<i>Arade</i>	36,684	46,237	24,523	134
<i>Gilão-Almargem</i>	33,140	46,497	16,340	164
<i>Guadiana</i>	35,944	46,840	26,470	160
CIE a	Média	Máximo	Mínimo	Nº amostras
<i>Algarve</i>	2,997	12,523	-2,937	600
<i>Alvor</i>	2,577	8,853	-0,317	142
<i>Arade</i>	4,239	12,523	-0,397	134
<i>Gilão-Almargem</i>	4,044	10,257	-2,937	164
<i>Guadiana</i>	1,256	5,220	-1,143	160
CIE b	Média	Máximo	Mínimo	Nº amostras
<i>Algarve</i>	8,055	19,710	-3,727	600
<i>Alvor</i>	8,612	18,540	-3,727	142
<i>Arade</i>	10,223	19,710	0,953	134
<i>Gilão-Almargem</i>	7,554	18,563	-1,433	164
<i>Guadiana</i>	6,258	16,920	0,313	160

Na tabela III encontram-se os valores médios, máximos e mínimos obtidos para os 3 parâmetros de cor em toda a região amostrada, e também para cada estuário analisado. Com a média dos replicados obtidos dos parâmetros da cor por profundidade foi possível construir os perfis de cor por testemunho recuperado.

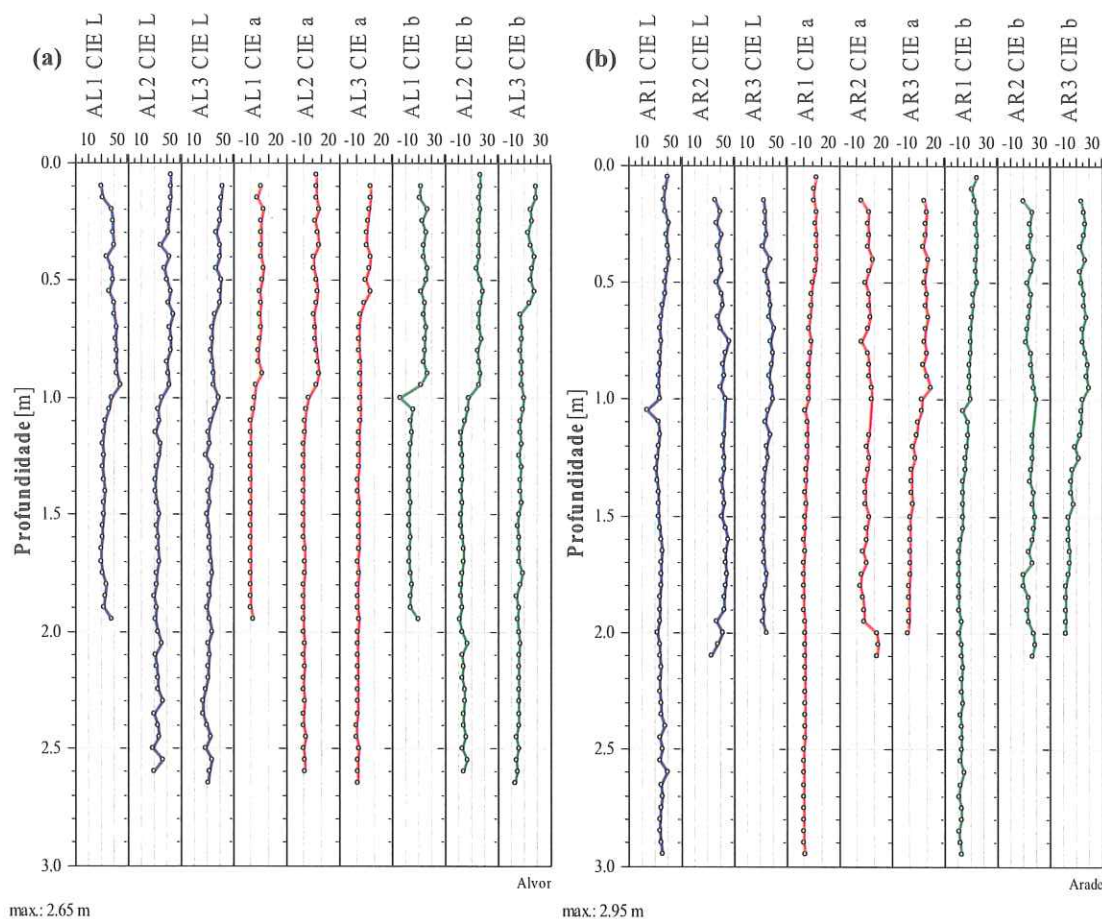


Figura 12 – Perfis dos parâmetros de cor CIE Lab, para os testemunhos de sondagem recolhidos nos estuários Alvor (a) e Arade (b).

Nos 12 testemunhos de sondagem, observa-se uma semelhança nas curvas dos perfis dos três parâmetros de cor estudados, sendo esta mais evidente entre CIE a e CIE b (figuras 12 e 13). Os perfis de cor dos 3 testemunhos do Alvor (fig. 12a) registam uma diminuição nos valores dos 3 parâmetros de cor, a partir de 1 m de profundidade em AL1 e AL2 e a partir de 0,6 m de profundidade para AL3. Nos testemunhos recuperados no estuário do Arade não se observa uma semelhança nos perfis dos 3

testemunhos e nem se verifica uma alteração óbvia do perfil com a profundidade (fig. 12b). Apenas o testemunho AR3 apresenta um perfil que se aproxima daquele registado em AL1, onde, a partir de 1 m de profundidade se observa uma diminuição de valores para os 3 parâmetros de cor.

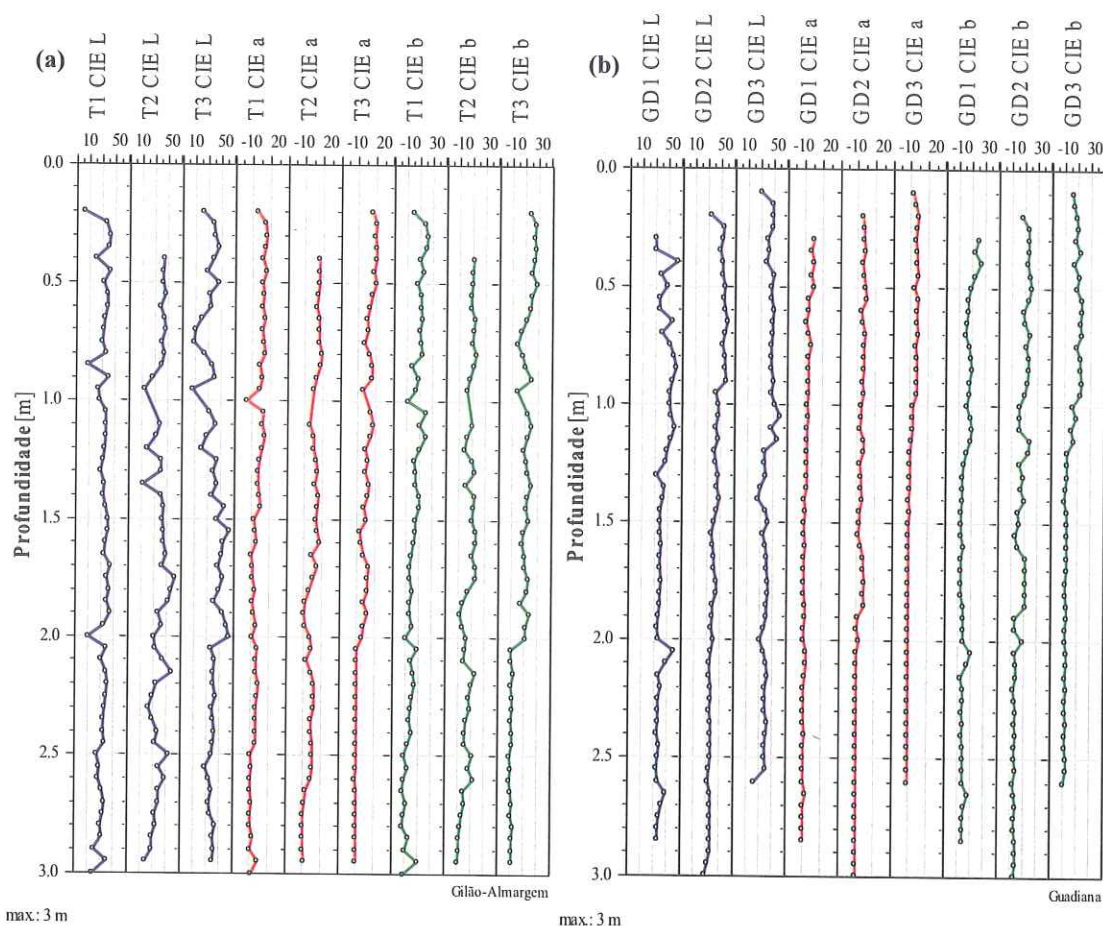


Figura 13 – Perfis dos parâmetros de cor CIE Lab, para os testemunhos de sondagem recolhidos nos estuários Gilão-Almargem (a) e Guadiana (b).

No estuário do Gilão-Almargem (fig. 13a) é perceptível a irregularidade dos perfis, isto é, comparando com os perfis nos estuários do Alvor e Arade, aqui a amplitude de valores é muito superior. Ao comparar os 3 testemunhos recuperados neste estuário, é difícil encontrar pontos semelhantes entre perfis de testemunho para testemunho.

No estuário do Guadiana, observa-se que os 3 testemunhos apresentam perfis de cor com baixa amplitude de valores em profundidade, isto é, pouca variabilidade, evidente

sobretudo no parâmetro de cor CIE a (fig. 13b). No testemunho de sondagem GD3, a partir de 1 m de profundidade, os valores dos 3 parâmetros de cor diminuem, semelhante ao fenómeno observado nos testemunhos de sondagem AL1 e AL2 no estuário do Alvor.

5.5. PERFIS DOS ELEMENTOS QUÍMICOS NOS SEDIMENTOS ESTUARINOS

A concentração de cada elemento químico (Si, Al, Fe, Mg, Mn, Ca, Ti, Na, K, P, Ba, Sr, Y, Zr, Sc, Be, V, TC, TOC, TIC, TN e TS) encontra-se representada na figura 14 sob a forma de perfil para o testemunho de sondagem AL3 enquanto que os perfis químicos dos restantes testemunhos são apresentados no Anexo IV (fig. IVi a IVxii). O testemunho de sondagem AL3 é um bom exemplo da forma como se relacionam os elementos químicos entre si, pelo que apenas serão apresentados os resultados deste

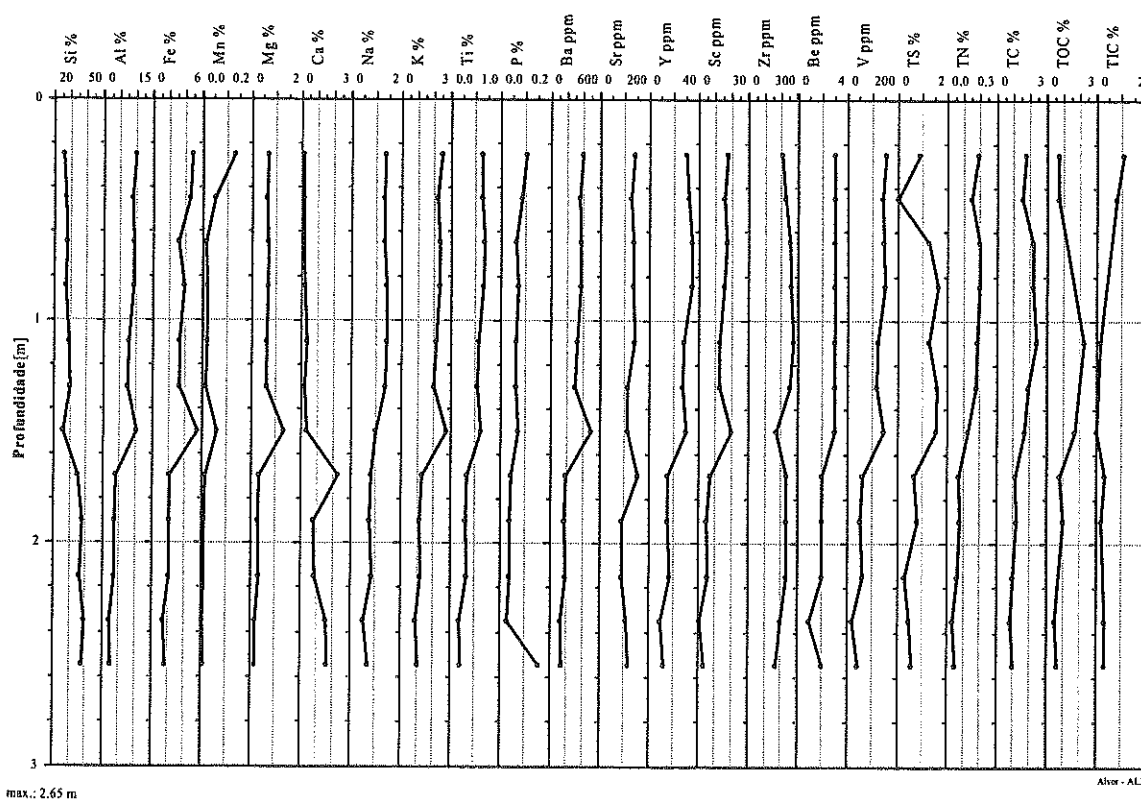


Figura 14 – Perfis dos elementos químicos analisados para o testemunho de sondagem AL3 do estuário do Alvor. As concentrações para os elementos químicos Ba, Sr, Y, Sc, Zr, Be e V encontram-se em p.p.m. e os restantes em %.

testemunho neste capítulo. Ao observar a figura 14 é possível verificar que os elementos Al, Fe, Mn, Mg, K, Ti, Ba, Y e Sc variam no mesmo sentido com a profundidade. Os teores em Si e Zr parecem variar em oposição aos anteriores.

Os teores em Ca, Sr e TIC revelam perfis semelhantes aos do Al, mas as suas concentrações mais elevadas não correspondem, registando-se 20 cm abaixo da concentração mais elevada de Al, isto é, existe um desfasamento.

De um modo geral, nos testemunhos de sondagem analisados dos estuários algarvios (ver fig.14 e Anexo IV, fig. IVi a IVxii), a composição química do sedimento, do elemento mais para o menos abundante, é a seguinte: Si >> Al > Fe > K > TC ~ Na ~ TOC ~ Mg ~ TS ~ Ca ~ Ti > TIC > TN > P > Mn > Ba > Zr > Sr ~ V > Y > Sc > Be.

5.6. PERFIS DE GRANULOMETRIA DOS SEDIMENTOS ESTUARINOS

Em média o tamanho das partículas que constituem os sedimentos amostrados no âmbito deste trabalho corresponde a silte médio (6,4 ϕ) muito mal calibrado (2,2 ϕ), tendo como extremos areia fina (3,6 ϕ) e silte fino (7,8 ϕ) (ver Anexo IV fig. IVi a IVxii). De uma forma geral, com base nos testemunhos analisados, o tamanho das partículas aumenta com a profundidade. Verifica-se ainda que quanto maiores são os valores da Média (ϕ), isto é, quanto mais pequenas as partículas, melhor é a calibragem.

Os perfis de Média (ϕ) e Calibragem (ϕ), para os testemunhos de sondagem GD2 do estuário do Guadiana e T1 do estuário do Gilão-Almargem, encontram-se na figura 15. No perfil da Média granulométrica (na escala de ϕ) de GD2 observa-se que de 0,2 m a 1,2 m de profundidade o sedimento corresponde a silte fino, passando para silte médio até à base do testemunho. Semelhante ao perfil de GD2 são os perfis de AR1, GD1 e GD3, sendo que neste último observa-se que a 1,85 m de profundidade uma

zona de silte grosso aparece (ver Anexo IV fig. IViv, fig. IVx e fig. IVxii, respectivamente).

Nos testemunhos AL1 e AL2 (Anexo IV fig. IVi e IVii) o perfil da Média granulométrica (ϕ) é semelhante ao de GD2, mas a alteração na tipologia do sedimento registada a cerca de 1 m é de silte médio (com algumas amostras de silte fino) a silte grosso, chegando a silte muito grosso a 2,5 m de profundidade em AL2. Em AL3 de 0,2 m a 1,85 m o testemunho é composto por silte médio passando a silte grosso na parte inferior do testemunho (Anexo IV fig. IViii). Os testemunhos AR2 e AR3 são essencialmente compostos por silte fino, exceptuando a 0,2 m de profundidade que corresponde a silte médio, e no caso de AR3 a partir de 1,45 m o sedimento é constituído por silte médio (Anexo IV fig. IVv e fig. IVvi).

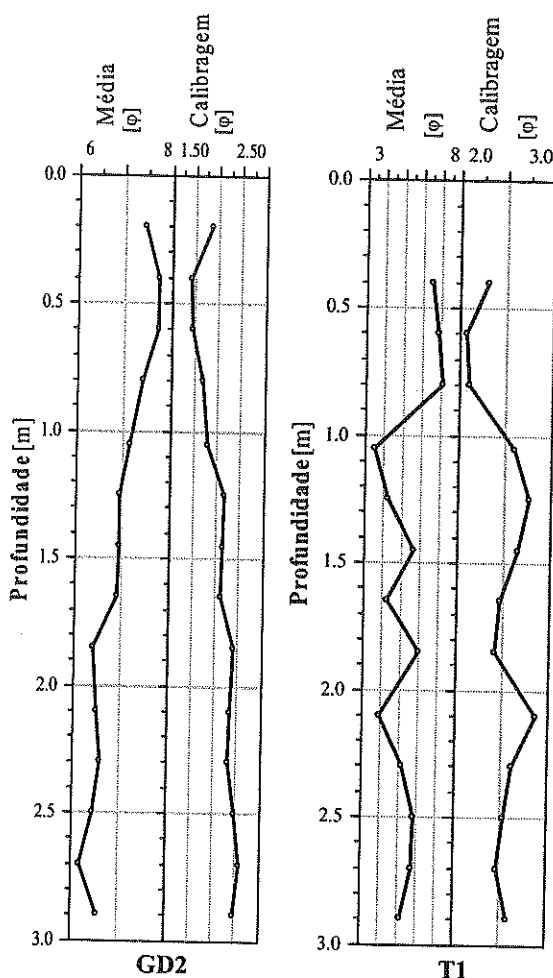


Figura 15 – Perfis de granulometria, Média (ϕ) e Calibragem (ϕ) do tamanho das partículas no testemunho de sondagem GD2 (Guadiana) e T1 (Gilão-Almargem).

O perfil granulométrico do testemunho de sondagem T1 é bastante variável, quer em termos de amplitude de valores, quer em termos de frequência de alterações entre o tipo de sedimento. Na figura 15, no perfil da Média granulométrica (ϕ) de T1, observa-se que de 0,4 a 0,8 m o sedimento é constituído por silte médio e silte fino. Entre 1 m a

2,9 m de profundidade o perfil varia entre zonas de areia muito fina, silte grosseiro a muito grosseiro e silte médio. O testemunho de sondagem T2 é composto por silte grosseiro de 0,2 a 0,4 m de profundidade, passando a silte médio até 1,85 m. De 2,1 m a 2,9 m de profundidade o sedimento é composto por silte grosseiro a muito grosseiro e areia muito fina (Anexo IV fig. IVviii). O testemunho de sondagem T3 é constituído principalmente por silte médio a grosseiro num perfil pouco variável, sendo composto por silte muito grosseiro e areia fina dos 2,3 a 2,5 m de profundidade (Anexo IV fig. IVix).

5.7. A RELAÇÃO ENTRE A COR E A GEOQUÍMICA NOS SEDIMENTOS ESTUARINOS

Para analisar a relação entre os três parâmetros de cor CIE L, CIE a e CIE b, e os parâmetros químicos e granulométricos, calculou-se os coeficientes de correlação (r). Na tabela IV é possível verificar os testemunhos de sondagem que possuem correlações positivas superiores a 0,5 entre os parâmetros de cor CIE L, CIE a e CIE b e as restantes propriedades. Na tabela V encontram-se os testemunhos de sondagem que possuem correlações negativas superiores a 0,5.

De um modo geral, os parâmetros geoquímicos que apresentam, com maior frequência, correlações positivas superiores a 0,5, nunca negativas, com os parâmetros de CIE Lab são Al, Fe, Mn, Ti, P, Y, Sc, V e a Média granulométrica (ϕ). Também os parâmetros Mg, K, Ba e Be apresentam frequentemente correlações positivas $> 0,5$.

O teor em Si tem frequentemente correlações negativas superiores a 0,5 com os parâmetros de cor CIE Lab. Os teores em Cálcio, enxofre total e carbono total apresentam também frequentemente correlação negativa superior a 0,5 com os parâmetros de cor CIE L CIE a e CIE b.

Uma vez que nos estuários do Alvor e do Guadiana, se observa uma melhor correspondência de correlações entre a cor e a composição química, para os três testemunhos, estes dois estuários foram considerados para o passo seguinte de análise.

Tabela IV – Matriz de correlação de CIE Lab em função dos parâmetros químicos e granulométricos, com referência aos testemunhos de sondagem quando nestes a correlação é positiva e superior a 0,5.

<i>Alvor</i>	<i>CIE L</i>	<i>CIE a</i>	<i>CIE b</i>	<i>Arade</i>	<i>CIE L</i>	<i>CIE a</i>	<i>CIE b</i>
Si %				Si %		AR3	
Al %	AL1, AL2, AL3	AL1, AL2, AL3	AL1, AL2, AL3	Al %	AR1, AR2, AR3	AR1	AR1
Fe %	AL1, AL2, AL3	AL1, AL2, AL3	AL1, AL2, AL3	Fe %	AR3	AR2, AR3	AR1, AR2, AR3
Mn %	AL1, AL2, AL3	AL1, AL2, AL3	AL1, AL2, AL3	Mn %	AR1	AR2, AR3	AR3
Mg %	AL1, AL2	AL1, AL2	AL1, AL2	Mg %		AR1, AR2	AR1
Ca %				Ca %			
Na %	AL3	AL3	AL3	Na %			
K %	AL1, AL2, AL3	AL1, AL2, AL3	AL1, AL2, AL3	K %	AR1, AR2	AR1	AR1
Ti %	AL1, AL2, AL3	AL1, AL2, AL3	AL1, AL2, AL3	Ti %	AR1, AR3	AR1, AR3	AR1, AR3
P %	AL1, AL2, AL3	AL1, AL2	AL1, AL2	P %	AR1	AR1, AR3	AR1, AR2, AR3
Ba ppm	AL1, AL2	AL1, AL2, AL3	AL1, AL2	Ba ppm	AR1, AR2	AR1	AR1
Sr ppm	AL1, AL3	AL1	AL1	Sr ppm			
Y ppm	AL1, AL2, AL3	AL1, AL2, AL3	AL1, AL2, AL3	Y ppm	AR2, AR3	AR3	AR3
Sc ppm	AL1, AL2, AL3	AL1, AL2, AL3	AL1, AL2, AL3	Sc ppm	AR1, AR2	AR1	AR1
Zr ppm				Zr ppm		AR3	AR3
Be ppm	AL1, AL2, AL3	AL1, AL2, AL3	AL1, AL2, AL3	Be ppm			
V ppm	AL1, AL2, AL3	AL1, AL2, AL3	AL1, AL2, AL3	V ppm	AR1, AR2, AR3	AR1	AR1, AR2
TS				TS		AR2	
TN	AL3	AL3	AL3	TN			
TC	AL3			TC			
TOC				TOC		AR2	
TIC	AL3	AL3	AL3	TIC			
Média	AL1, AL2, AL3	AL1, AL2, AL3	AL1, AL2, AL3	Média	AR2, AR3	AR1, AR3	AR1, AR3

<i>Glão-Almargem</i>	<i>CIE L</i>	<i>CIE a</i>	<i>CIE b</i>	<i>Guadiana</i>	<i>CIE L</i>	<i>CIE a</i>	<i>CIE b</i>
Si %				Si %			
Al %	T2	T1, T3	T2, T3	Al %	GD2, GD3	GD1, GD2, GD3	GD1, GD2, GD3
Fe %		T1, T3	T2, T3	Fe %	GD1, GD2, GD3	GD1, GD2, GD3	GD1, GD2, GD3
Mn %	T2	T1, T3	T1, T2, T3	Mn %	GD2, GD3	GD1, GD2, GD3	GD1, GD2, GD3
Mg %	T2		T3	Mg %	GD2, GD3	GD1, GD2, GD3	GD1, GD2, GD3
Ca %		T3	T3	Ca %			
Na %	T2	T1, T3	T3	Na %			
K %	T2	T3	T3	K %	GD1, GD2, GD3	GD1, GD2, GD3	GD1, GD2, GD3
Ti %	T2	T2, T3	T2, T3	Ti %	GD2	GD1, GD2	GD2
P %	T2	T1, T2, T3	T1, T2, T3	P %	GD2, GD3	GD1, GD2, GD3	GD1, GD2, GD3
Ba ppm	T2	T1, T3	T1, T2, T3	Ba ppm	GD2, GD3	GD1, GD2, GD3	GD1, GD2, GD3
Sr ppm	T2	T1, T3	T2, T3	Sr ppm			
Y ppm	T2	T2, T3	T2, T3	Y ppm	GD2	GD2	GD2
Sc ppm	T2	T1, T3	T3	Sc ppm	GD2, GD3	GD1, GD2, GD3	GD1, GD2, GD3
Zr ppm	T2	T2	T2	Zr ppm			
Be ppm	T2	T3	T3	Be ppm	GD2, GD3	GD3	GD3
V ppm	T2	T3	T3	V ppm	GD1, GD2, GD3	GD1, GD2, GD3	GD1, GD2, GD3
TS				TS			
TN		T3		TN			
TC				TC			
TOC				TOC			
TIC		T3	T3	TIC			
Média		T3	T3	Média	GD1, GD2	GD1, GD2, GD3	GD1, GD2, GD3

Tabela V – Matriz de correlação de CIE Lab em função dos parâmetros químicos e granulométricos, com referência aos testemunhos de sondagem quando nestes a correlação é negativa e inferior a -0,5.

<i>Alvor</i>	<i>CIE L</i>	<i>CIE a</i>	<i>CIE b</i>
Si %	AL1, AL2, AL3	AL1, AL2, AL3	AL1, AL2, AL3
Al %			
Fe %			
Mn %			
Mg %			
Ca %	AL2	AL3	AL3
Na %			
K %			
Ti %			
P %			
Ba ppm			
Sr ppm			
Y ppm			
Sc ppm			
Zr ppm			
Be ppm			
V ppm			
TS	AL1, AL2	AL1, AL2	AL1, AL2
TN			
TC	AL1	AL1	AL1
TOC			
TIC	AL1	AL1	AL1
Média			

<i>Arade</i>	<i>CIE L</i>	<i>CIE a</i>	<i>CIE b</i>
Si %		AR1	AR1
Al %			
Fe %			
Mn %	AR2		
Mg %	AR2	AR3	AR3
Ca %		AR1, AR2, AR3	AR1, AR2, AR3
Na %	AR3	AR3	AR3
K %		AR3	AR3
Ti %		AR3	AR3
P %			
Ba ppm		AR3	AR3
Sr ppm		AR3	AR3
Y ppm			
Sc ppm			
Zr ppm	AR1	AR1	AR1
Be ppm			
V ppm			
TS	AR3	AR3	AR3
TN	AR3	AR3	AR3
TC	AR2, AR3	AR3	AR3
TOC	AR2, AR3	AR3	AR3
TIC		AR1, AR2	AR1, AR2
Média			

<i>Gilão-Atmargem</i>	<i>CIE L</i>	<i>CIE a</i>	<i>CIE b</i>
Si %	T2, T3	T3	T2, T3
Al %			
Fe %			
Mn %			
Mg %			
Ca %			
Na %			
K %			
Ti %			
P %			
Ba ppm			
Sr ppm			
Y ppm			
Sc ppm			
Zr ppm			
Be ppm			
V ppm			
TS		T1, T2, T3	T1, T2, T3
TN			
TC		T1	T1
TOC			
TIC			T1, T2
Média			

<i>Guadiana</i>	<i>CIE L</i>	<i>CIE a</i>	<i>CIE b</i>
Si %	GD2, GD3	GD1, GD2, GD3	GD1, GD2, GD3
Al %			
Fe %			
Mn %			
Mg %			
Ca %	GD2	GD2	GD2
Na %	GD2, GD3	GD2	GD2, GD3
K %			
Ti %			
P %			
Ba ppm			
Sr ppm			
Y ppm			
Sc ppm			
Zr ppm	GD2, GD3	GD2, GD3	GD2, GD3
Be ppm			
V ppm			
TS	GD2, GD3	GD1, GD2, GD3	GD1, GD2, GD3
TN			
TC	GD1, GD2		GD2
TOC			GD2
TIC	GD1		
Média			

5.7.1. A Relação entre os Elementos Químicos nos Sedimentos Estuarinos

Recorreu-se à Análise de Factores para analisar as relações existentes entre elementos químicos para os estuários do Alvor e do Guadiana. Nesta análise foram incluídas 21 variáveis (Si, Al, Fe, Mg, Mn, Ca, Ti, Na, K, P, Ba, Sr, Y, Zr, Sc, Be, V, TOC, TIC, TN e TS), ou seja, o máximo de informação disponível sobre a composição química de 54 amostras dos estuários do Alvor e Guadiana. Utilizaram-se apenas os dados referentes a amostras com concentrações diferentes de zero para todas as

variáveis, pelo que se excluíram desta análise 18 amostras. O TC não foi incluído nesta análise, devido à co-linearidade existente entre esta variável e o TIC e TOC.

Os dados originais, em percentagem, foram normalizados, isto é, para cada variável, a sua concentração numa dada amostra foi dividida pela concentração máxima dessa variável em todo o universo amostral. Foram calculados 3 factores segundo o método de estimação do factor principal com rotação Varimax (Hair *et al.*, 2000).

A distribuição das variáveis em relação a cada factor (1 e 2) está representada na figura 16. Observa-se que o factor 2 é essencialmente definido pelo teor em TOC e TS. Em oposição encontra-se o TIC, mas esta variável carece de robustez estatística, por estar perto de zero para os dois factores, isto é, tem pouca influência nos factores 1 e 2. O teor em Si e Ca, e também em Sr varia inversamente com o Factor 1, e em oposição encontram-se os elementos Zr, Na, V, Y, Ti, K, Be, Sc, Al e Ba e também o Fe, Mg, Mn e P.

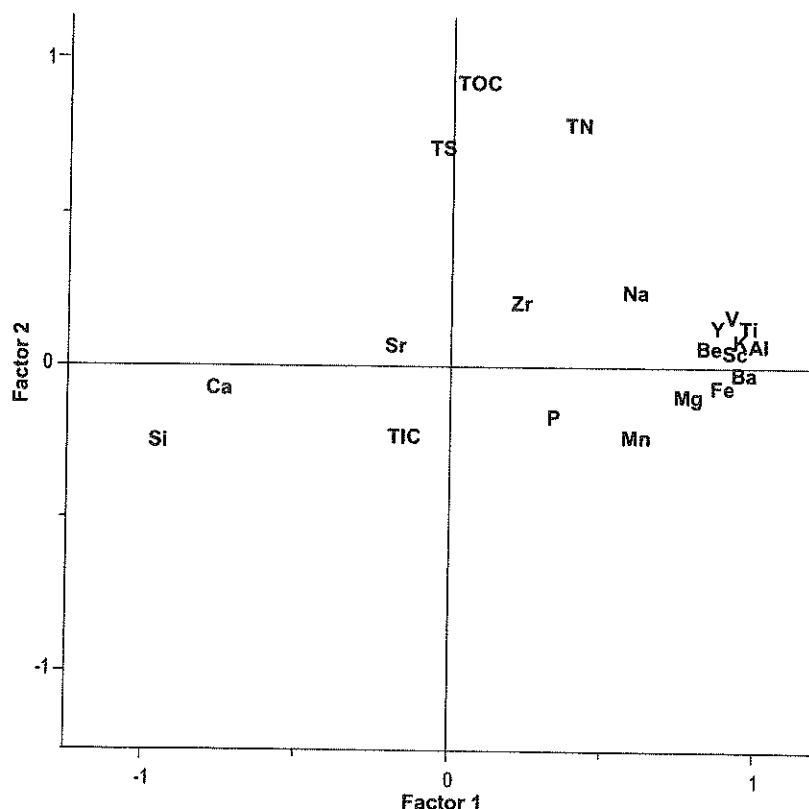


Figura 16 – Factor 1 versus Factor 2 resultante da Análise de Factores, com extracção de 3 factores. As variáveis são: Si, Al, Fe, Mg, Mn, Ca, Ti, Na, K, P, Ba, Sr, Y, Zr, Sc, Be, V, TOC, TIC, TN e TS. Amostras: 54, dos estuários do Alvor e Guadiana.

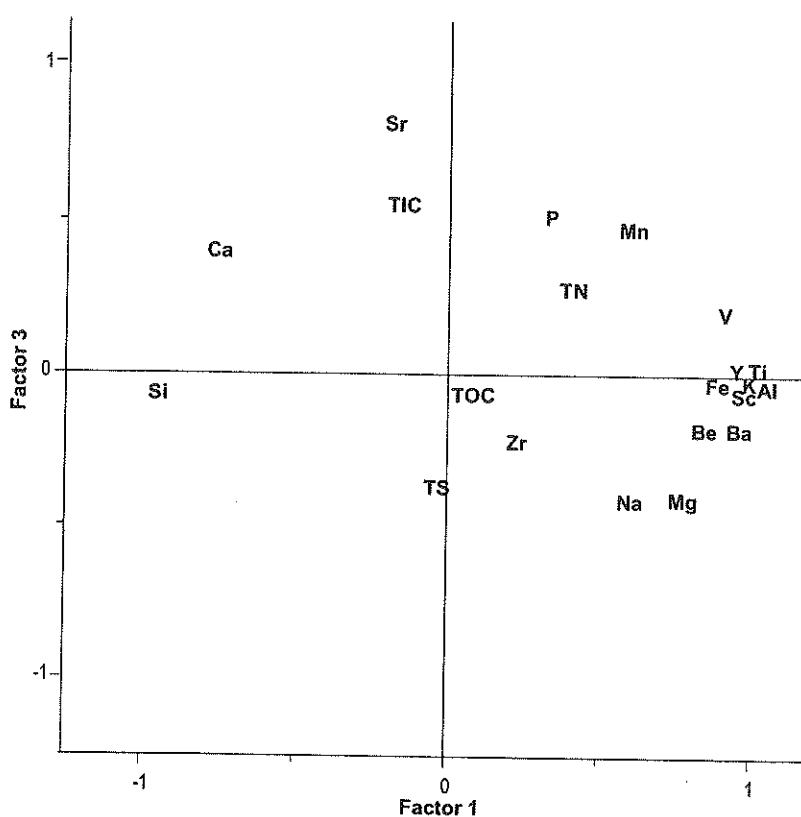


Figura 17 - Factor 1 versus Factor 3 resultante da Análise de Factores, com extracção de 3 factores. Variáveis: Si, Al, Fe, Mg, Mn, Ca, Ti, Na, K, P, Ba, Sr, Y, Zr, Sc, Be, V, TOC, TIC, TN e TS. Amostras: 54, dos estuários do Alvor e Guadiana.

O posicionamento das variáveis em relação aos factores 1 e 3 é apresentado na figura 17. Aqui é possível observar que o Factor 3 é essencialmente definido pelo Sr e TIC, tendo em oposição o TS e também o Zr. As variáveis Al, Fe, K, Ti, Sc, Y e também Be e Ba encontram-se muito correlacionadas, visível em ambas as figuras 16 e 17.

A Análise de factores foi igualmente aplicada às 25 amostras do Alvor e às 29 amostras do Guadiana, em separado, tendo em conta as mesmas variáveis referidas na análise de factores descrita anteriormente para os dois estuários. Como se pode verificar os resultados são semelhantes ao analisar os estuários em separado ou juntos (fig. 16, 18 e 19). Deste modo, apenas será considerada para discussão a análise de factores aplicada às 54 amostras em conjunto, pois o peso estatístico é maior assim como a representatividade.

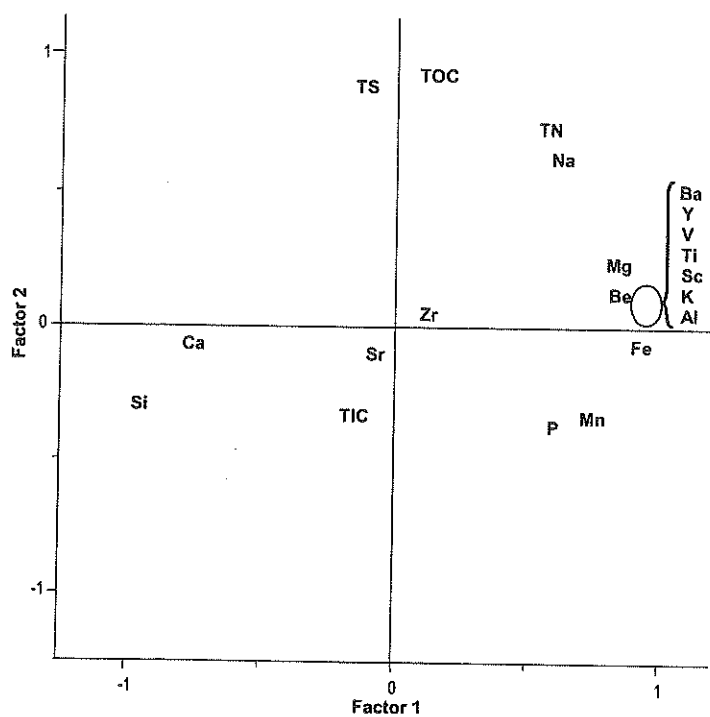


Figura 18 – Factor 1 versus Factor 2 resultante da Análise de Factores, com extracção de 3 factores. Variáveis: Si, Al, Fe, Mg, Mn, Ca, Ti, Na, K, P, Ba, Sr, Y, Zr, Sc, Be, V, TOC, TIC, TN e TS. Amostras: 25, do estuário do Alvor.

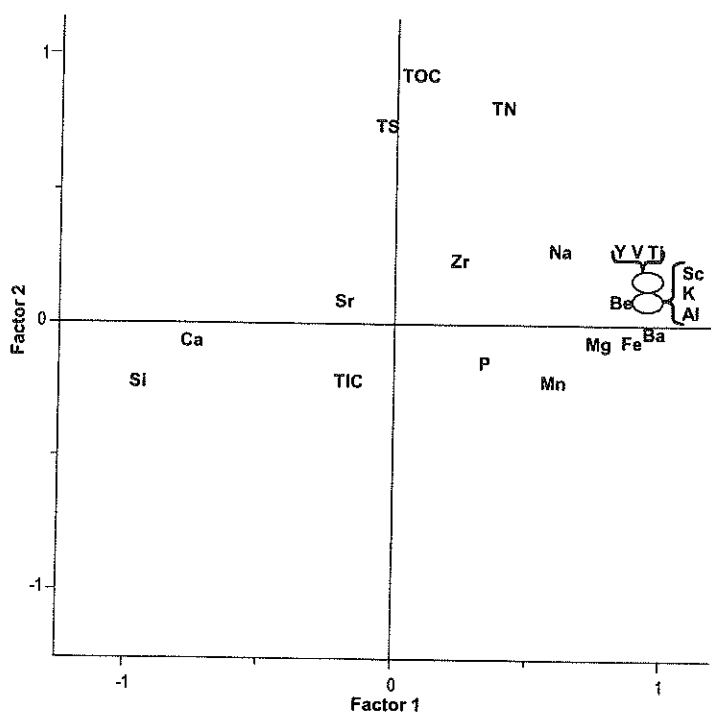


Figura 19 – Factor 1 versus Factor 2 resultante da Análise de Factores, com extracção de 3 factores. Variáveis: Si, Al, Fe, Mg, Mn, Ca, Ti, Na, K, P, Ba, Sr, Y, Zr, Sc, Be, V, TOC, TIC, TN e TS. Amostras: 29, do estuário do Guadiana.

5.8. DATAÇÕES

Os fragmentos de conchas encontrados foram identificados (Anexo V), do ponto de vista taxonómico, antes de serem enviados para datação ^{14}C por AMS. Esta identificação permitiu adquirir informação sobre o potencial ambiente/habitat em que estas espécies vivem geralmente. Na tabela VI encontram-se as espécies identificadas, o tipo de ambiente em que geralmente vivem e a amostra em que estavam presentes.

Tabela VI – Espécies identificadas nas amostras analisadas e tipo de habitat (Hayward e Ryland, 1995; Macedo *et al.*, 1999; Muzavor, 1991; Muzavor e Morenito, 1999; Tebble, 1976).

Espécie	Ambiente	Amostra
<i>Scrobicularia plana</i>	Estuários, lagoas, rias. Zona intermarés até 30 m. Areias bastante lodosas.	T2 [281-283]
		GD2 [219-228]
		AR3 [115-119]
		AR3 [151-159]
		AL3 [170-185]
		AL3 [255-268]
		AR1 [280-295]
<i>Cerastoderma edule</i>	Estuários e rias. Areia e lodo.	AR1 [150-160]
		AL3 [170-185]
		AL3 [255-268]
<i>Cerastoderma glaucum</i>	Estuários e rias. Areia e lodo.	AR1 [150-160]
		GD2 [219-228]
<i>Bittium reticulatum</i>	Zostera, Posidonia e Cystoseira da zona intermarés até 250m	AL3 [255-268]
<i>Assiminea grayana</i>	Parte superior dos pântanos salgados. Intermarés e água salobra.	AR1 [150-160]
		AL3 [170-185]
		AR1 [280-295]
<i>Hydrobia ulvae</i>	Debaixo das pedras e entre as algas. Rias e lagoas. Intermarés.	AR1 [150-160]
		AR3 [151-159]
		AL3 [170-185]
		AL3 [255-268]
<i>Nassarius curvieri</i>	Vários substratos, alguns metros abaixo da linha inferior das marés.	AR1 [280-295]
		AR1 [150-160]

No estuário do Alvor foram datadas 2 amostras, AL3 [170-185] e AL3 [255-268], com idade ^{14}C convencional de 1030 e 1400 anos BP e um erro de ± 40 anos BP, respectivamente. No estuário do Arade foram datadas 4 amostras, AR1 [150-160], AR1 [280-295], AR3 [115-119] e AR3 [151-159] com idades 3350, 4560, 1140 e 1410 ± 40 anos BP, respectivamente. No estuário do Guadiana foi datada a amostra GD2 [219-228] com a idade de 3380 anos BP, ± 40 anos BP.

6. DISCUSSÃO

6.1. DISCUSSÃO DO MÉTODO DE AMOSTRAGEM

Um dos principais objectivos deste trabalho é o de fornecer um método rápido e pouco dispendioso ao estudo de sedimentos estuarinos através da análise da cor, o que conduziu à selecção do material e métodos de amostragem simples e de fácil aplicação. O espectrofotómetro Colortron™ foi adquirido devido ao seu baixo custo e pequenas dimensões quando comparado com outros aparelhos semelhantes, como por exemplo o espectrofotómetro Minolta CM-2002. No que diz respeito à aquisição de imagens digitais da superfície dos testemunhos, verificou-se que o método proposto utilizando um *scanner* (Scanner Mustek 1200 A3 PRO), permite adquirir imagens de elevada qualidade, o que poderá permitir uma posterior análise das mesmas. Recorrendo a *scanners* portáteis deve ser possível aplicar este método a testemunhos de sondagem com maior diâmetro, que os testemunhos de sondagem recuperados no âmbito deste trabalho.

Os parâmetros de cor utilizados CIE Lab foram seleccionados uma vez que são os mais indicados para a análise de sedimentos (Andrews e Freeman, 1996). Sabendo que a humidade afecta significativamente a reflectância da cor, e que a oxidação de compostos de ferro tende a aumentar a reflectância, o modo estabelecido para manter as variações sistemáticas, foi o de realizar as medições da cor em períodos constantes após a amostragem do testemunho, seguindo a sugestão dos autores Blum (1997) e Balsam *et al.* (1997). Contudo, os aspectos anteriormente enunciados e a presença de película plástica a cobrir a superfície do sedimento devem ser aceites como erro analítico inerente ao método.

Foram adquiridos dados de cor em amostras na forma de pó seco e estes dados foram comparados com os dados de cor recolhidos em sedimento húmido. Segundo

Blum (1997) o melhor método de estabelecer as características espectrais absolutas da cor de sedimentos e rochas é em pó seco e homogeneizado. As medições a partir de sedimentos secos são significativamente mais sensíveis a variações subtis dos dados (Balsam *et al.*, 1997). Contudo, no presente trabalho desprezou-se a utilização dos dados de cor adquiridos em sedimento seco, uma vez que apenas para o parâmetro de cor CIE L (fig. 11) existe uma diferença significativa entre sedimento húmido e sedimento seco. Desta forma não parece justificar que sejam usados os dados de cor de sedimento seco e homogeneizado, uma vez que os processos de secagem e moagem do sedimento são morosos, logo, não cumpre o objectivo de fornecer uma ferramenta prática de fácil aplicação. Uma outra hipótese, não testada, é a de se deixar secar os testemunhos de sondagem à temperatura ambiente. Esta solução não pareceu viável, pois, como foi referido anteriormente a humidade e a oxidação de compostos de ferro tende a alterar a reflectância (Blum, 1997; Balsam *et al.*, 1997). Além disso se os compostos de ferro, por exemplo, sofressem oxidação, estaria dificultada a interpretação dos resultados, isto é, seria difícil saber se a oxidação do Ferro era devida a processos aquando da deposição do sedimento ou se teria sido provocada com a secagem do testemunho. No entanto, se logisticamente fosse possível secar a frio e a vácuo os testemunhos inteiros, talvez deste modo fosse possível adquirir dados cor fiáveis sem alterar a composição química do sedimento.

De um modo geral, o material e métodos adoptados permitiram a aquisição de dados de cor com boa reprodutibilidade (baixa percentagem de erro nos replicados), de uma forma rápida (da amostragem à aquisição de dados em poucas horas), como se pretendia inicialmente.

Relativamente ao teste de distância máxima de semelhança entre dois testemunhos de sondagem verificou-se que mesmo para a distância mínima testada de 0,5 m, os dois

testemunhos de sedimentos estuarinos não se podem considerar equivalentes, pelo menos com base nos 3 parâmetros de cor analisados (CIE Lab – ver sub capítulo 5.2. dos resultados). Esta evidência pode pôr em causa diversos trabalhos publicados onde são apresentados resultados da média de parâmetros geoquímicos de vários testemunhos de sondagem recuperados a alguns metros de distância (e.g.: Dellwig *et al.*, 1998). Contudo, há que ter em conta o nível de resolução que se pretende analisar. Neste estudo ficou provado, através dos resultados apresentados no sub capítulo 5.2., que com uma resolução de 5 cm não se pode considerar que dois testemunhos possuem propriedades semelhantes à distância de 0,5 m.

6.2. A COR E A GEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS ESTUARINOS

6.2.1. *Determinação de Unidades Sedimentares*

Nas imagens digitais da superfície do testemunho de sondagem (Anexo III) observa-se em todos os testemunhos uma alteração da cor em profundidade, acompanhada de uma alteração na textura do sedimento. Frequentemente, distingue-se uma unidade superior do testemunho mais avermelhada (3,5YR – Escala de Munsell) e uma unidade inferior mais acinzentada (3G – Escala de Munsell). Esta evidência reflecte-se nas imagens digitais, nos perfis dos parâmetros de cor e também em perfis de alguns elementos químicos e granulométricos (e.g.: fig. 12a, fig. IIIi do Anexo III e fig. IVi do Anexo IV).

Desta forma procurou-se determinar qual a razão desta alteração e se as unidades sedimentares definidas correspondiam entre testemunhos e até mesmo entre estuários. Os dados relativos aos estuários dos rios Alvor e Guadiana parecem ser mais robustos, isto é, todos os parâmetros de cor respondem, ou correlacionam-se, de forma semelhante com as restantes propriedades sedimentares aqui analisadas (Tabelas IV e

V). Neste sentido procedeu-se à identificação de unidades sedimentares existentes nos testemunhos dos estuários dos rios Alvor e Guadiana, mais pormenorizadamente nos testemunhos AL1 e GD3.

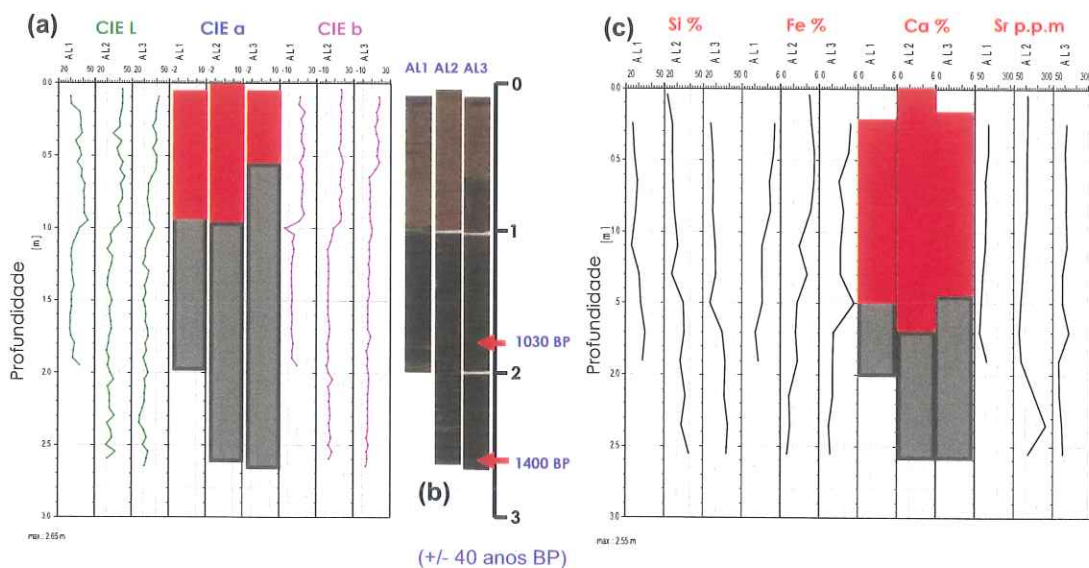


Figura 20 – Resultados dos testemunhos de sondagem AL1, AL2 e AL3. (a) Perfis dos parâmetros de cor CIE Lab. N° total de amostras: AL1= 38; AL2 = 52; AL3 = 52. (b) Imagem digital da superfície dos testemunhos, com indicação da idade radiocarbono – AMS. (c) Perfis de Si, Fe, Ca, Sr, em % de peso seco. N° total de amostras: AL1= 9; AL2 = 13; AL3 = 12.

Numa primeira fase, observando os perfis de cor e de alguns elementos químicos analisados, para os três testemunhos do Alvor, é possível identificar alterações nos perfis a partir de determinada profundidade (fig. 20). O mesmo se verifica nos perfis dos testemunhos do Guadiana (fig. 21). Em ambos os testemunhos é possível identificar uma diferença entre a espessura das unidades sedimentares definidas a partir dos perfis de cor ou a partir dos perfis de química, como é evidente por exemplo para o caso do Cálcio (fig. 20c e fig. 21c). Para todos os testemunhos destes dois estuários, foram definidas o que visualmente se assemelhava a unidades sedimentares distintas, quer pelos perfis, quer pelas imagens digitais da superfície dos testemunhos.

Numa segunda fase tentou-se comprovar estatisticamente a existência destas unidades sedimentares através da Análise de Componentes Principais (PCA) para os

parâmetros da cor CIE Lab e para os parâmetros químicos Si, Fe, Ca e Sr. Foi ainda analisada comparativamente uma fotografia digital de cada testemunho de sondagem, para identificar as diferentes unidades definidas (fig. 20b e fig. 21b).

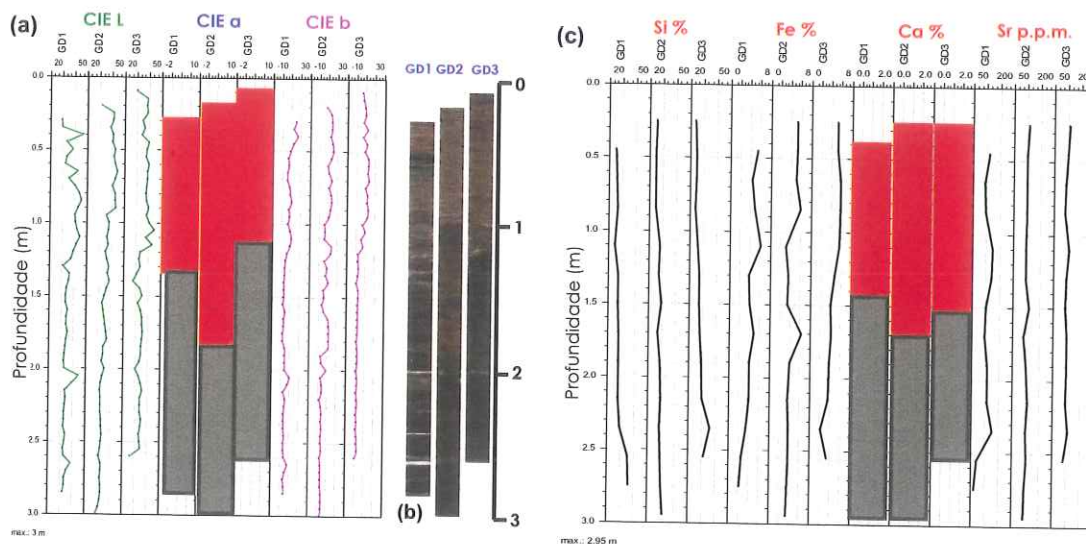


Figura 21 – Resultados dos testemunhos de sondagem GD1, GD2 e GD3. (a) Perfis dos parâmetros de cor CIE Lab. Nº total de amostras: GD1= 52; GD2 = 57; GD3 = 51. (b) Imagem digital da superfície dos testemunhos, com indicação da idade radiocarbono – AMS. (c) Perfis de Si, Fe, Ca, Sr, em % de peso seco. Nº total de amostras: GD1= 12; GD2 = 14; GD3 = 12.

Na análise estatística multivariada de componentes principais não se deve incluir variáveis que sejam muito correlacionadas ou colineares, pelo que só foram seleccionados os elementos mencionados anteriormente, ou seja, Si, Fe, Ca e Sr. De referir ainda a existência de uma elevada correlação positiva e perfis sedimentares muito semelhantes entre os elementos químicos Al, Mg, K, Ba e Fe (Anexo IV).

Assim, foi possível identificar dois grupos de amostras no testemunho AL1, quer com base na Análise de Componentes Principais dos parâmetros de cor (fig. 22a), quer baseado nos parâmetros químicos seleccionados (fig. 22b). No PCA de cor – CIE Lab a unidade superior define-se entre 0,25 e 0,85 m e a unidade inferior entre 1,1 e 1,9 m. Para o PCA da química a unidade superior é definida pelo intervalo de 0,25 a 1,1 m e a unidade inferior de 1,3 a 1,9 m. A divisão entre unidades superior e inferior com base

no PCA da cor é visível na imagem digital do testemunho de sondagem e nos perfis dos parâmetros da cor (fig. 20). Contudo, a espessura da unidade superior é ligeiramente diferente segundo dados de cor ou de química.

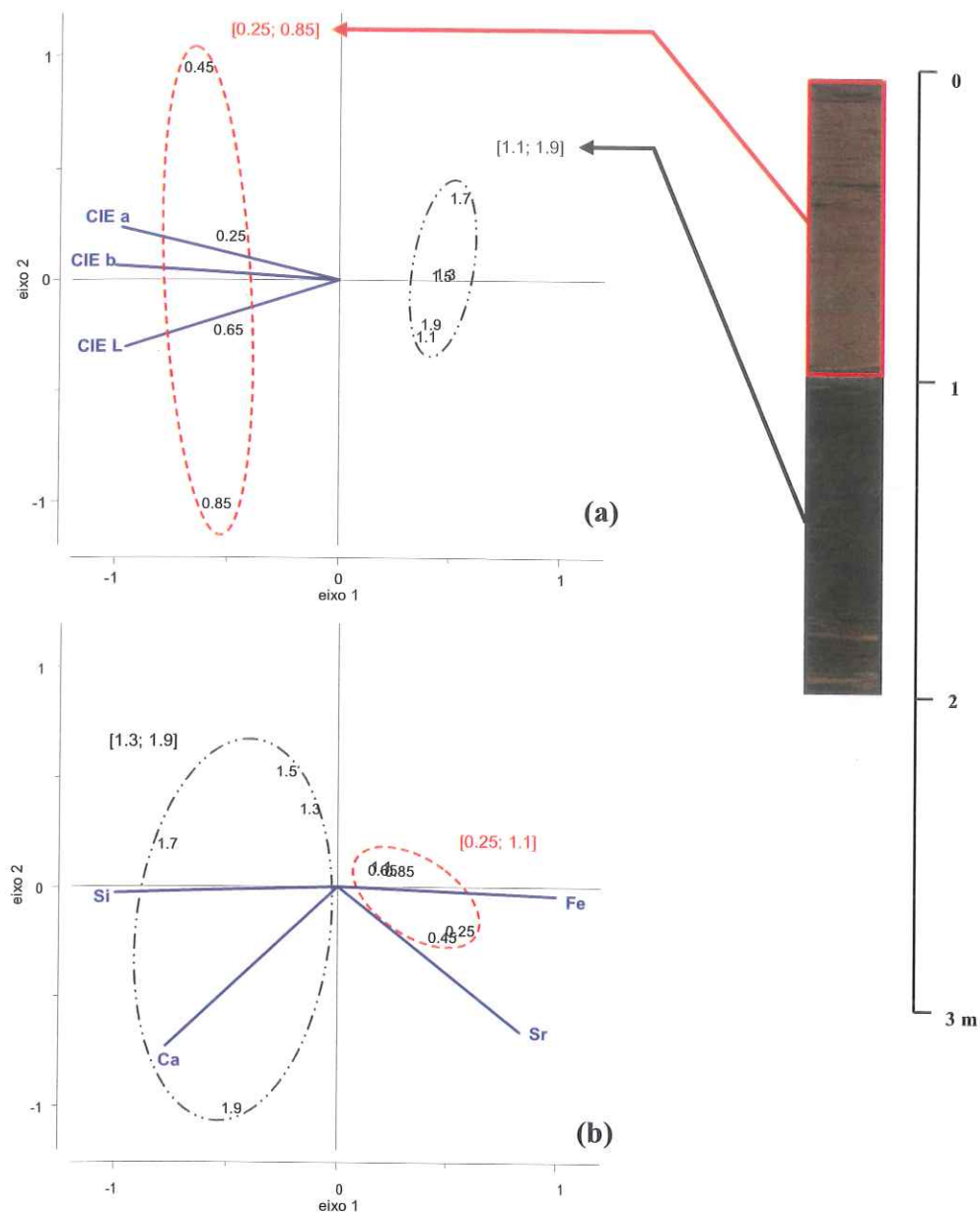


Figura 22 – Análise de componentes principais dos dados do testemunho de sondagem AL1 (Alvor), com o número total de amostras = 9. Em (a) as variáveis são os parâmetros de cor CIE Lab. Em (b) as variáveis são os elementos químicos Si %, Fe %, Ca %, Sr p.p.m..

Tal como no testemunho AL1, em GD3 também é possível identificar dois grupos de amostras com características distintas quer na cor (fig. 23a) quer na composição

química (fig. 23b). Para GD3 temos o PCA de cor a definir a unidade superior de 0,25 a 1,1 m e a unidade inferior de 1,3 a 2,55 m. A partir do PCA da química temos a unidade superior de 0,25 a 1,5 m e a unidade inferior de 1,7 a 2,55 m. Também neste testemunho de sondagem é possível verificar pela imagem digital uma coloração diferente entre unidades superior e inferior definidas pelo PCA da cor que também se reflecte nos perfis de cor.

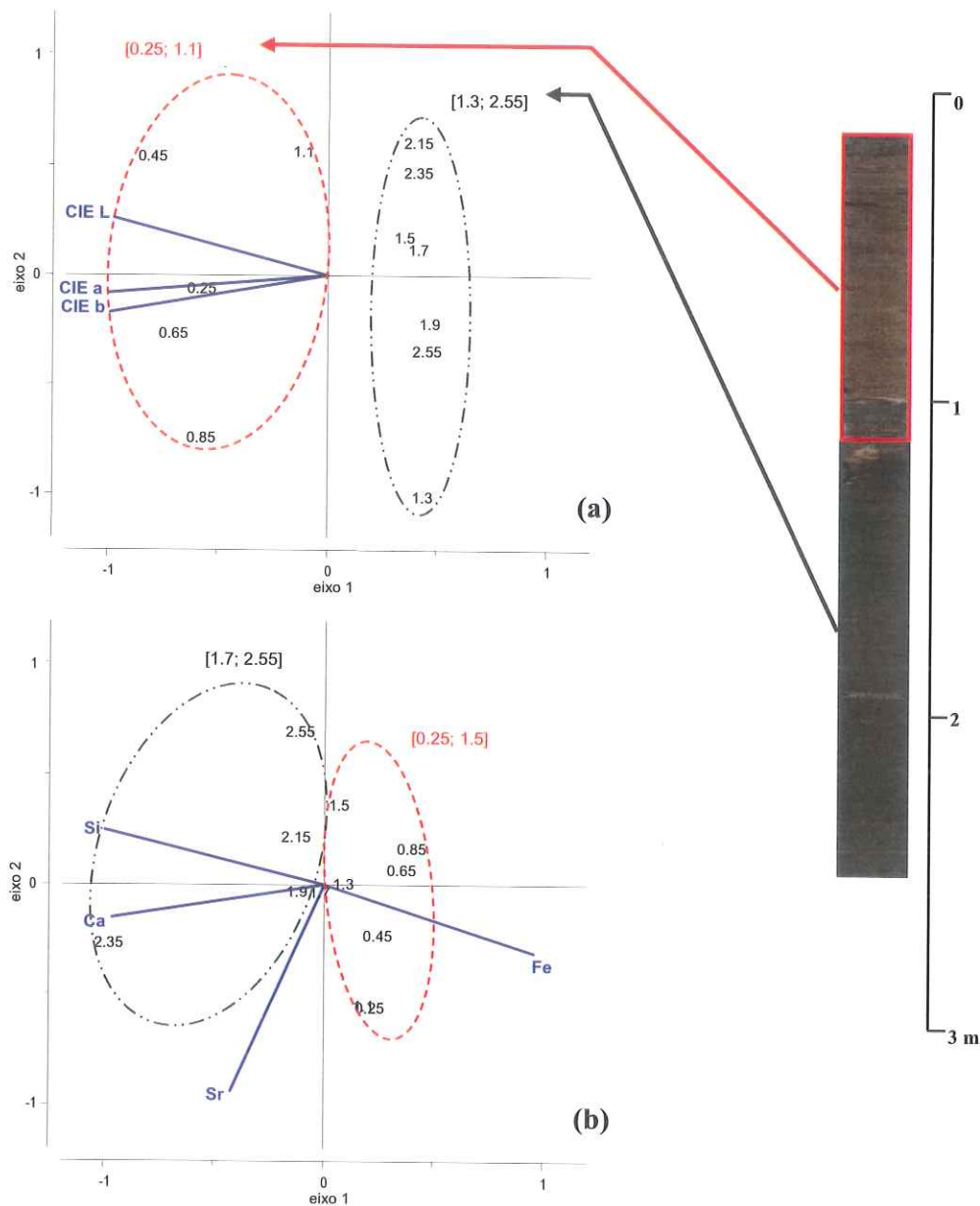
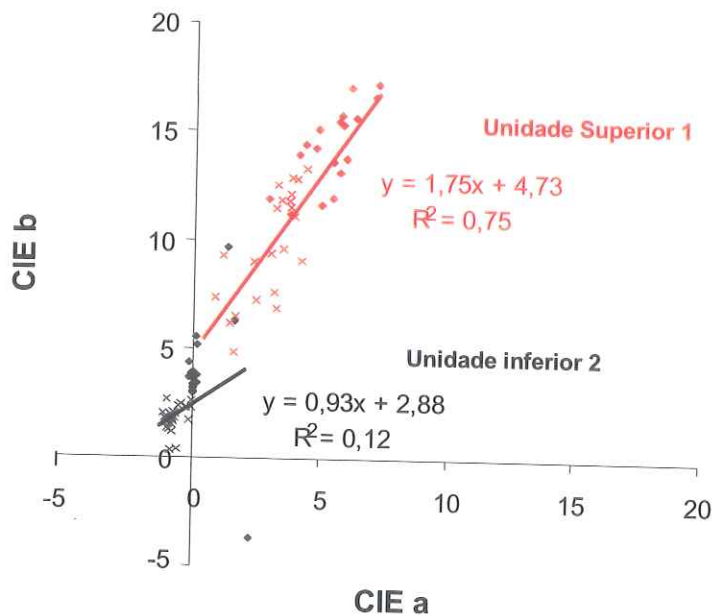


Figura 23 – Análise de componentes principais dos dados do testemunho de sondagem GD3 (Guadiana), com o número total de amostras = 12. Em (a) as variáveis são os parâmetros de cor CIE Lab. Em (b) as variáveis são os elementos químicos Si %, Fe %, Ca %, Sr p.p.m..

A transição facilmente observável parece ser devida simplesmente a uma mudança de estado de oxidação de alguns elementos, e do Ferro principalmente, que faz com que a cor seja avermelhada na unidade oxidada (superior) e acinzentada na unidade reduzida (inferior) (e.g.: Le Mer e Roger, 2001; Thomson *et al.*, 1998). Assim sendo, as unidades determinadas visualmente numa primeira fase de interpretação não podem ser consideradas como unidades sedimentares.

A não coincidência de intervalos definidos com base em PCAs de cor e de química, sugere a existência de uma zona de transição, ou frente redox, com propriedades de ambas as unidades superior e inferior. Contudo, nem sempre é evidente esta zona de transição entre duas unidades, como por exemplo, no caso do testemunho AL2 (fig. VI do Anexo VI), do estuário do Alvor, onde as unidades definidas através da cor e da química são idênticas. É de notar que no PCA da química o ponto correspondente à profundidade 1,3 m tem características mais próximas da unidade superior do que da unidade inferior, o que até pode indicar a presença da zona de transição. Estas diferenças ilustram as capacidades de utilização dos parâmetros de cor digitais, mas estes devem ser sempre tratados do ponto de vista estatístico, através, por exemplo da Análise de Componentes Principais. Efectivamente, pode-se concluir que a cor do sedimento está influenciada pela sua composição química, como esperado (Balsam *et al.*, 1998; Bishop *et al.*, 2001), sendo aqui os elementos de Sílica e Ferro determinantes para caracterizar as unidades pois se encontram em extremidades opostas do eixo da componente principal 1.

De modo a verificar a semelhança entre unidades de cor destes 2 estuários afastados em cerca de 100 km, colocaram-se os dados dos parâmetros de cor CIE a em função de CIE b dos testemunhos de sondagem AL1 e GD3 (fig. 24). A vermelho encontram-se os dados de ambos os testemunhos para a unidade 1 e a cinzento para a unidade 2.



♦ unidade 1 AL1 ♦ unidade 2 AL1 × unidade 1 GD3 × unidade 2 GD3

Figura 24 – CIE a versus CIE b para todos os dados de cor obtidos nos testemunhos de sondagem AL1 (38 amostras) e GD3 (51 amostras). Foi calculada a regressão linear com base nos intervalos das duas unidades definidas pelo PCA da cor.

Na figura 24 observa-se que existe uma semelhança nas características da cor entre testemunhos para cada unidade, ou seja, as 2 unidades definidas são semelhantes para ambos os estuários, no que respeita às propriedades de cor. A unidade 1 possui um maior espectro e valores mais elevados para CIE a e para CIE b e um coeficiente de regressão de 0,75, enquanto que a unidade 2 possui um coeficiente de regressão de 0,12.

6.2.2. A Relação entre a Cor e as Características Sedimentares

Em relação à cor e à granulometria, na tabela IV é possível verificar que a Média granulométrica (ϕ) é correlacionada positivamente com os três parâmetros de cor CIE Lab, para os estuários do Alvor e Guadiana. Pode-se deste forma afirmar, de um modo generalista, que quanto maiores os valores dos parâmetros de cor menor o tamanho das partículas, e vice-versa. No entanto, esta relação não tem um forte peso estatístico, pois o coeficiente de correlação varia entre 0,54 e 0,94 e não se verifica para os outros

estuários, sendo provavelmente mascarada por outra variável como por exemplo a % da componente biogénica versus detrítica. Uma vez que as profundidades amostradas para análise granulométrica são diferentes das analisadas para a determinação da composição química, os dados de granulometria não foram incluídos na análise de factores.

Com a análise de factores (fig. 16 e fig. 17), tendo como variáveis os dados relativos à composição química do sedimento é possível agrupar a informação dos elementos químicos em apenas alguns factores, tal como proposto por Dellwig *et al.* (1998). Os factores obtidos desta análise contêm a informação de vários elementos químicos permitindo resumir as iniciais 21 variáveis (Si, Al, Fe, Mg, Mn, Ca, Ti, Na, K, P, Ba, Sr, Y, Zr, Sc, Be, V, TOC, TIC, TN e TS) em apenas 3. Para esta análise foram usados os dados relativos ao conjunto de 54 amostras do Alvor e Guadiana. O objectivo de realizar este tipo de análise neste trabalho é o de tentar encontrar factores que se assemelhem às propriedades da cor do sedimento, isto é, com perfis semelhantes. Desta forma será possível encontrar uma justificação matemática e química para a variação da cor nos sedimentos estuarinos. O perfil de cada factor foi construído com base na seguinte fórmula para cada amostra: $F_x = \sum fl_{xi} \cdot (c_i/c_{max})$ (Dellwig *et al.*, 1998).

(tal como enunciado no sub capítulo 4.8. Métodos de Análise Estatística)

A contribuição de cada variável para cada factor é dada por fl (tabela VIII, Anexo VII), que varia entre -1 e 1. Com base nesta contribuição é possível determinar quais os elementos químicos com mais influência na variação de cada factor, isto é, qual o factor que consegue explicar a maior parte da variabilidade de cada elemento químico.

Os elementos químicos que mais influenciam o Factor 1, pela positiva, do mais influente para o menos influente são: Al ($fl=0,99$), Sc, K, Ti, Ba, V, Y, Fe, Be, Mg ($fl=0,80$) >> Mn, Na, TN, P (0,36). Os elementos químicos com maior influência negativa são Si e Ca, com $fl > 0,74$.

O Factor 2 reflecte sobretudo a presença de matéria orgânica, e neste caso os elementos com maior contribuição positiva são: TOC, TN e TS.

A maior contribuição positiva e quase exclusiva para o Factor 3 é dada pelos elementos Sr, TIC e P. Com menor influência mas pela positiva estão Mn ($f_l=0,48$) e Ca ($f_l=0,40$) e pela negativa Mg ($f_l=-0,42$), Na ($f_l=-0,42$) e TS ($f_l=-0,37$).

Nas figuras VIII e VIIIi do Anexo VII encontram-se os perfis dos factores F1, F2 e F3 para cada testemunho de sondagem recolhido nos estuários do Alvor e do Guadiana.

Na tabela VII encontra-se a matriz de correlação entre os factores F1, F2 e F3 e os parâmetros de cor CIE L, CIE a, CIE b e vector DE para todas as amostras analisadas do estuário do Alvor e Guadiana. A variável vector DE é resultante da combinação das coordenadas esféricas que são os 3 parâmetros de cor CIE Lab, ou seja neste vector está contida toda a informação dos 3 parâmetros de cor: $\text{vector DE} = \sqrt{L^2 + a^2 + b^2}$

Tabela VII – Matriz de correlação para os factores F1, F2 e F3 e para os parâmetros de cor CIE L, CIE a, CIE b e Vector DE, obtidas para um total de 54 amostras dos estuários do Alvor e Guadiana.

AL e GD	F1	F2	F3	CIE L	CIE a	CIE b	vector DE
F1	1,00						
F2	0,57	1,00					
F3	-0,33	-0,53	1,00				
CIE L	0,54	0,01	0,12	1,00			
CIE a	0,48	-0,06	0,47	0,67	1,00		
CIE b	0,43	-0,12	0,45	0,74	0,96	1,00	
vector DE	0,55	-0,02	0,22	0,98	0,78	0,84	1,00

Com base nos coeficientes de correlação (r) apresentados na tabela VII é possível verificar que o Factor 1 se correlaciona positivamente com o vector DE ($r > 0,5$) e com o parâmetro de cor CIE L para o conjunto das amostras dos dois estuários. Além disso, ao analisar a matriz de correlação exclusivamente para as amostras do estuário do Alvor (Tabela VIII) verifica-se também que F1 está correlacionado positivamente com os 3 parâmetros de cor CIE Lab e com o vector DE.

Tabela VIII – Matriz de correlação para os factores F1, F2 e F3 e para os parâmetros de cor CIE L, CIE a, CIE b e Vector DE, obtidas para as 25 amostras do estuário do Alvor.

<i>Alvor</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>	<i>CIE L</i>	<i>CIE a</i>	<i>CIE b</i>	<i>vector DE</i>
<i>F1</i>	1,00						
<i>F2</i>	0,59	1,00					
<i>F3</i>	-0,21	-0,68	1,00				
<i>CIE L</i>	0,60	-0,03	0,27	1,00			
<i>CIE a</i>	0,70	-0,06	0,36	0,82	1,00		
<i>CIE b</i>	0,67	-0,11	0,36	0,86	0,98	1,00	
<i>vector DE</i>	0,64	-0,05	0,31	0,99	0,89	0,92	1,00

Na matriz de correlação exclusiva para o estuário do Guadiana (Tabela IX), salvo para o parâmetro CIE L com $r = 0,48$, as variáveis de cor relacionam-se com o Factor 1 de forma semelhante ao que acontece no estuário do Alvor.

De um modo geral, o Factor 1 está correlacionado com as propriedades da cor do sedimento o que sugere que a cor está correlacionada positivamente com os elementos químicos que mais influenciam este factor (Al, Sc, K, Ti, Ba, V, Y, Fe, Be, Mg, e também Mn, Na, TN, P). A cor está ainda correlacionada negativamente com os elementos químicos que mais influenciam este factor pela negativa (Si, Ca).

Tabela IX – Matriz de correlação para os factores F1, F2 e F3 e para os parâmetros de cor CIE L, CIE a, CIE b e Vector DE, obtidas para 29 amostras do estuário do Guadiana.

<i>Guadiana</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>	<i>CIE L</i>	<i>CIE a</i>	<i>CIE b</i>	<i>DE vector</i>
<i>F1</i>	1,00						
<i>F2</i>	0,58	1,00					
<i>F3</i>	-0,24	-0,60	1,00				
<i>CIE L</i>	0,48	0,13	-0,13	1,00			
<i>CIE a</i>	0,57	-0,05	0,02	0,55	1,00		
<i>CIE b</i>	0,51	-0,15	0,00	0,72	0,91	1,00	
<i>DE vector</i>	0,51	0,08	-0,10	0,99	0,64	0,80	1,00

O Factor 2 não se correlaciona com os parâmetros da cor ($r \sim 0$) (Tabelas VII a IX), pelo que os elementos químicos que mais influenciam este factor (TOC, TN, TS) não têm aparentemente influência na cor dos sedimentos destas amostras.

O Factor 3 apresenta coeficientes de correlação de $\sim 0,46$ (AL e GD – Tabela VII) e 0,36 (Alvor – Tabela VIII) com os parâmetros de cor CIE a e CIE b e não se

correlaciona com CIE L ou com vector DE. No estuário do Guadiana (Tabela IX), não existe qualquer relação entre a cor e F3.

Embora nos estuários do Arade e Gilão-Almargem a correspondência entre a cor e a composição química do sedimento não seja a melhor, para os três testemunhos (Tabelas IV e V), aplicaram-se os factores extraídos da Análise de factores, realizada com os dados do Alvor e Guadiana. Desta forma é possível aplicar a relação entre variáveis, determinada a partir de amostras de 2 estuários (Alvor e Guadiana), e verificar a aplicabilidade destes factores em amostras de outros 2 estuários (Arade e Gilão-Almargem).

Nas tabelas VIIii, VIIiii e VIIiv do Anexo VII, encontram-se os valores obtidos da matriz de correlação entre os factores F1, F2 e F3 e os parâmetros de cor CIE Lab e vector DE para as amostras dos estuários dos rios Arade e Gilão-Almargem. Nas figuras VIIv e VIIvi no Anexo VII é possível observar os perfis para F1, F2, F3 e vector DE, para os testemunhos do Alvor, Arade, Gilão-Almargem e Guadiana. Na tabela VIIiii (Anexo VII), referente aos dados do estuário do Arade, é possível verificar uma correlação positiva entre os parâmetros de cor e F1, e uma correlação negativa com F2. No caso do Gilão-Almargem, observa-se que CIE L não está correlacionado com os factores e CIE a se correlaciona positivamente com F1 e F2, enquanto que CIE b apenas está correlacionado positivamente com F1.

O facto de existir correlação positiva entre o Factor 1 e o vector DE, excepto para o estuário Gilão-Almargem, sugere que a partir dos dados de cor seja possível determinar unidades sedimentares e consequentemente correlacionar testemunhos de sondagem intra e inter estuários.

6.3. CARACTERIZAÇÃO PALEOAMBIENTAL

Nos capítulos anteriores foram identificadas unidades sedimentares tanto através da cor como de elementos químicos, estas unidades parecem existir nos diversos estuários estudados e resta então saber qual é o seu significado paleoambiental.

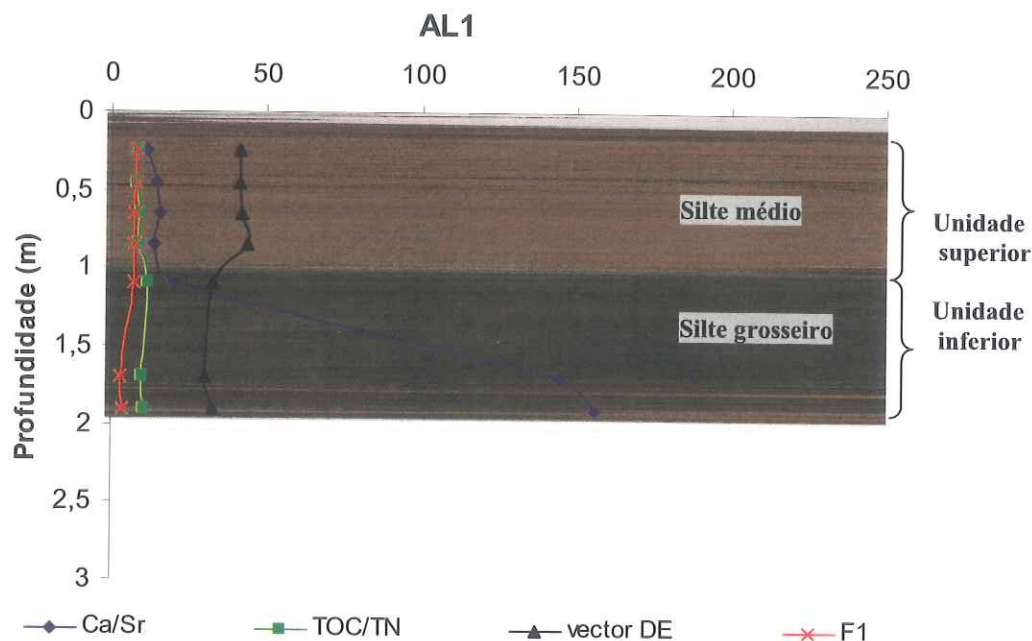


Figura 25 – Perfis de Ca/Sr, TOC/TN, vector DE e F1 para o testemunho de sondagem AL1. Em segundo plano encontra-se uma imagem digital, adaptada, da superfície do testemunho.

Na figura 25 observa-se que o perfil do vector DE do testemunho AL1 reflecte, de alguma forma, a variação da razão Ca/Sr embora os perfis variem em oposição em ambas as unidades definidas pelo PCA da cor (fig. 22) e visível na imagem digital da superfície do testemunho. A unidade superior é constituída por silte médio e a partir de cerca de 1 m até à base do testemunho este é constituído por silte grossoiro, ou seja, na unidade inferior provavelmente existe uma menor abundância de minerais argilosos. A razão Ca/Sr é uma ferramenta útil para determinar a origem do material depositado, pois o carbonato biogénico e o material detrítico possuem diferentes razões Ca/Sr. Assim, os valores da razão Ca/Sr na calcite biogénica variam entre 210 e 380 (Dellwig *et al.*, 1998), enquanto o xisto que representa a componente detrítica em sedimentos com

elevada abundância de minerais argilosos é próximo de 70 (Dellwig *et al.*, 1998). Desta forma pode-se afirmar que quanto mais elevado o valor da razão Ca/Sr maior a influência marinha. Há cerca de 1030 anos a influência marinha na zona de amostragem do testemunho AL3 (fig. 26), que se localiza mais próximo da linha de água (fig. III do Anexo II) era maior que actualmente, uma vez que o valor de Ca/Sr é de cerca de 150, enquanto que no presente é inferior a 50. Este facto é confirmado ainda pela presença de organismos fósseis (tabela VI) no sedimento que sugerem um paleoambiente de zona de intermarés com algum hidrodinamismo (tabela X), e indicam que estuário do Alvor foi sujeito a uma mudança na sua sedimentação por volta dos 1000 anos BP, o que corresponde a uma das últimas unidades de progradação descrita no Sul da Península Ibérica (Dabrio *et al.*, 2000; Goy *et al.*, 2003).

Contudo, o perfil do vector DE para o testemunho AL3 (fig. 26) não responde de forma tão evidente como acontece em AL1 (fig. 25) às variações no perfil de Ca/Sr.

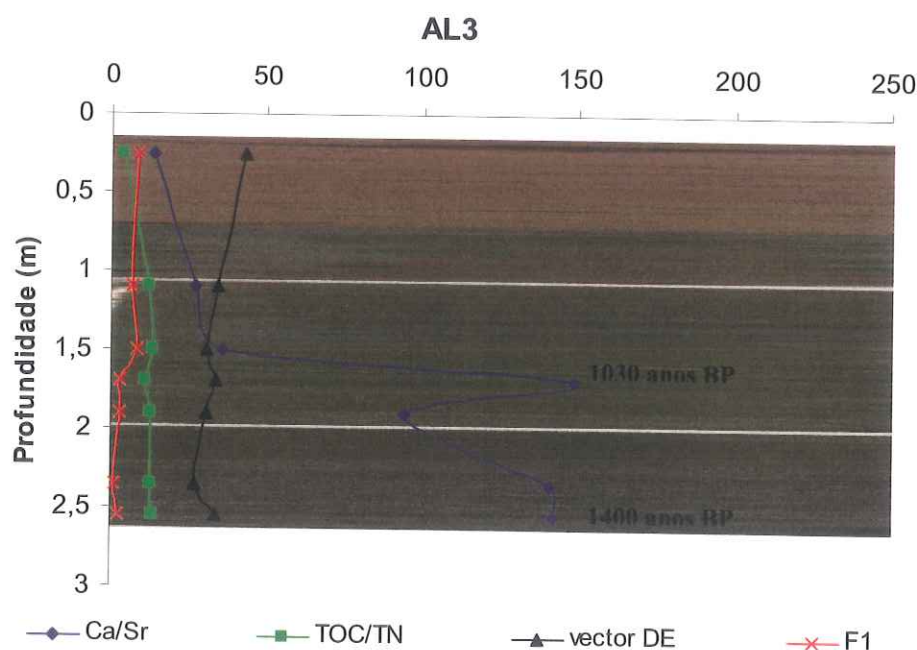


Figura 26 – Perfis de Ca/Sr, TOC/TN, vector DE e F1 para o testemunho de sondagem AL3. As datações indicadas possuem um erro de ± 40 anos.

Tabela X – Caracterização do estrato a que pertencem as amostras (idade, paleoambiente e flutuação do nível do mar.

Amostra	Idade (anos BP ± 40 anos)	Paleoambiente	Varição relativa do nível do mar
T2 [281-283]	-	zona inundada na maré alta, provavelmente seca na maré vazia, presença de lodo, provavelmente pouco hidrodinâmica	Desta profundidade ao nível actual houve uma regressão do nível do mar neste local
GD2 [219-228]	3380	zona inundada na maré alta, provavelmente seca na maré vazia, presença de lodo e/ou areia, provavelmente um pouco mais hidrodinâmica que T2	Desta profundidade ao nível actual houve uma regressão do nível do mar neste local
AR1 [150-160]	3350	Ambiente misto/fronteira, zona de sapal inferior, quase sempre inundado	Desta profundidade ao nível actual (0) houve uma regressão do nível do mar neste local
AR1 [280-295]	4560	Zona menos inundada que em AR1 [150-160], sapal	Desta profundidade para o nível superior houve uma transgressão do nível do mar neste local
AR3 [115-119]	1140	zona inundada na maré alta, provavelmente seca na maré vazia, presença de lodo, provavelmente pouco hidrodinâmica	Desta profundidade ao nível actual (0) houve uma regressão do nível do mar neste local
AR3 [151-159]	1410	zona inundada na maré alta, provavelmente seca na maré vazia, presença de lodo, e algas, provavelmente mais inundada que em AR3 [115-119]	Continuação de regressão deste ponto para o superior
AL3 [170-185]	1030	zona intermarés, mas com alguma hidrodinâmica.	Desta profundidade ao nível actual (0) houve uma regressão do nível do mar neste local
AL3 [255-268]	1400	Zona mais inundada que AL3 [170-185]	Continuação de regressão deste ponto para o superior

Ainda em relação ao testemunho AL3, o perfil da razão TOC/TN é imagem invertida do vector DE (fig. 26). A razão TOC/TN é outra ferramenta útil mas esta permite determinar a origem da matéria orgânica nos sedimentos, registando-se valores próximos de 7 na presença de organismos não vasculares e com baixa composição em celulose, e.g.: algas e valores superiores a 20 para as plantas superiores (Dellwig *et al.*, 1998). No entanto, para o testemunho AL3, mesmo sendo o perfil da razão TOC/TN

inverso ao perfil do vector DE, a amplitude desta variação é pequena, e os valores obtidos rondam 10, ou seja mais próximo de ambiente marinho.

De um modo geral, existem diferenças entre unidades superior e inferior no que respeita a taxas de sedimentação, para os testemunhos datados. Verifica-se que a taxa de sedimentação entre 0 e 1,8 m de profundidade no testemunho AL3 é de cerca de 0,17 cm/ano, enquanto que de 1,8 a 2,6 m é de cerca de 0,23 cm/ano. Semelhante é o que acontece para AR3 com 0,1 cm/ano entre 0 e 1,2 m de profundidade e 0,14 cm/ano entre 1,2 e 1,6 m de profundidade. No testemunho do Arade foram datados sedimentos mais antigos. Este testemunho foi recolhido numa zona mais próxima do canal principal do rio Arade (fig. Iiii) o que sugere que nesta zona poderá ter ocorrido remobilização e/ou erosão sedimentar, registando taxas de sedimentação de 0,05 cm/ano até aos 3350 anos BP e 0,11 cm/ano de 3350 a 4560 anos BP. Ao analisar a tabela XI é possível verificar que para todos os testemunhos analisados e datados, existe uma correspondência no tipo de fácies sedimentar regressivo desde há pelo menos 3380 anos BP até ao presente. Para o testemunho AR1, a presença das espécies identificadas (tabela VII) nas duas amostras datadas, sugere que dos 4560 para os 3350 anos BP a sequência sedimentar é transgressiva, mas tal não foi identificado nos restantes estuários analisados, uma vez que não foram encontrados sedimentos tão antigos como estes. Em estudos realizados por Freitas *et al.* (2003) e Drago *et al.* (2004) foram analisadas sequências sedimentares na Lagoa de Santo André e no rio Douro, respectivamente, e estabelecidos modelos paleoambientais para os últimos 14 000 anos BP. Tal como em Santo André e Douro, na região algarvia estudada no âmbito deste trabalho, também se registaram sequências sedimentares regressivas desde há pelo menos 3380 anos BP até ao presente, mesmo se este período corresponde a um contexto eustático transgressivo. As sequências sedimentares aqui estudadas, embora apenas compreendam sedimentos relativamente

recentes reflectem de alguma forma uma sucessão de diferentes ambientes relacionados com a evolução do nível do mar na região.

7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

De um modo geral, o material e métodos adoptados permitiram a aquisição de dados de cor com boa reprodutibilidade (baixa percentagem de erro nos replicados), de uma forma rápida (da amostragem à aquisição de dados em poucas horas), como se pretendia inicialmente.

Relativamente ao teste de distância máxima de semelhança entre dois testemunhos de sondagem, verificou-se que, mesmo para a distância mínima testada de 0,5 m, os dois testemunhos de sedimentos estuarinos não se podem considerar equivalentes, pelo menos com base nos 3 parâmetros de cor analisados.

Os valores das componentes de cor CIE a e CIE b, quer no sedimento húmido quer no sedimento seco são estatisticamente semelhantes. Os valores médios de CIE L para o sedimento seco são mais elevados (59,5) que em sedimento húmido (35,1) e significativamente distintos. Desta forma, foi desprezada a utilização dos dados de cor adquiridos em sedimento seco, para garantir rapidez e fácil aplicação do método.

De um modo geral, os parâmetros geoquímicos que apresentam, com maior frequência, correlações positivas superiores a 0,5, nunca negativas, com os parâmetros de CIE Lab são Al, Fe, Mn, Ti, P, Y, Sc, V e a média granulométrica (ϕ). Também os parâmetros Mg, K, Ba e Be apresentam frequentemente correlações positivas $> 0,5$, no entanto estas também podem ser não significativas ou negativas. O teor em silício tem frequentemente correlações negativas superiores a 0,5 com os parâmetros de cor. Os teores em cálcio, enxofre total e carbono total apresentam também frequentemente correlação negativa superior a 0,5 com qualquer um dos parâmetros de cor CIE Lab.

No que diz respeito à variação das características do sedimento com a profundidade, observa-se, para todos os testemunhos analisados, uma alteração da cor em profundidade, acompanhada de uma alteração na textura do sedimento. Nos estuários

dos rios Alvor e Guadiana todos os parâmetros de cor respondem, ou correlacionam-se, de forma semelhante com as restantes propriedades sedimentares e geoquímicas analisadas.

Com a Análise de Componentes Principais foi ainda possível comprovar estatisticamente que a cor do sedimento é influenciada pela sua composição química, como era esperado, sendo o conteúdo em Ferro e Silício determinantes na caracterização de unidades sedimentares. Foi também possível encontrar semelhanças entre unidades sedimentares de dois estuários através da cor, contudo estas necessitam de ser confirmadas com dados da composição química e da granulometria.

Por fim, a extracção de factores foi útil na interpretação das numerosas variáveis em análise e permitiu obter uma visão global da variabilidade do sedimento em profundidade e da forma como os elementos químicos se relacionam entre si. O Factor 1 está correlacionado com as propriedades da cor do sedimento o que sugere que a cor está correlacionada positivamente com os elementos químicos que mais influenciam este factor (Al, Sc, K, Ti, Ba, V, Y, Fe, Be, Mg, e também Mn, Na, TN, P). A cor está ainda correlacionada negativamente com os elementos químicos que mais influenciam este factor pela negativa (Si, Ca).

No entanto, serão necessários vários trabalhos deste tipo para se poder validar e generalizar a interpretação dos dados de cor obtidos por espectrofotometria em relação a características de unidades sedimentares.

Propõe-se que seja mais aprofundado o estudo da relação entre factores químicos e os parâmetros da cor e verificar a sua aplicação noutras regiões estuarinas. Os resultados obtidos neste estudo deverão ainda ser comparados com os testemunhos de sondagem longos recolhidos na região, por exemplo, através da conversão de dados de cor de Munsell para CIE Lab.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anónimo (2000) "Plano de bacia hidrográfica das ribeiras do Algarve." INAG, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território.
- ACTLABS (2002) *in* www.actlabs.com/trace_elem_analysis.htm.
- Amethyst Galleries, Inc. (1995, 1996) *in* <http://mineral.galleries.com/minerals/property/color.htm>.
- Andrade, C., M.C. Freitas, J. Moreno e S. C. Craveiro (2004). "Stratigraphical evidence of Late Holocene barrier breaching and extreme storms in lagoonal sediments of Ria Formosa, Algarve, Portugal." *Marine Geology* **210**: 339–362.
- Andrews, J. T. e D. C. Barber (2002). "Dansgaard-Oeschger events: is there a signal off the Hudson Strait Ice Stream?" *Quaternary Science Reviews* **21**(1-3): 443-454.
- Andrews, J. T. e W. Freeman (1996) "The measurement of sediment color using the Colortron™ Spectrophotometer." *Arctic and Alpine Research* **28** (4): 524-528.
- Andrews, J. T., A. E. Jennings, M. Kerwin, M. Kirby, W. Manley, G. H. Miller, G. Bond e B. MacLean (1995). "A Heinrich-like event, H-0 (DC-0): Source(s) for detrital carbonate in the North Atlantic during the Younger Dryas chronozone." *Paleoceanography* **10**(5): 943-952.
- Balsam, W., J. Damuth, R. Schneider (1997) "10. Comparison of shipboard vs. shore-based spectral data from Amazon fan cores: implications for interpreting sediment composition." *In* Flood, R., D. Piper, A. Klaus, L. Peterson "Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results" **155**, 193-215.
- Balsam W. L. e B.C. Deaton (1991). "Sediment dispersal in the Atlantic Ocean – Evaluation by visible light spectra." *Reviews in Aquatic Sciences* **4** (4): 411-447.
- Balsam W. L. e B.C. Deaton (1996) "Determining the composition of late quaternary marine sediments from NUV, VIS, and NIR diffuse reflectance spectra"

Marine Geology 134 (1-2): 31-55.

Balsam W. L., B.C. Deaton, J.E. Damuth (1999). "Evaluating optical lightness as a proxy for carbonate content in marine sediment cores" Marine Geology 161 (2-4): 141-153.

Balsam, W. L., B. C. Deaton e J. E. Damuth (1998). "The effects of water content on diffuse reflectance spectrophotometry studies of deep-sea sediment cores." Marine Geology 149 (1-4): 177-189.

Barcena, M. A. e F. Abrantes (1998). "Evidence of a high-productivity area off the coast of Malaga from studies of diatoms in surface sediments." Marine Micropaleontology 35 (1-2): 91-103.

Bishop, J. L., A. Lougear, J. Newton, P. T. Doran, H. Froeschl, A. X. Trautwein, W. Korner e C. Koeberl (2001). "Mineralogical and geochemical analyses of Antarctic lake sediments: a study of reflectance and Mossbauer spectroscopy and C, N, and S isotopes with applications for remote sensing on Mars." Geochimica et Cosmochimica Acta 65 (17): 2875-2897.

Blott, S. (2000). GRADISTAT – A Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments by Sieving or Laser Granulometer. London.

Blum, P. (1997). Physical Properties handbook: a guide to the shipboard measurement of physical properties of deep-sea cores. ODP Tech. Note 26 (online) <<http://www-odp.tamu.edu/publications/tnotes/tn26/INDEX.HTM>>.

Bond, G., H. Heinrich, W. Broecker, L. Labeyrie, J. McManus, J. Andrews, S. Huon, R. Jantschik, S. Clasen, C. Simet, K. Tedesco, M. Klas, G. Bonani e S. Ivy (1992). "Evidence for Massive Discharges of Icebergs into the North- Atlantic Ocean During the Last Glacial Period." Nature 360 (6401): 245-249.

- Boski, T., D. Moura, C. Veiga-Pires, S. Camacho, D. Duarte, D. B. Scott e S. G. Fernandes (2002). "Postglacial sea-level rise and sedimentary response in the Guadiana Estuary, Portugal/Spain border." Sedimentary Geology **150** (1-2): 103-122.
- Chapman, M.R. e N.J. Shackleton (1998). "What level of resolution is attainable in a deep-sea core? Results of a spectrophotometer study" Paleoceanography, **13** (4): 311-315.
- Chapman, M.R. e N.J., Shackleton (2000). "Evidence of 550-year and 1000-year cyclicities in North Atlantic circulation patterns during the Holocene." Holocene **10** (3): 287-291.
- Cortijo, E., L. Labeyrie, M. Elliot, E. Balbon e N. Tisnerat (2000). "Rapid climatic variability of the North Atlantic Ocean and global climate: a focus of the IMAGES program." Quaternary Science Reviews **19** (1-5): 227-241.
- Cramer, B. S. (2001). "Latest Paleocene-earliest Eocene cyclostratigraphy: using core photographs for reconnaissance geophysical logging." Earth and Planetary Science Letters **186**(2): 231-244.
- Cronin, T. M., D. M. DeMartino, G. S. Dwyer e J. Rodriguez-Lazaro (1999). "Deep-sea ostracode species diversity: response to late Quaternary climate change." Marine Micropaleontology **37**(3-4): 231-249.
- Dabrio, C.J., Zazo, C., Goy, J.L., Sierro, F.J., Borja, F., Lario, J., Gonzalez, J.A. e Flores, J.A. (2000). "Depositional history of estuarine infill during the last postglacial transgression (Gulf of Cadiz, Southern Spain)." Marine Geology. **162**: 381-404.
- Davis, J. C. (2002). "Statistics and data analysis in geology." New York, John Wiley.

Deaton, B.C., W.L. Balsam (1991). "Visible Spectroscopy – A rapid method for determining hematite and goethite concentration in geological-materials." Journal of Sedimentary Petrology 61 (4): 628-632.

Dellwig, O., D. Gramberg, D. Vetter, F. Watermann, J. Barckhausen, H.-J. Brumsack, G. Gerdes, G. Liebezeit, J. Rullkotter, B. M. Scholz-Bottcher e H. Streif (1998). "Geochemical and microfacies characterization of a Holocene depositional sequence in northwest Germany." Organic Geochemistry 29 (5-7): 1687-1699.

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

Drago, T., M. C. Freitas, F. Rocha, J. Moreno, M. Cachão, F. Naughton, C. Fradique, F. Araújo, T. Silveira, A. Oliveira, J. Cascalho e F. Fatela (2004). "Paleoenvironmental evolution of estuarine systems during the last 14000 years – the case of Douro estuary (NW Portugal)." Journal of Coastal Research, Special Issue 39.

Freitas, M. C., C. Andrade e A. Cruces (2002). "The geological record of environmental changes in southwestern Portuguese coastal lagoons since the Lateglacial." Quaternary International 93-94: 161-170.

Freitas, M. C., C. Andrade, J. C. Moreno, J. M. Munha e M. Cachao (1998). "The sedimentary record of recent (last 500 years) environmental changes in the Seixal Bay marsh, Tagus estuary, Portugal." Geologie En Mijnbouw 77 (3-4): 283-293.

Freitas, M. C., C. Andrade, F. Rocha, C. Tassinari, J. M. Munhá, A. Cruces, J. Vidinha e C. M. Silva (2003). "Lateglacial and Holocene environmental changes in Portuguese coastal lagoons 1: the sedimentological and geochemical records of the Santo André coastal area." The Holocene 13-3: 433-446.

Giosan, L., R. D. Flood e R. C. Aller (2002a). "Paleoceanographic significance of sediment color on western North Atlantic drifts: I. Origin of color." Marine Geology **189** (1-2): 25-41.

Giosan, L., R. D. Flood, J. Grutzner e P. Mudie (2002b). "Paleoceanographic significance of sediment color on western North Atlantic Drifts: II. Late Pliocene-Pleistocene sedimentation." Marine Geology **189** (1-2): 43-61.

Gill, R. (1989). "Chemical Fundamentals of Geology". London, Unwin Hyman. 292 pp.

Goy, J.L., Zazo, C. e Dabrio, C.J. (2003). "A beach-ridge progradation complex reflecting periodical sea-level e climate variability during the Holocene (Gulf of Almeria, Western Mediterranean)." Geomorphology, **50**: 251-268.

Hair, J., R. Anderson, R. Tatham, e W. Black (2000) "Multivariate data analysis: with readings." 4th edition, Prentice-Hall International.

Hayward, P. J. e J. S. Ryland. (1995). *Handbook of Marine Fauna of North-West Europe*. Oxford University Press – New York. 800 pp.

Hernandez-Molina, F. J., L. Somoza, J. T. Vazquez, F. Lobo, M. C. Fernandez-Puga, E. Llave e V. Diaz-del Rio (2002). "Quaternary stratigraphic stacking patterns on the continental shelves of the southern Iberian Peninsula: their relationship with global climate and palaeoceanographic changes." Quaternary International **92** (1): 5-23.

Leeder, M. R. (1999). "Sedimentology and sedimentary basins: from turbulence to tectonics". Oxford, Blackwell Science.

Le Mer, J. e Roger, P. (2001). "Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: A review." European J. Soil Biol. **37**: 25-50.

- Lopez-Buendia, A. M., J. Bastida, X. Querol e M. K. G. Whateley (1999). "Geochemical data as indicators of palaeosalinity in coastal organic-rich sediments." Chemical Geology 157(3-4): 235-254.
- Macedo, M. C., M. I. Macedo e J. P. Borges. (1999). "Conchas Marinhas de Portugal." Editorial Verbo – Lisboa. 516 pp.
- Madureira, L. A. S., S. A. vanKrevelde, G. Eglinton, M. Conte, G. Ganssen, J. E. vanHinte e J. J. Ottens (1997). "Late Quaternary high-resolution biomarker and other sedimentary climate proxies in a northeast Atlantic core." Paleoceanography 12(2): 255-269.
- Mix, A., S. Harris, e T. Janecek (1995) "18. Estimating lithology from nonintrusive reflectance spectra: Leg 138" *In* Pisias, N., L. Mayer, T. Janecek, A. Palmer-Julson e T. van Andel. "Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results" 138, 413-427.
- Morales, J. A. (1997). "Evolution and facies architecture of the mesotidal Guadiana river delta (SW Spain-Portugal)." Marine Geology 138(1-2): 127-148.
- Muzavor, S. (1991). "Roteiro Ecológico da Ria Formosa I – Moluscos Bivalves." Algarve em Foco Editora – Faro.
- Muzavor, S. e P. M. Morenito (1999). "Roteiro Ecológico da Ria Formosa II – Moluscos Gastrópodes." Algarve em Foco Editora – Faro.
- Nagao, S. e S. Nakashima (1991). "A convenient method of color measurement of marine sediments by colorimetry." Geochemical Journal 25: 187-197.
- Nederbragt, A. J., J. Thurow e R. B. Merrill (2000). 29. Data report: Color records from the California margin: Proxy indicators for sediment composition and climatic change. *in* Lyle, M., I. Koizumi, C. Richter e T. C. J. Moore (eds.) Proc. ODP, Sci. Results, 167; College Station TX (Ocean Drilling Program), 333-338.

Oliveira, J.T. (1992a). Notícia explicativa carta geológica de Portugal à escala 1:200 000, folha 7 e 8. Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa, Portugal.

Oliveira, J.T., Pereira, E., Piçarra, J.M., Young, T. e Romano, M. (1992b). O Paleozoico Inferior de Portugal: Síntese da estratigrafia e da evolução paleogeográfica. In: Paleozoico Inferior de Ibero-América (Ed G.J.C. Marco, Saavedra, J., Rabano, I.), pp. 359-375. Universidad de Extremadura.

Ribeiro, A., Antunes, M.T., Ferreira, M.P., Rocha, R.B., Soares, A.F., Almeida, F., carvalho, D. e Monteiro, J.M. (1979). Introduction à la Géologie Générale du Portugal. Serviços Geológicos de Portugal p114.

Santos, A. (2003) Preenchimento Sedimentar de duas zonas de dinâmica diferenciada no sapal de Castro Marim. Tese de Mestrado. Universidade do Algarve.

Steenbrink J., M.L. Kloosterboer-van Hoeve e F.J. Hilgen (2003). "Millennial-scale climate variations recorded in Early Pliocene colour reflectance time series from the lacustrine Ptolemais Basin (NW Greece)" Global and Planetary Change 36: 47-75.

Tebble, N. (1976). "British Bivalve Seashells – A Handbook for Identification." Second edition. Her Majesty's Stationery Office – Edinburgh. 213 pp.

Thomson, J., Jarvis, I., Green, D.R.H., Green, D.A. e Clayton, T. (1998). "Mobility and immobility of redox-sensitive elements in deep-sea turbidites during shallow burial." Geochim. Et Cosmochim. Acta 62: 643-656.

Winter, M. (1993-2003)

<http://www.webelements.com/webelements/scholar/elements/>

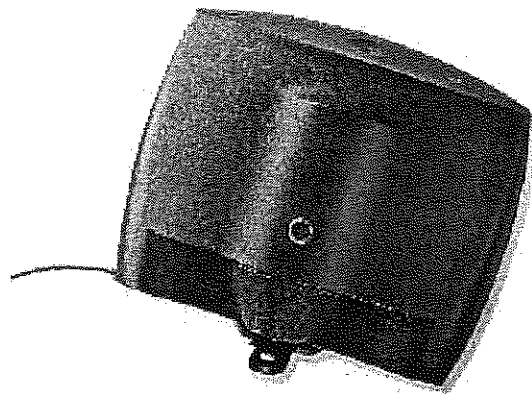
X-Rite (1998). "The color guide and Glossary - Communication, Measurement, and Control for Digital Imaging and Graphic Arts." 52 pp.

X-Rite-Color (2000). "ColorShop - Getting Started Guide." 70 pp.

ANEXO I – O ESPECTROFOTÓMETRO COLORTRON™

O INSTRUMENTO DE AQUISIÇÃO DE DADOS DE COR – COLORTRON™

O Colortron é um instrumento manual com uma tecnologia de microprocessador capaz de medir 32 bandas de cor, que transmite ao computador. Ao trabalhar com o programa informático ColorShop, é possível registrar cores e aplicar funções de medição equivalentes a equipamento dispendioso como espectrofotometria, colorimetria, densitometria, etc.



O espectrofotómetro X-Rite® Colortron™ capta e mede a cor de qualquer tipo de superfície, incluindo papel, fotografias ou objectos, para além de calibrar o monitor.

Características específicas:

- Sensor espectral: analisador de espectro de difracção
- Gama espectral: 390nm – 700nm
- Geometria de medição: 45°/0° por standards ANSI & ISSO
- Gama de reflectância: 0-125%R
- Repetibilidade no Branco: <1 Δ EE típico
- Precisão: <3 Δ EE típico
- Concordância inter-instrumentos: 3 Δ EE typical
- Tempo de aquecimento: \pm 5 minutos
- Tempo de medição: <4 segundos
- Output: 32 bandas de dados espectrais, colorimétricos ou de densidade.

O PROGRAMA INFORMÁTICO DE ANÁLISE DE COR – COLORSHOP

A forma fundamental de tratar os dados de cor no ColorShop é em dados espectrais. Este tipo de dados encontra-se armazenado em bibliotecas de cor incluídas no programa informático ColorShop, são guardados em paletes de cor criadas com a aplicação do ColorShop, e medidas pelo instrumento, por exemplo, Colortron. Quase

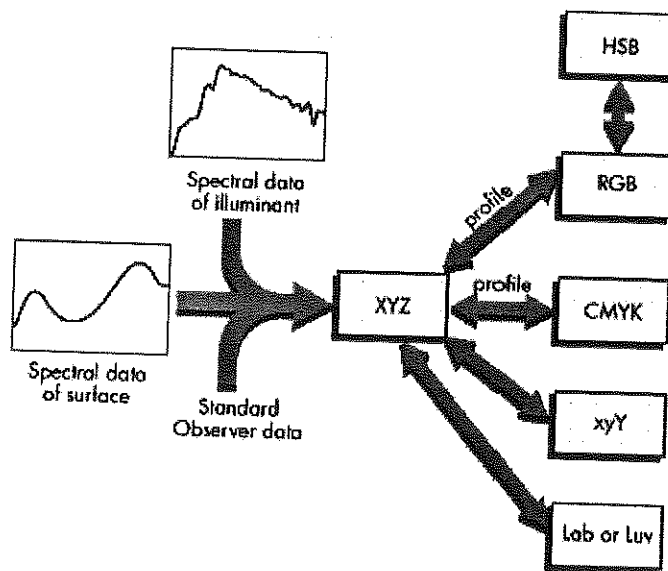
todas as restantes aplicações representam as cores em uma de duas formas: RGB ou CMYK, uma vez que são estas as formas usadas pela maioria dos periféricos (digitalizadores, monitores, impressoras, etc.). Ocasionalmente, é possível encontrar certos modelos de cor independentes de instrumentos, como o CIE Lab. Contudo, todos estes modelos de cor têm as suas limitações. Os dados espectrais conseguem dar a volta a essas limitações e são facilmente convertidos nestes outros formatos de cor.

De que modo o ColorShop converte os dados espectrais em tridimensionais?

Quando o ColorShop converte dados espectrais para qualquer forma tridimensional, o sistema de coordenadas CIE (*Commission International d'Éclairage*) XYZ é usado como passo intermédio. Esta conversão ocorre em dois passos:

1. O ColorShop converte dados espectrais para XYZ, e usa a fonte de iluminação corrente para esta conversão;
2. O ColorShop converte os dados XYZ na forma desejada, e se for uma forma dependente do aparelho o ColorShop usa as definições apropriadas deste.

O diagrama seguinte mostra as relações no espaço de cor no ColorShop:



Referências Bibliográficas:

- X-Rite (1998) "The color guide and Glossary - Communication, Measurement, and Control for Digital Imaging and Graphic Arts". 52 pp.
- X-Rite Color (2000) "ColorShop - Getting Started Guide". 70 pp.

ANEXO II – LOCAIS DE AMOSTRAGEM

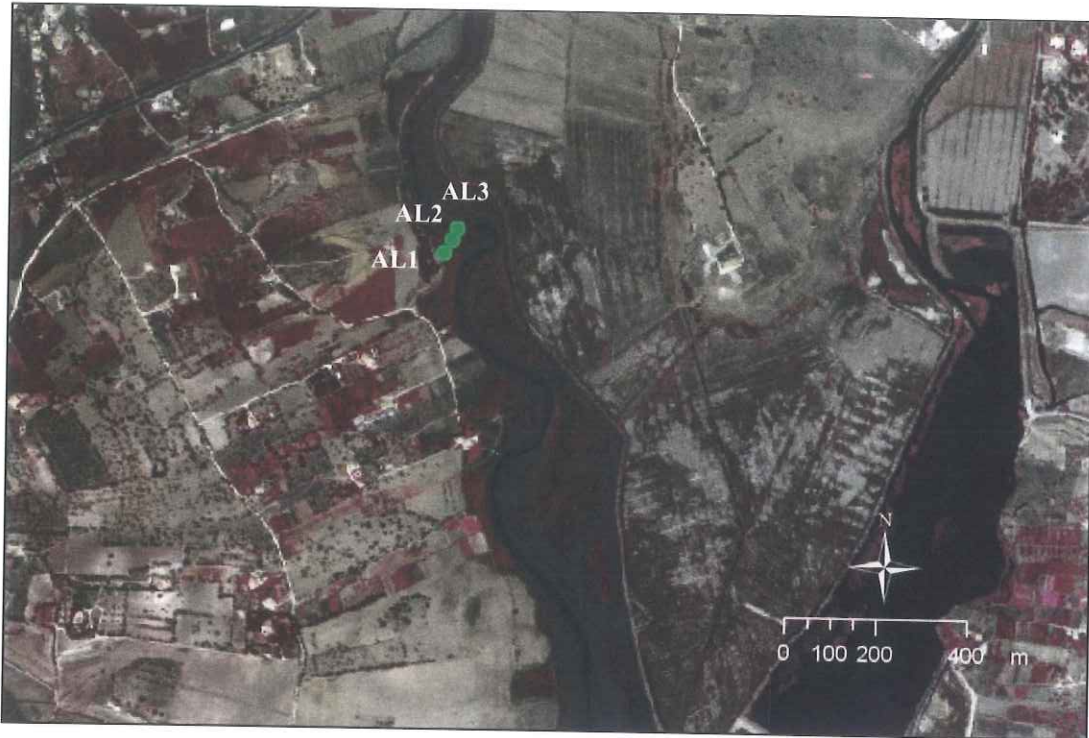


Figura Iii – Ortofotomapa do local de amostragem no estuário do Alvor, com indicação dos pontos de recolha dos testemunhos de sondagem AL1, AL2 e AL3 (retirado de SIG elaborado para a região do Algarve, no âmbito do projecto LOCOTO).



Figura Iiii – Ortofotomapa do local de amostragem no estuário do Arade, com indicação dos pontos de recolha dos testemunhos de sondagem AR1, AR2 e AR3 (retirado de SIG elaborado para a região do Algarve no âmbito do projecto LOCOTO).



Figura Iliii – Imagem de satélite (IRS-IC) do local de amostragem no estuário do Gilão-Almargem, com indicação dos pontos de recolha dos testemunhos de sondagem T1, T2 e T3 (retirado de SIG elaborado para a região do Algarve no âmbito do projecto LOCOTO).

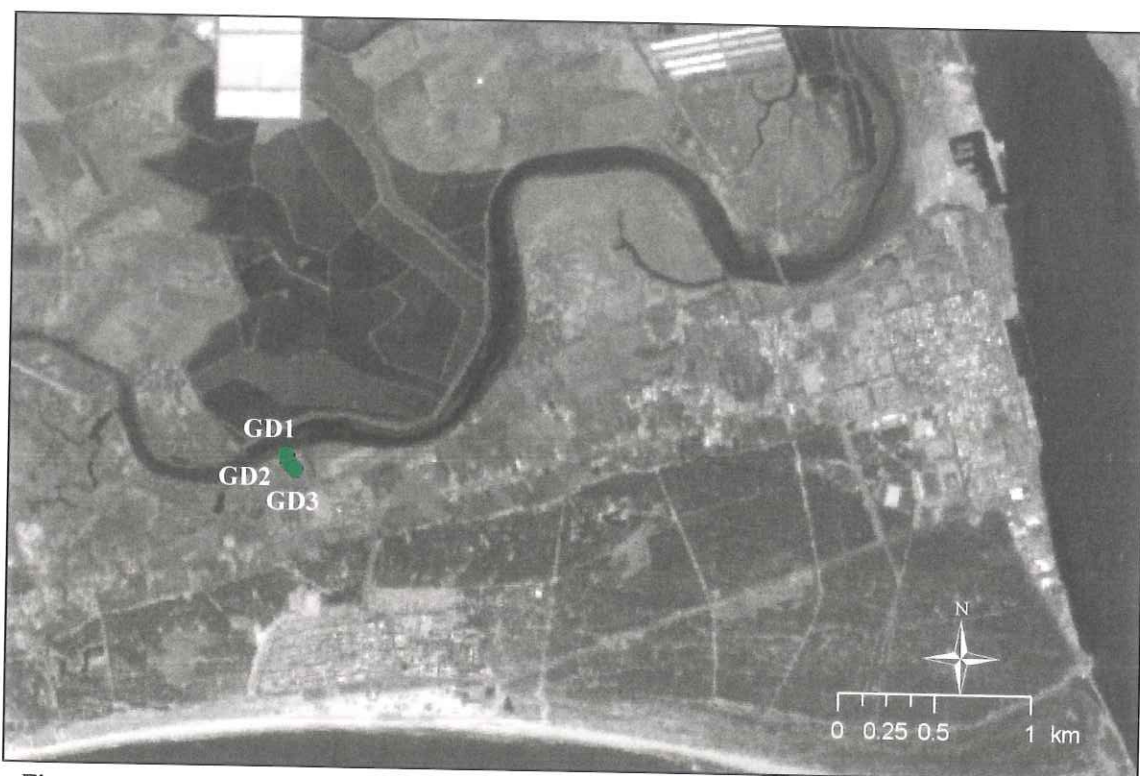


Figura Iliiv – Imagem de satélite (IRS-IC) do local de amostragem no estuário do Guadiana, com indicação dos pontos de recolha dos testemunhos de sondagem GD1, GD2 e GD3 (retirado de SIG elaborado para a região do Algarve no âmbito do projecto LOCOTO).

**ANEXO III – IMAGENS DIGITAIS DA SUPERFÍCIE DOS TESTEMUNHOS DE
SONDAGEM**

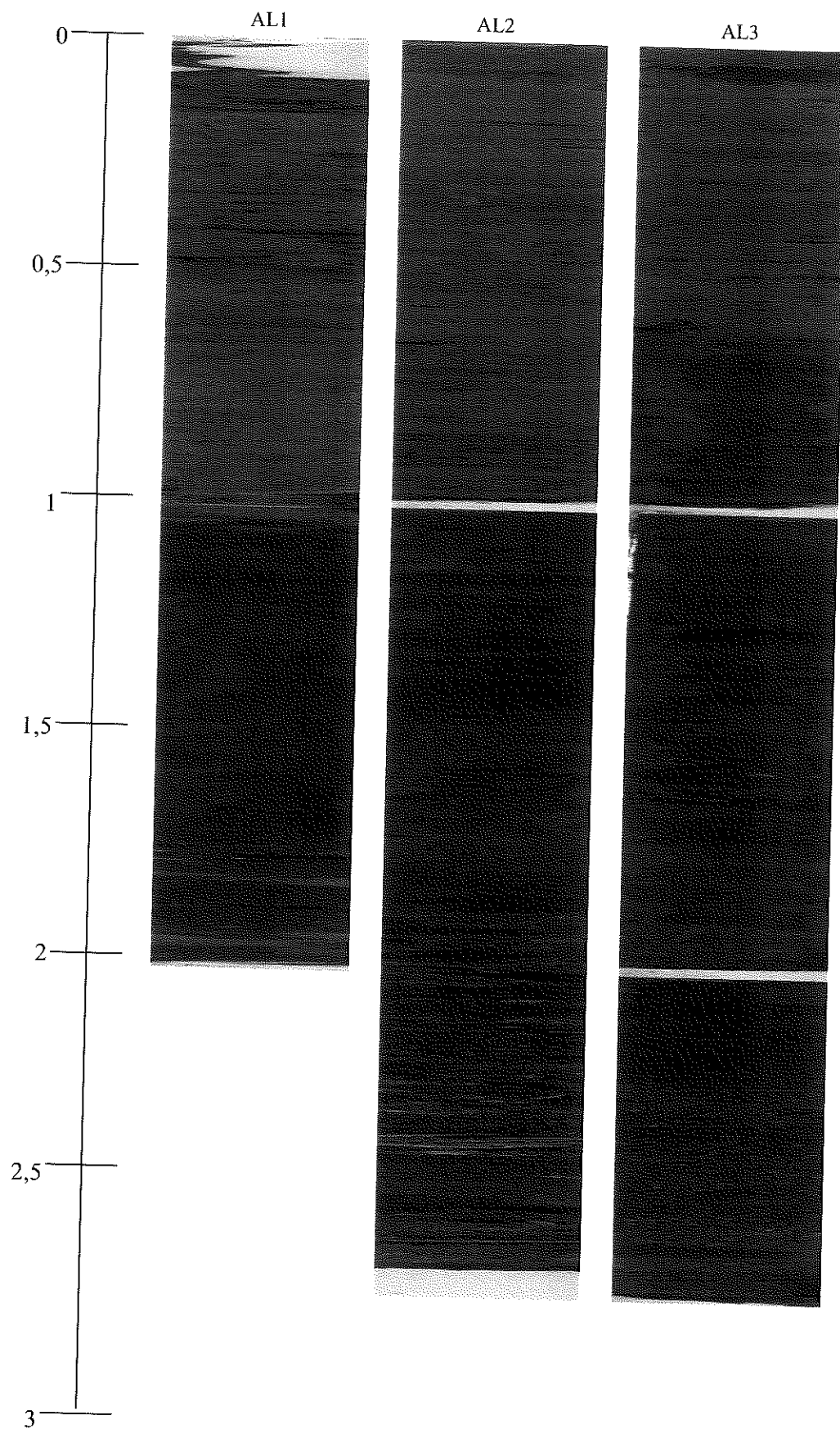


Figura IIIi - Imagem digital da superfície dos testemunhos de sondagem recolhidos no estuário do Alvor (AL1, AL2 e AL3), à escala em profundidade (m) e ampliada em largura.

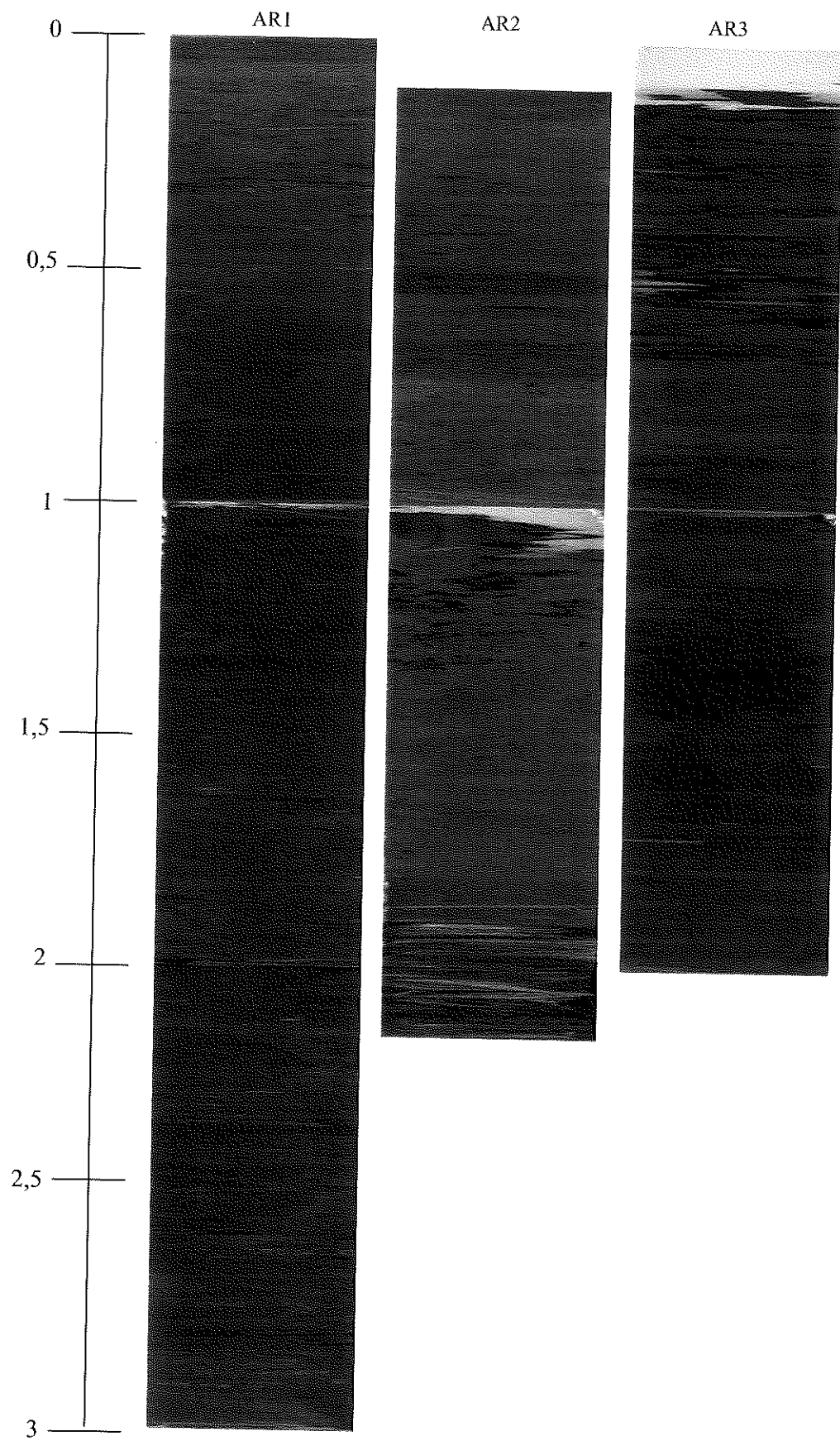


Figura IIIii – Imagem digital da superfície dos testemunhos de sondagem recolhidos no estuário do Arade (AR1, AR2 e AR3), à escala em profundidade (m) e ampliada em largura.

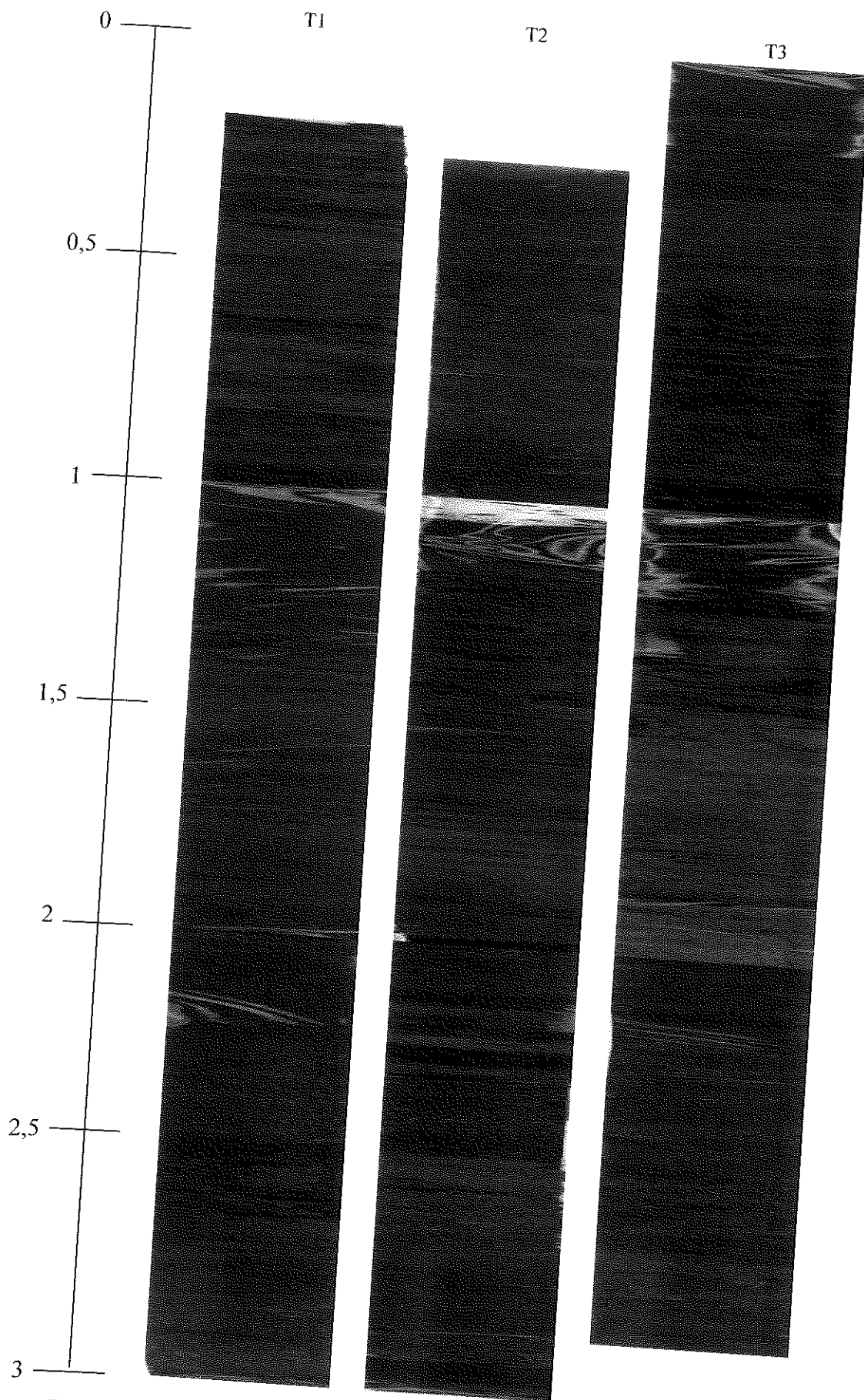


Figura IIIiii - Imagem digital da superfície dos testemunhos de sondagem recolhidos no estuário do Gilão-Almargem (T1, T2 e T3), à escala em profundidade (m) e ampliada em largura.

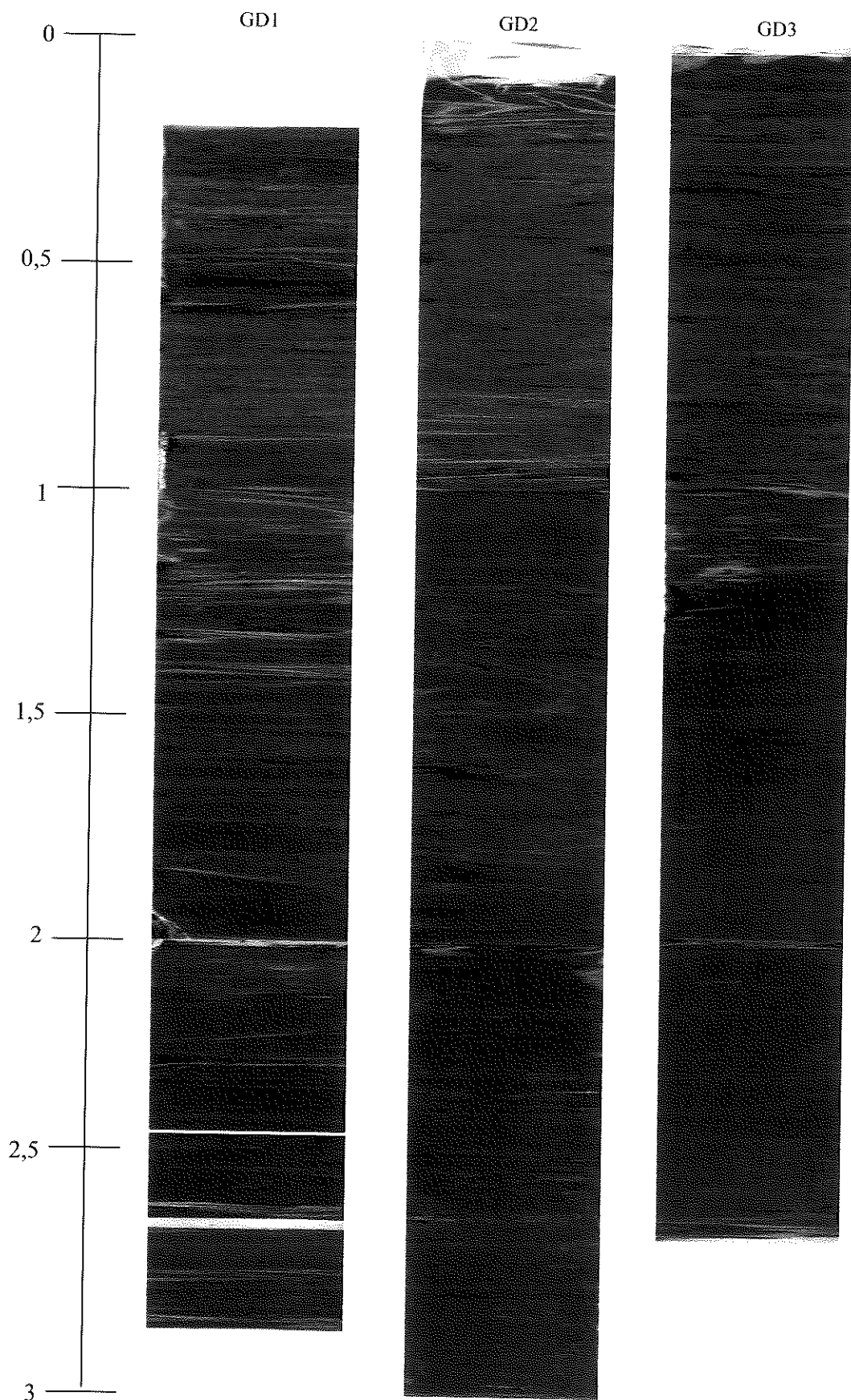


Figura IIIiv – Imagem digital da superfície dos testemunhos de sondagem recolhidos no estuário do Guadiana (GD1, GD2 e GD3), à escala em profundidade (m) e ampliada em largura.

ANEXO IV – PERFIS SEDIMENTARES DE QUÍMICA E DE GRANULOMETRIA

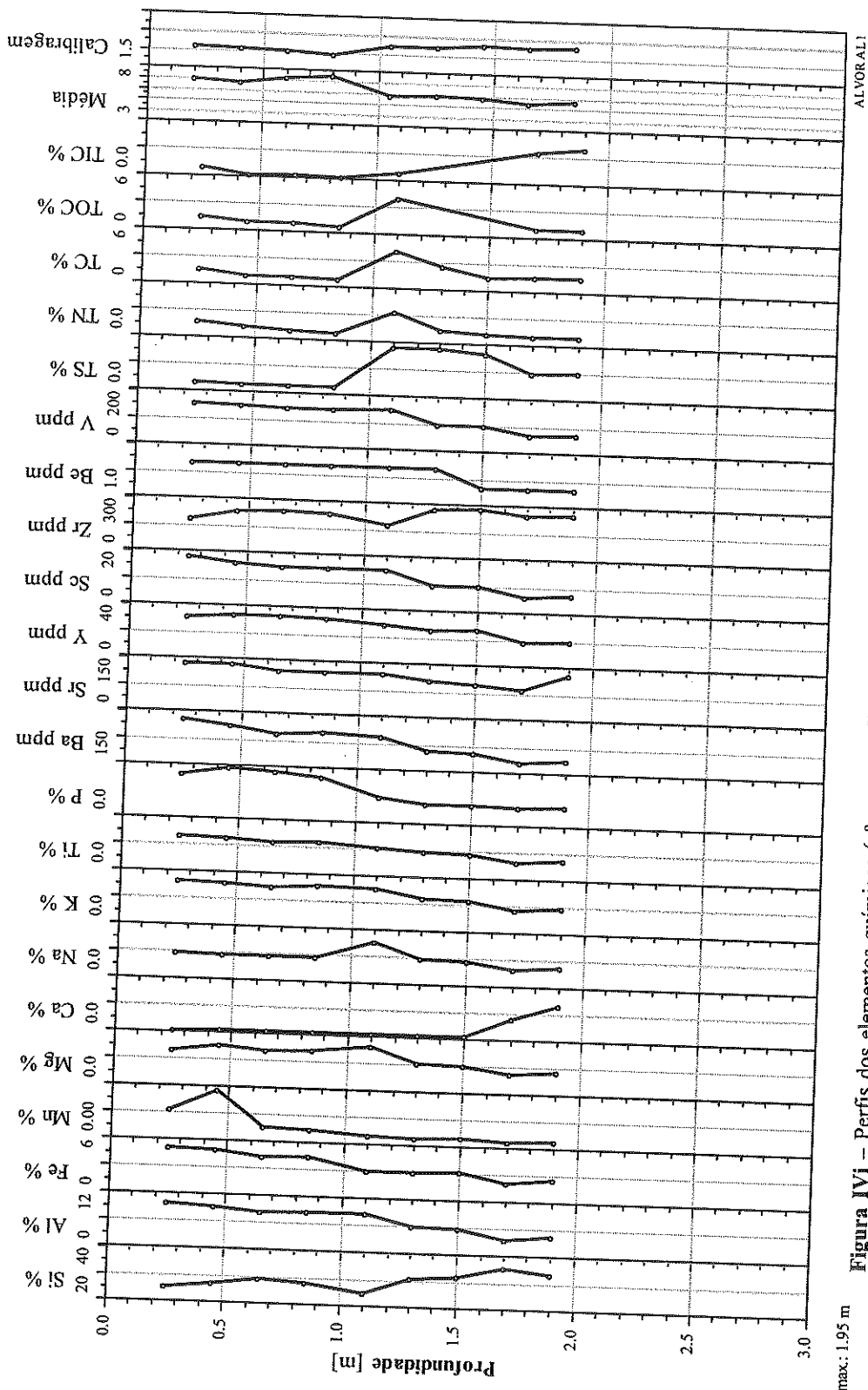
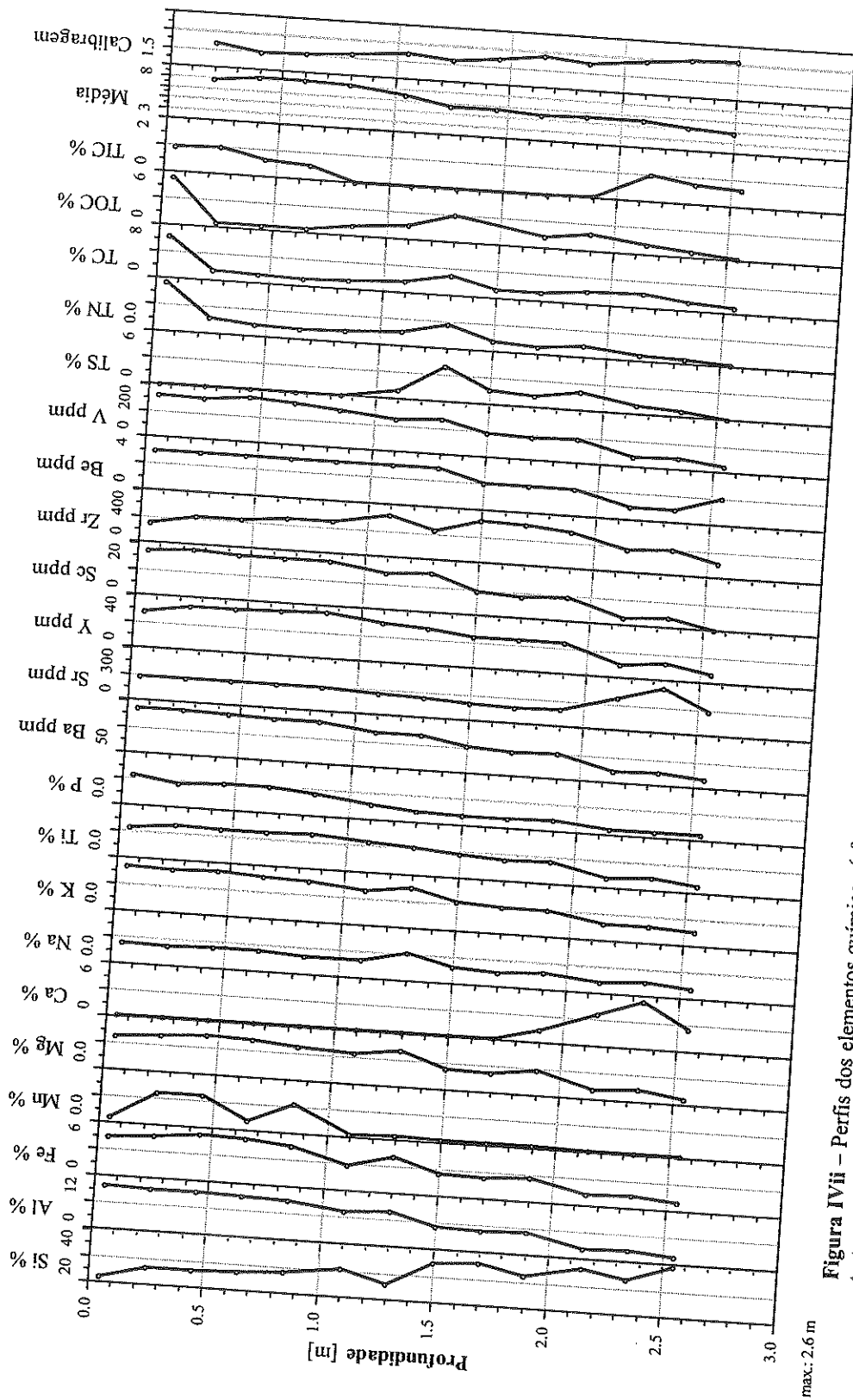
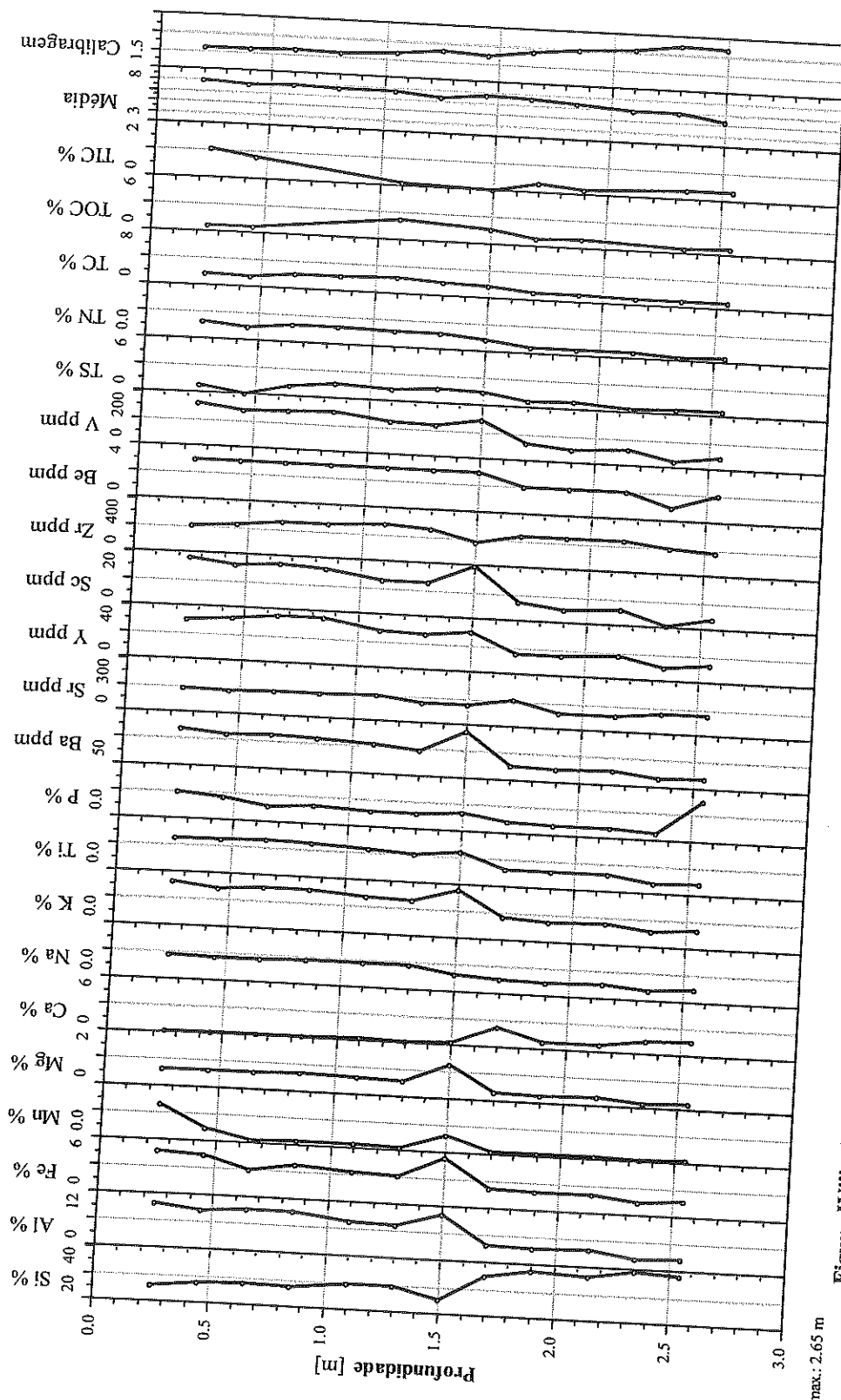


Figura IVi – Perfis dos elementos químicos (nº amostras 9) e dos parâmetros granulométricos (nº amostras 9) analisados para o testemunho de sondagem AL1 do estuário do Alvor.



ALVOR AL2

Figura IVii - Perfis dos elementos químicos (n° amostras 13) e dos parâmetros granulométricos (n° amostras 12) analisados para o testemunho de sondagem AL2 do estuário do Alvor.



max.: 2.65 m

ALVORAL3

Figura VIII – Perfis dos elementos químicos (n° amostras 12) e dos parâmetros granulométricos (n° amostras 12) analisados para o testemunho de sondagem AL3 do estuário do Alvor.

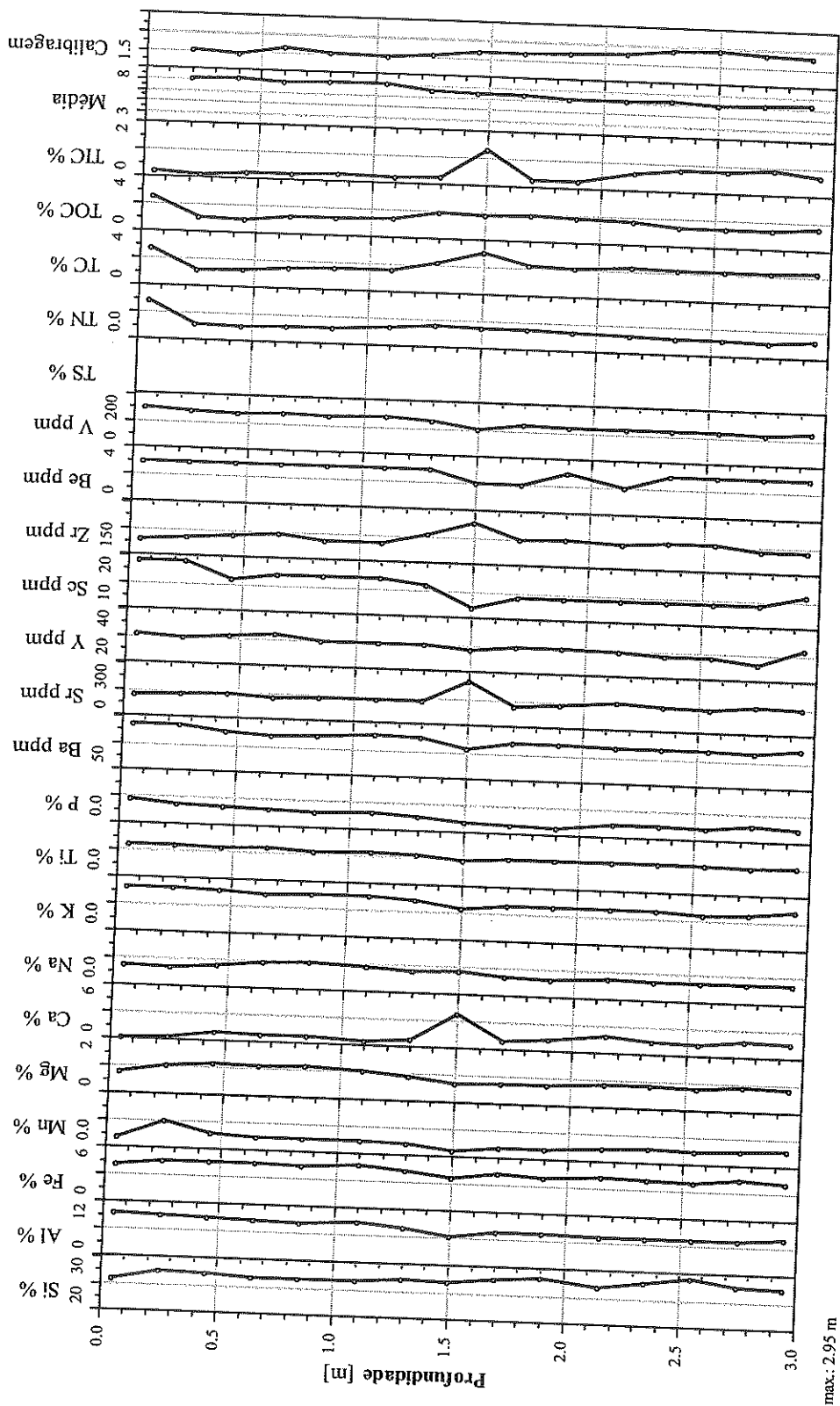


Figura IViv -- Perfis dos elementos químicos (n° amostras 15) e dos parâmetros granulométricos (n° amostras 14) analisados para o testemunho de sondagem ARI do estuário do Arade.

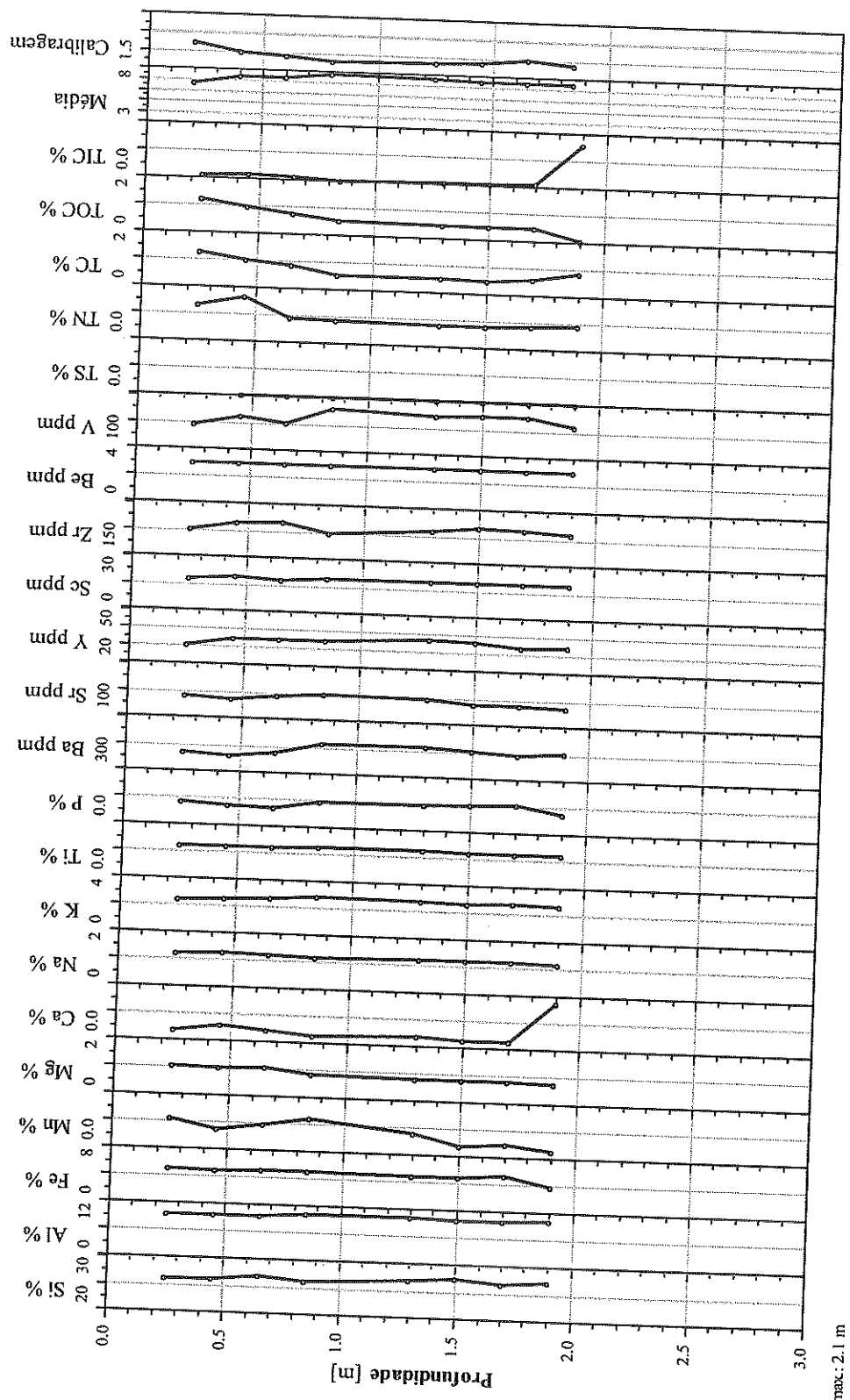


Figura IVv - Perfis dos elementos químicos (n° amostras 8) e dos parâmetros granulométricos (n° amostras 8) analisados para o testemunho de sondagem AR2 do estuário do Arade.

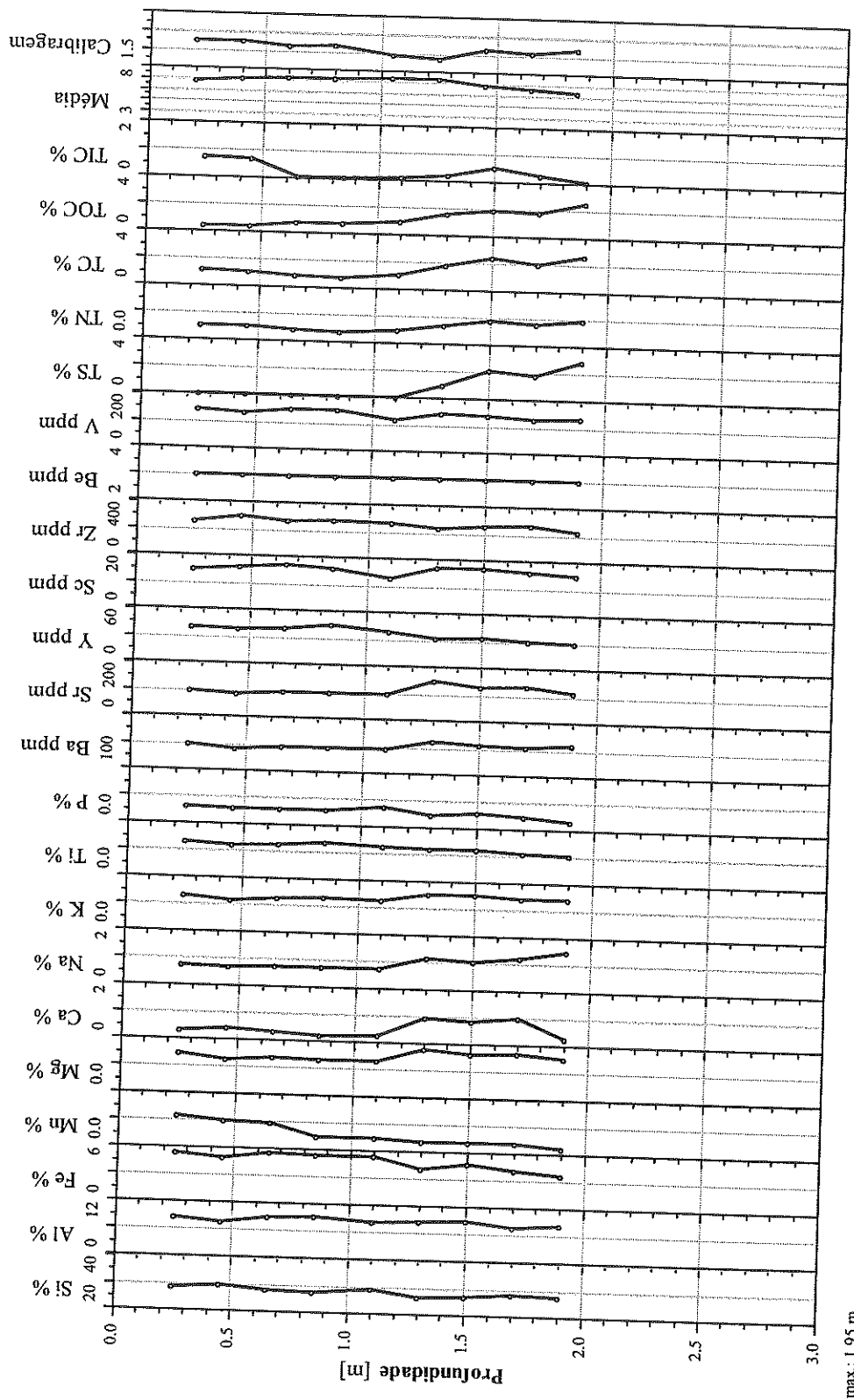
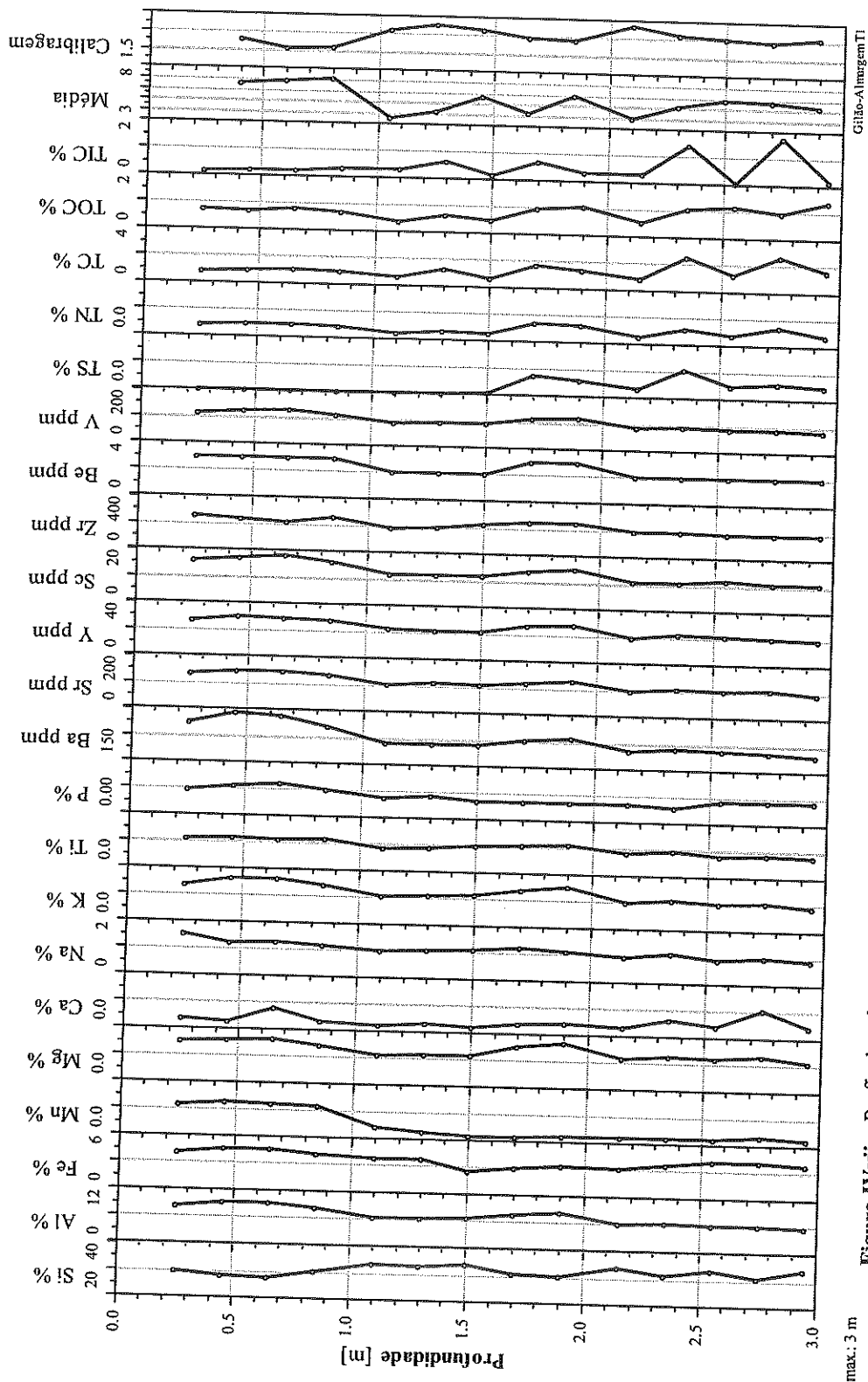


Figura IVvi -- Perfis dos elementos químicos (n° amostras 9) e dos parâmetros granulométricos (n° amostras 9) analisados para o testemunho de sondagem AR3 do estuário do Aradé.



Gilão-Almargem TI

Figura IVvii – Perfis dos elementos químicos (n° amostras 14) e dos parâmetros granulométricos (n° amostras 13) analisados para o testemunho de sondagem TI do estuário do Gilão-Almargem.

max.: 3 m

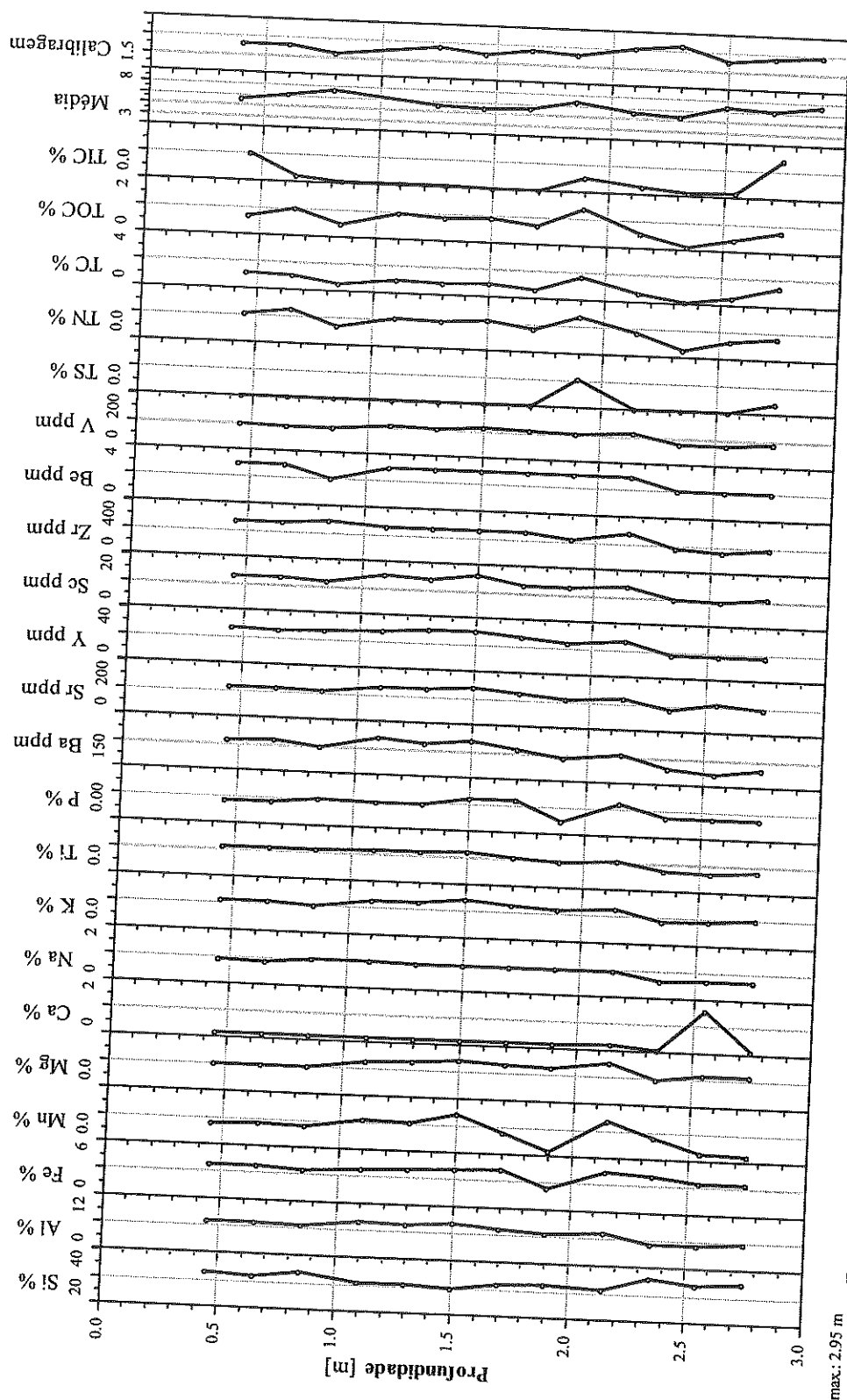
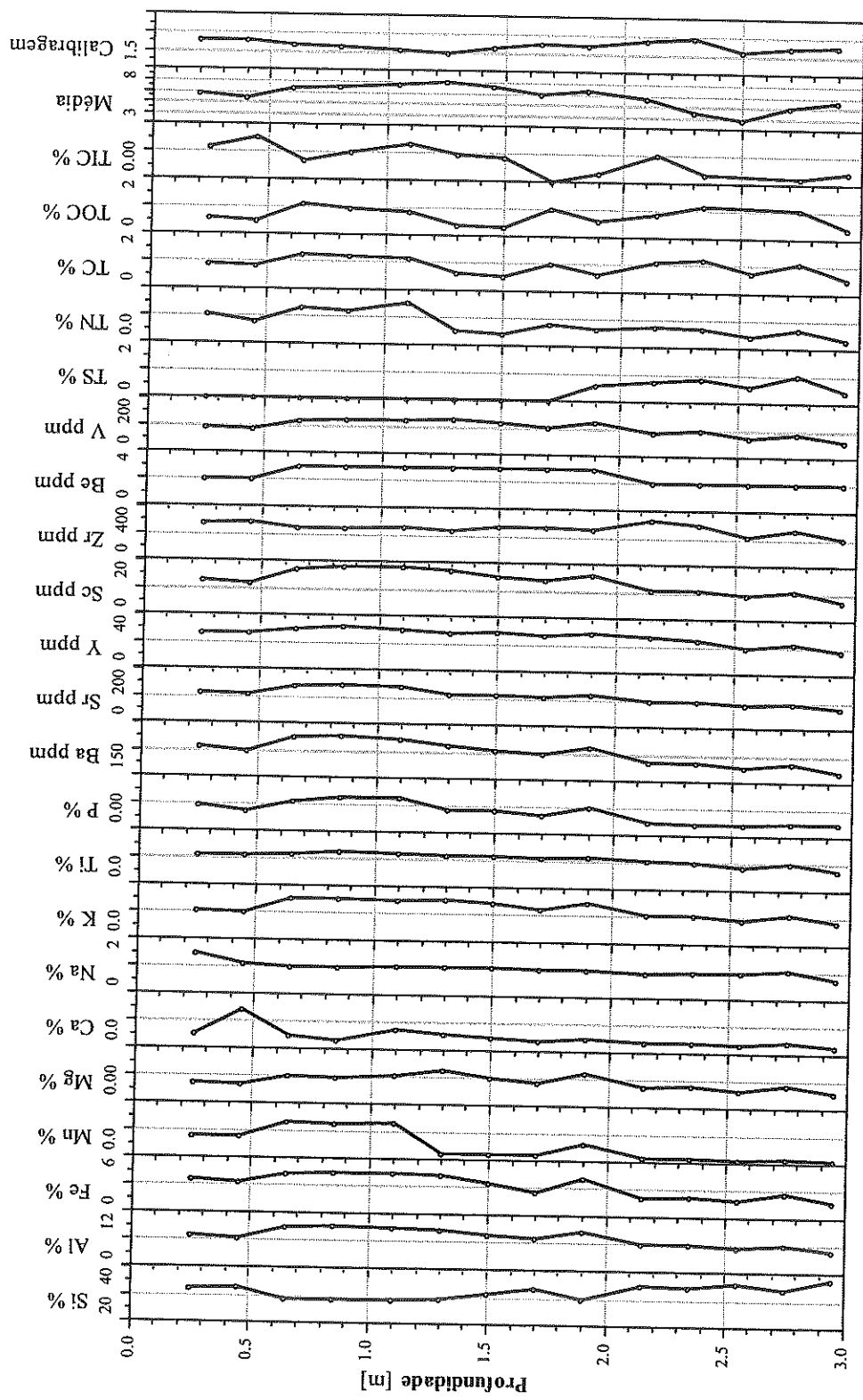


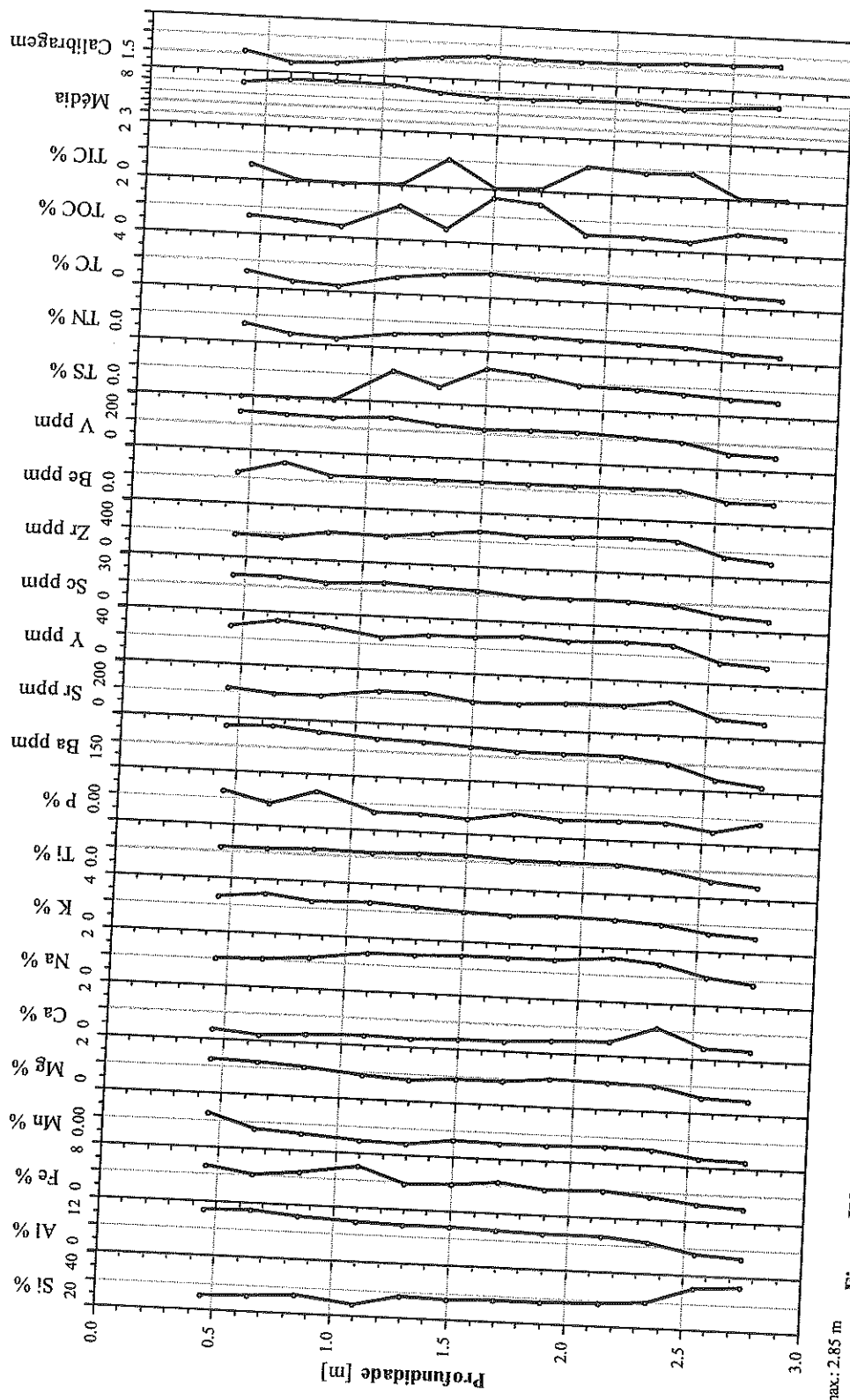
Figura IVviii – Perfis dos elementos químicos (n° amostras 12) e dos parâmetros granulométricos (n° amostras 12) analisados para o testemunho de sondagem T2 do estuário do Gilão-Almargem.



Gilão-Almargem T3

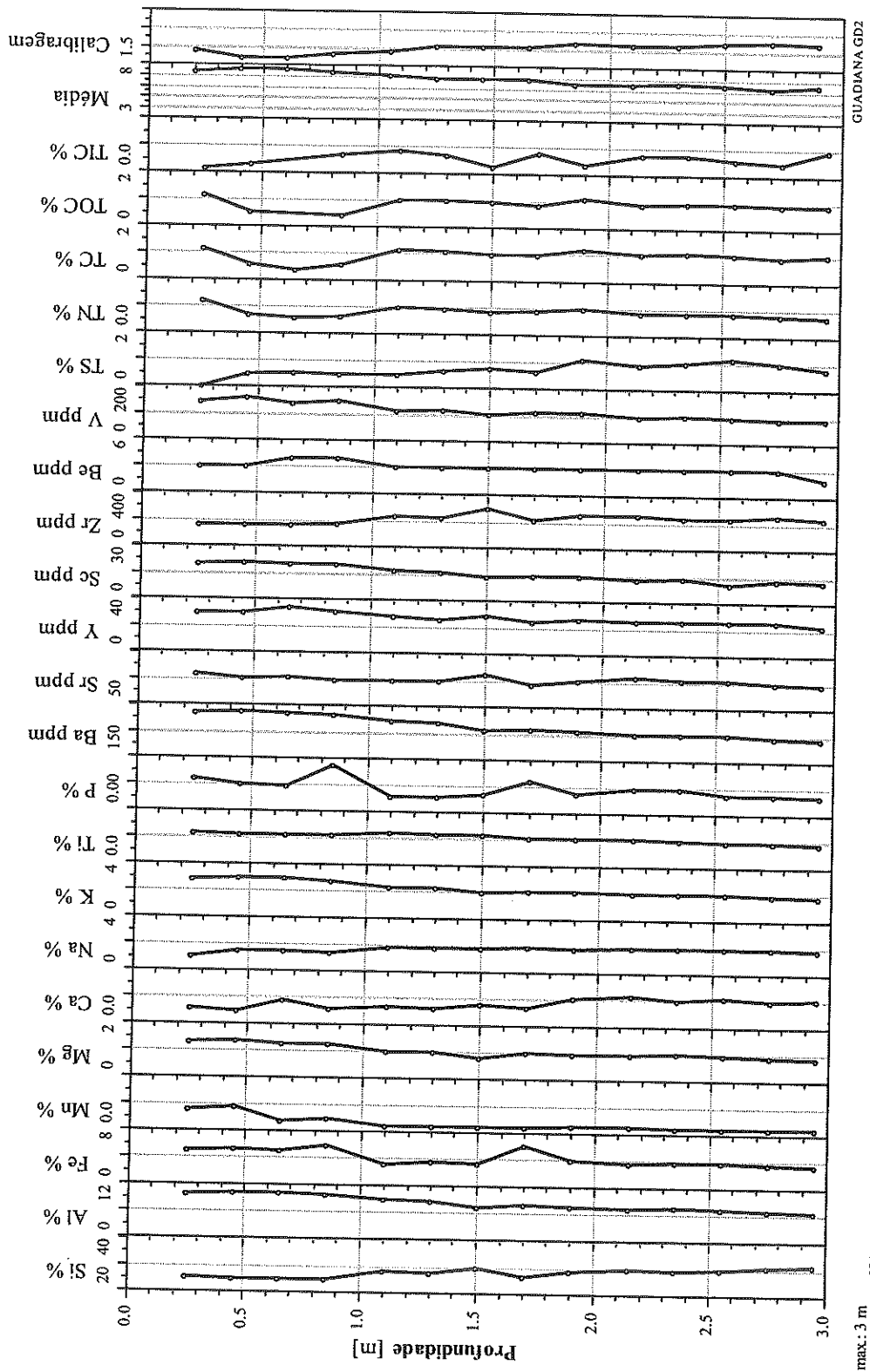
Figura IVix – Perfis dos elementos químicos (nº amostras 14) e dos parâmetros granulométricos (nº amostras 14) analisados para o testemunho de sondagem T3 do estuário do Gilão-Almargem.

max: 2.95 m



GUADIANA GDI

Figura IVx - Perfis dos elementos químicos (n° amostras 12) e dos parâmetros granulométricos (n° amostras 12) analisados para o testemunho de sondagem GDI do estuário do Guadiana.



GUADIANA GD2
 max.: 3 m
 Figura IVxi – Perfis dos elementos químicos (n° amostras 14) e dos parâmetros granulométricos (n° amostras 14) analisados para o testemunho de sondagem GD2 do estuário do Guadiana.

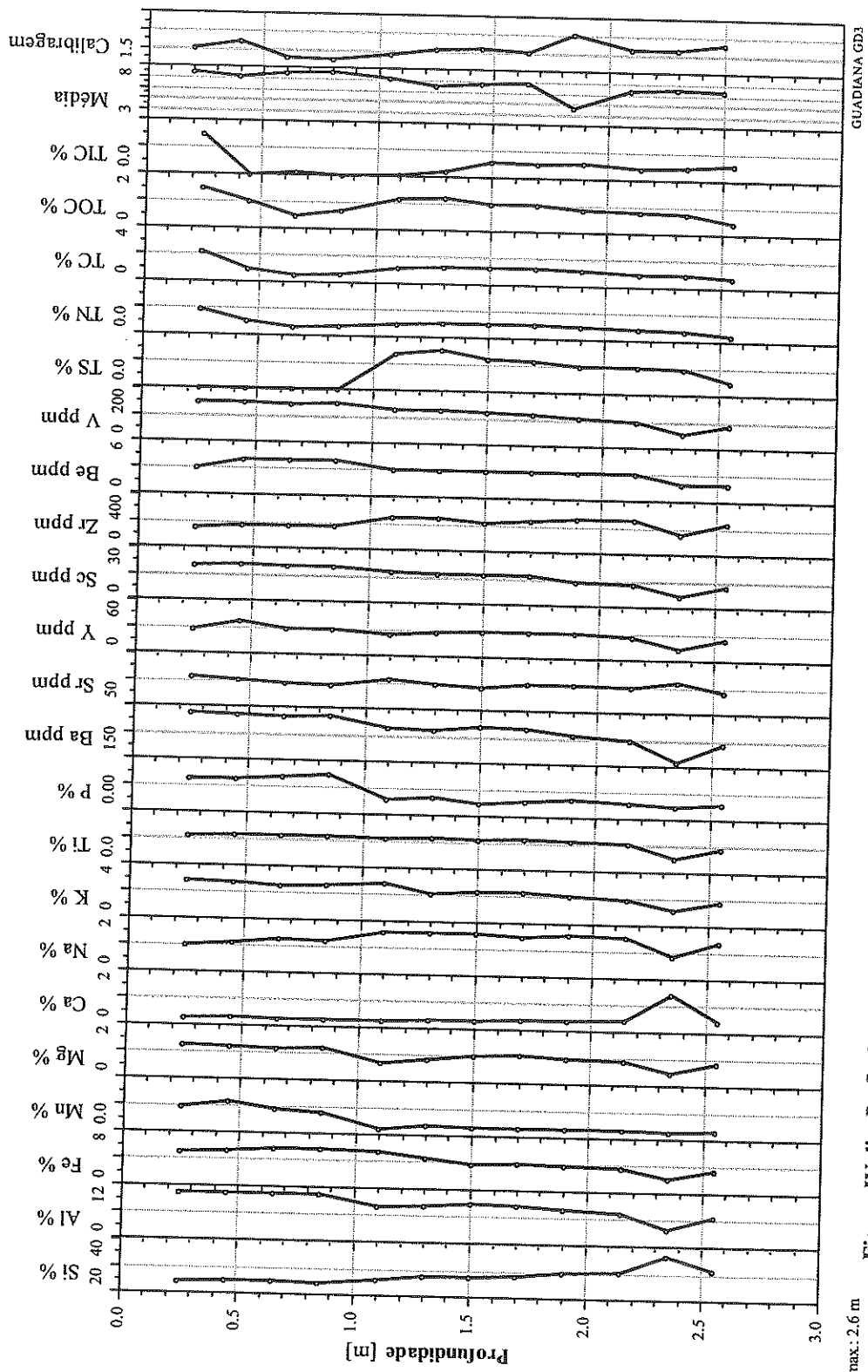
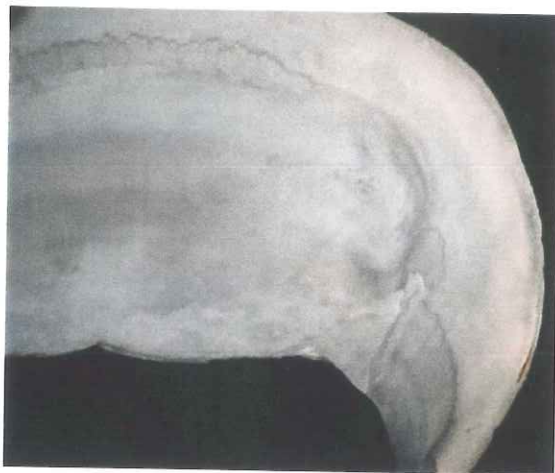


Figura IVxii – Perfis dos elementos químicos (n° amostras 12) e dos parâmetros granulométricos (n° amostras 12) analisados para o testemunho de sondagem GD3 do estuário do Guadiana.

ANEXO V – IDENTIFICAÇÃO TAXONÓMICA DE FRAGMENTOS DE CONCHAS ENVIADOS PARA DATAÇÃO

Amostra T2 [281-283], ribeira de Almargem

Conteúdo: 10 fragmentos, aparentemente pertencentes ao mesmo indivíduo (ou pelo menos à mesma espécie)



Características:

Bivalve de cor branca, concha com reentrâncias/saliências nas linhas de crescimento, com cor castanha (aparentemente restos de sedimento). Nenhum dos fragmentos pertence à zona de charneira.

Chave dicotômica para definir a família (Hayward e Rayland, 1995), pág. 573:

1 – 4 – 6 – 8 – 10 – 13 – 14 – 15 – 16 – 24 – 25 Família Scrobiculariidae (pág. 612)

Chave dicotômica para definir a espécie (Hayward e Rayland, 1995), pág. 612:

1 – *Scrobicularia plana*

Confirmação com as características desta espécie em Muzavor (1991), pág. 57.

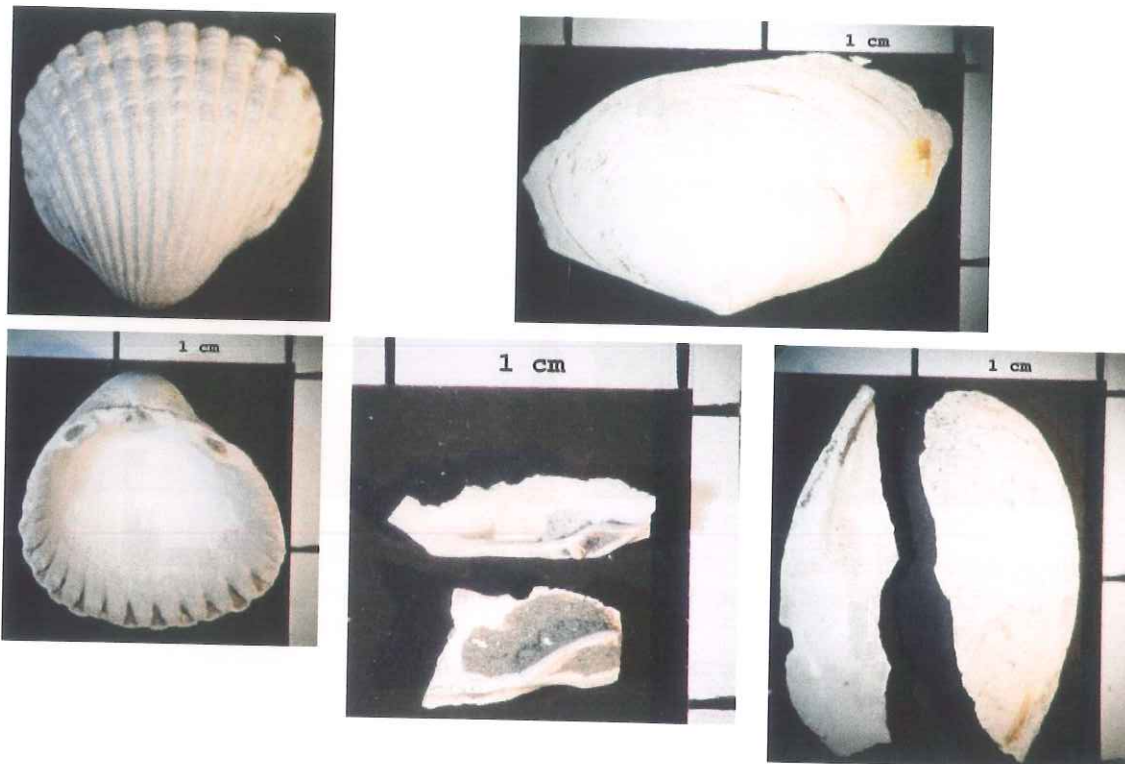
Nome comum: lambujinha

Confirmação com Macedo et al (1999), pág. 431.

Conclusões: esta amostra contém fragmentos de *Scrobicularia plana*.

Amostra GD2 [219-228], Guadiana

Conteúdo: 1 valva aparentemente de berbigão, e numerosos fragmentos, aparentemente de *S. solida*.



Chave dicotômica para definir a família (Hayward e Rayland, 1995), pág. 573:

1 – 4 – 6 – 8 – 10 – 13 – 14 – 29 – 30 – Família Cardiidae (pág. 594)

Chave dicotômica para definir a espécie (Hayward e Rayland, 1995), pág. 594:

1 – 2 – 3 – *Cerastoderma glaucum*
sem total certeza, pois na ilustração da pág. 597 também se parece com *C. edule*

Em Muzavor (1991) apenas aparece o *Cerastoderma edule*, pág. 28, que é muito comum na Ria Formosa.

Confirmação com Macedo et al (1999), pág. 416:

C. glaucum tem a concha um pouco mais fina que *C. edule*.

Certeza o género – *Cerastoderma*.

Restantes fragmentos muito semelhantes aos da amostra T2, embora mais finos. Devem pertencer a *Scrobicularia plana* (lambujinha), que pertence à família Scrobiculariidae. Pág.57 (Muzavor, 1991), pág. 431 (Macedo et al., 1999), pág. 612 (Hayward e Rayland, 1995).

Conclusões: esta amostra contém uma valva de *Cerastoderma glaucum* e fragmentos de *Scrobicularia plana*.

Amostra AR3 [115-119], Arade

Conteúdo: 9 fragmentos de bivalve aparentemente do mesmo indivíduo, ou pelo menos da mesma espécie. Hipótese: *Scrobicularia plana*.



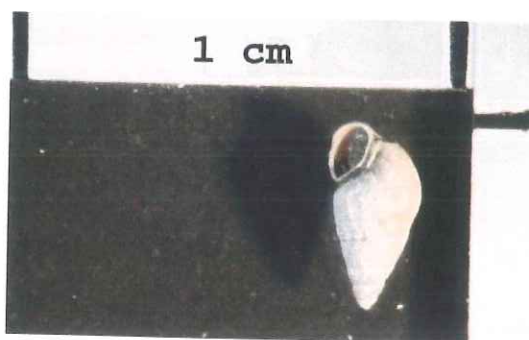
Pela foto da pág. 431 de Macedo et al. 1999 a forma de *S. plana* é mais elíptica que triangular. A forma do fragmento não permite ter certezas embora pareça que seja de uma concha com forma mais elíptica.

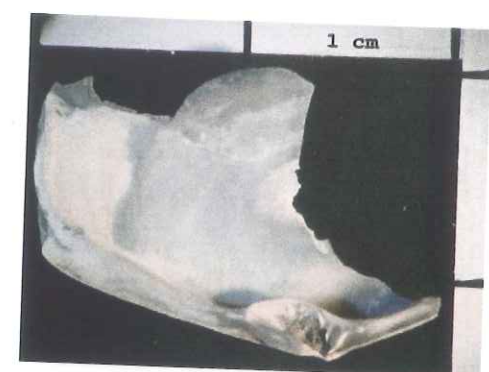
Considerou-se que todos os fragmentos pertencem à mesma espécie.

Conclusões: esta amostra contém fragmentos de um indivíduo da espécie *Scrobicularia plana*.

Amostra AR3 [151-159], Arade

Conteúdo: 6 fragmentos de bivalve, 1 gastrópode inteiro e um “eixo” de gastrópode.





2 dos fragmentos de bivalve são mais claros e os restantes fragmentos têm coloração mais acinzentada, mas provavelmente pertencem a um indivíduo da espécie *S. plana* devido à semelhança com as outras amostras.

A zona de charneira é muito igual à da espécie de amostra AR3 [115-119], identificada como pertencente a *S. plana*. O exterior da concha também é idêntico, sendo a única diferença a coloração interna, mais cinzenta, que pode-se dever ao facto de ter lascado e o que está visível é a camada interior.

Quanto aos gastrópodes, a superfície destes encontra-se muito desgastada, existe uma maior semelhança com o género *Hydrobia*, podendo ser a espécie *Hydrobia ulvae* ou *Hydrobia ventrosa*.

Características que definem uma maior semelhança são: a abertura, o nº de voltas, o tamanho – 5 mm e a presença de umbilicus.

Chave dicotómica para definir a família (Hayward e Rayland, 1995), pág. 491:

- 1 – 2 – 4 – 9 – 10 – 11 – 12 – 24 – 29 – 30 – 31 – 32 – 33 – 34 – 35 – 36 – 37 (não parece ter o apex sinistrógiro) – 38 – 39 – 40 – 41 – Família Rissoidae (pág. 515)
- 42 – Família Hydrobiidae (pág. 514)

Analisando as características de todas as espécies de ambas as famílias, o exemplar desta amostra assemelha-se mais com *Hydrobia ulvae*, pode no entanto ser *Hydrobia ventrosa* (pág. 515).

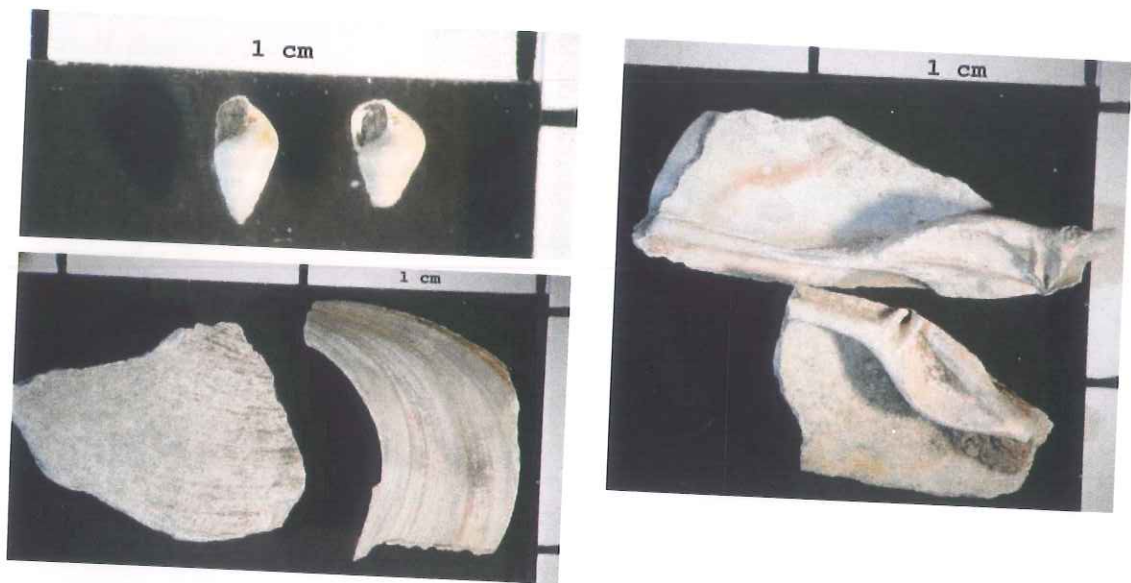
Muzavor e Morenito (1999) referem que estas espécies existem na Ria Formosa (pág. 26).

Em Macedo et al. (1999), apenas aparece descrita a espécie *H. ulvae*.

Conclusões: esta amostra contém fragmentos de bivalve da espécie *Scrobicularia plana* e um gastrópode pertencente à espécie *Hydrobia ulvae*.

Amostra AL3 [170-185], Alvor

Conteúdo: 3 gastrópodes (aparentemente da mesma espécie) e diversos fragmentos de bivalve.



2 dos fragmentos de bivalve apresentam a zona de charneira, idêntica ao do indivíduo identificado na amostra AR3 [115-119] como pertencente à espécie *Scrobicularia plana*.

2 fragmentos pequenos parecem pertencer a *Cerastoderma edule* (devido aos sulcos).

Os restantes fragmentos devem pertencer a *S. plana*.

Quanto aos gastrópodes, possuem cor creme, brilho de porcelana, a primeira volta ocupa mais de metade do todo, a abertura encontra-se um pouco partida.

As principais diferenças entre este gastrópode e o da amostra AR3 [151-159] são:
A superfície é mais lisa e brilhante, a abertura destes exemplares é diferente uma vez que o lábio cola à superfície da primeira volta não existindo saliência, e neste o umbilicus é menor.

Chave dicotômica para definir a família (Hayward e Rayland, 1995), pág. 491:
1 – 2 – 4 – 9 – 10 – 11 – 12 – 24 – 29 – 30 – 31 – 32 – 33 – 34 – 35 – 36 – 37 (não parece ter o apex sinistrógiro) – 38 – 39 (poderá ser Barleeidae) – 40 –
– 41 – Família Rissoidae (pág. 515)
ou – 42 – Família Hydrobiidae (pág. 514)

Das espécies pertencentes à família Rissoidae, assemelha-se mais com *R. parva*.

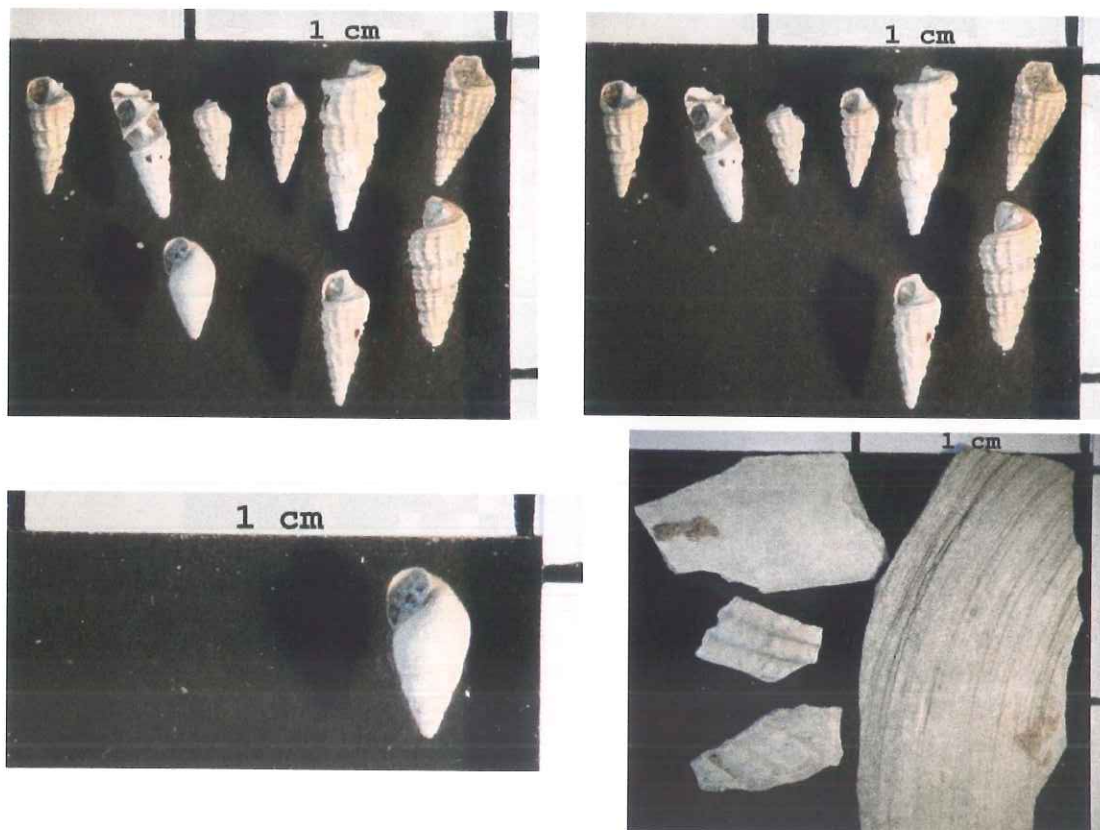
Das espécies pertencentes à família Hydrobiidae assemelha-se mais a *H. ulvae* ou *H. ventrosa*.

Segundo a descrição das espécies em Macedo et al. (1999), os exemplares desta amostras assemelham-se mais a *Assimineea grayana* (família Assimineidae) quer na descrição quer pela fotografia. Ainda neste livro é referido que a espécie *Barleia unifasciata* atinge no máximo 2 mm, e estes exemplares têm cerca de 3 mm.

Conclusões: esta amostra contém fragmentos de bivalve das espécies *Scrobicularia plana* e *Cerastoderma edule*, e gastrópodes pertencentes à espécie *Assimineea grayana* e/ou *Hydrobia ulvae*.

Amostra AL3 [255-268], Alvor

Conteúdo: 10 gastrópodes ou fragmentos destes, pertencentes à mesma espécie; 2 gastrópodes de outra espécie; 2 fragmentos de bivalve, aparentemente, de *Cerastoderma edule*; 4 fragmentos de bivalve que parecem pertencer à espécie *Scrobicularia plana*, contudo os fragmentos podem apenas ser uma das camadas da concha, o que torna difícil obter certeza na identificação.



Os 10 fragmentos de gastrópode possuem cor creme, superfície em relevo (com nós), cerca de 7 voltas e de cerca de 6 mm de comprimento.

Chave dicotômica para definir a família (Hayward e Rayland, 1995), pág. 491:

1 – 2 – 4 – 9 – 10 – 11 (não é evidente o canal sifonal pois a abertura encontra-se partida em todos os exemplares, mas em principio não possui) – 12 – 24 (é possível que estes sejam juvenis e que os adultos possuam mais de 10 voltas) – 25 – 26 – 27 – Família Cerithiidae (pág. 525) género *Bittium*.

Segundo Muzavor e Morenito (1999), pág. 32, pode ser a espécie *Bittium reticulatum*, que é muito abundante na Ria Formosa.

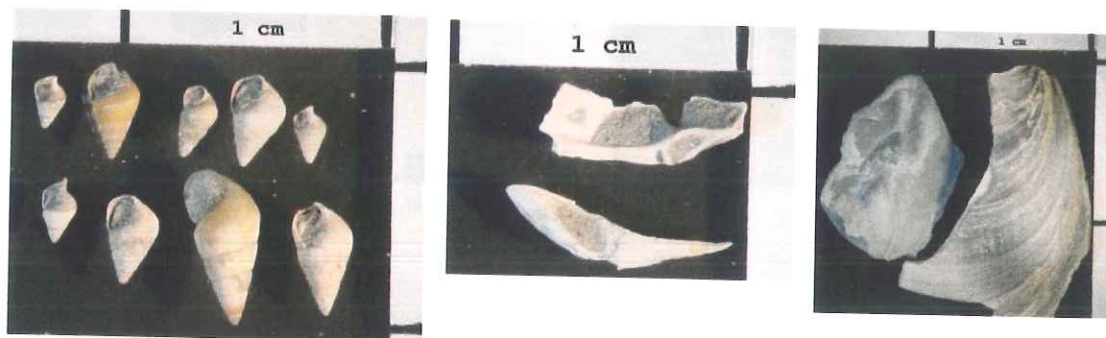
Segundo a descrição das espécies em Macedo et al. (1999), estes exemplares pertencem com certeza ao género *Bittium*, podendo a espécie ser uma das seguintes: *B. reticulatum*, *B. exiguum*, *B. paludosum*, *B. jadertinum*.

Os restantes 2 gastrópodes são idênticos ao da amostra AR3 [151-159], pelo que as conclusões são as mesmas. Género *Hydrobia*, espécie *H. ulvae* ou *H. ventrosa*.

Conclusões: esta amostra contém fragmentos de bivalve das espécies *Scrobicularia plana* e *Cerastoderma edule*, e gastrópodes pertencentes às espécies *Bittium reticulatum* e *Hydrobia ulvae*.

Amostra AR1 [280-295], Arade

Conteúdo: 9 gastrópodes e 3 fragmentos de gastrópode (aparentemente da mesma espécie), 16 fragmentos de bivalve de cor acinzentada com brilho na face interna da valva e 7 fragmentos de bivalve semelhantes aos identificados anteriormente como pertencentes à espécie *Scrobicularia plana*.



Os gastrópodes são idênticos aos encontrados na amostra AL3 [170-185], o indivíduo maior tem cerca de 5 mm e possivelmente pertencem à espécie *Hydrobia ulvae* ou *Assiminea grayana*. Existe um destes gastrópodes aparentemente do Género *Nassarius*.

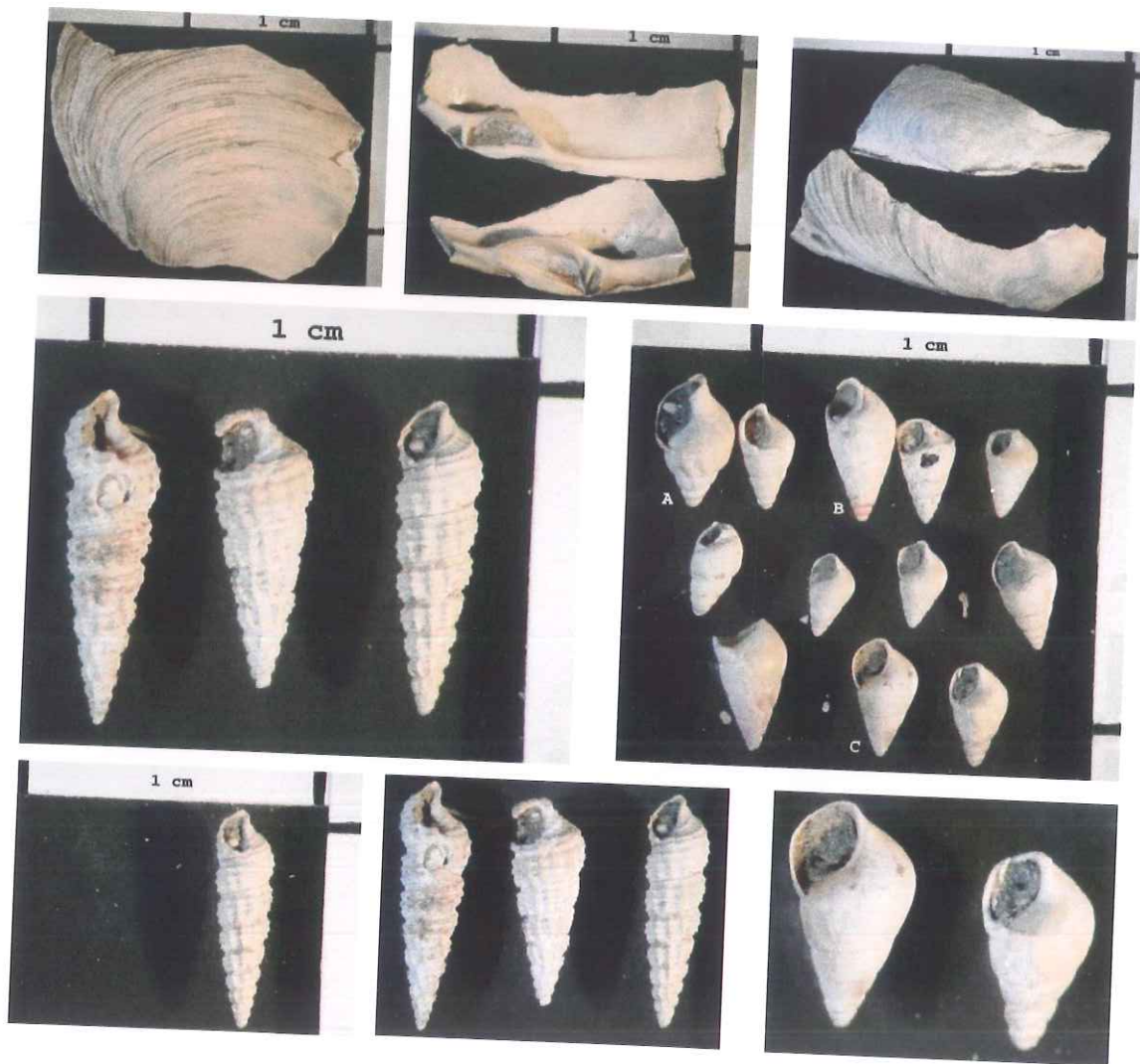
Os 16 fragmentos de bivalve devem pertencer também a *S. plana*. Contudo eis onde se chegou pela chave dicotômica para definir a família (Hayward e Rayland, 1995), pág. 573:

1 – 4 – 6 – 8 (sem certeza pois não existem valvas inteiras) – 10 – 13 – 14 – 15 – 16 – 24
???

Conclusões: esta amostra contém fragmentos de bivalve da espécie *Scrobicularia plana* e gastrópodes pertencentes à espécie *Hydrobia ulvae* e/ou *Assimineia grayana*.

Amostra AR1 [150-160], Arade

Conteúdo: 6 gastrópodes inteiros e 2 fragmentos (aparentemente da mesma espécie), idênticos aos identificados como *Bittium reticulatum* na amostra AL3 [255-268]; 22 gastrópodes muito semelhantes com cerca de 3 mm e no máximo 5 mm que devem pertencer à espécie *Assimineia grayana*, contudo 4 destes gastrópodes assemelham-se mais a *Hydrobia ulvae*, tal como determinado anteriormente. Existe um gastrópode semelhante a *H. ulvae*, nas dimensões e número de voltas mas possui estrias longitudinais muito desgastadas.



Chave dicotómica para definir a família (Hayward e Rayland, 1995), pág. 491:

1 - 2 - 4 - 9 - 10 - 11 - 44 - 45 - 46 - 47 - 50 - 51 - 52 - 53 - Família Nassariidae (pág. 535). Algumas das características descritas na chave dicotómica não eram evidentes, contudo esta é a família cujas características mais se igualam ao exemplar desta amostra.

A maior parte da amostra é constituída por fragmentos de bivalve onde existem alguns fragmentos da zona de charneira que são idênticos àqueles que foram classificados como pertencentes à espécie *Scrobicularia plana*.

Existe um pequeno fragmento que parece ser de *Cerastoderma edule*.

Existem fragmentos de bivalve de coloração cinzenta mas morfologicamente semelhantes aos de *Scrobicularia plana*.

Conclusões: esta amostra contém fragmentos de bivalve das espécies *Scrobicularia plana* e *Cerastoderma edule* e gastrópodes pertencentes às espécies *Bittium reticulatum*, *Nassarius curvieri* (A), *Hydrobia ulvae* (B) e *Assimineia grayana* (C).

ANEXO VI – PCA DE COR E DE QUÍMICA PARA O TESTEMUNHO AL2

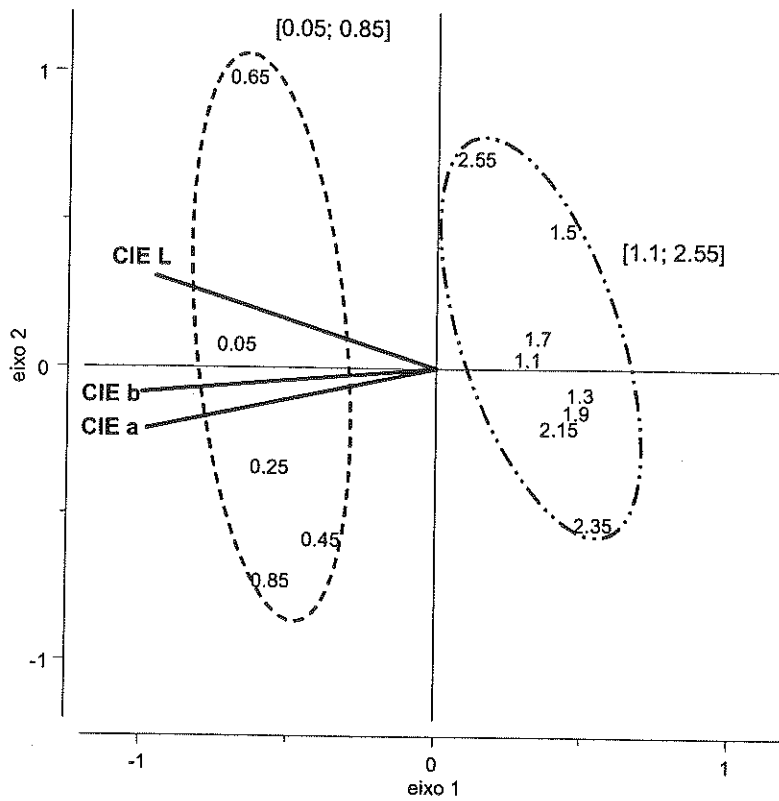


Figura Vii – Análise de componentes principais dos dados do testemunho de sondagem AL2 (Alvor), com o número total de amostras = 13. As variáveis são os parâmetros de cor CIE Lab.

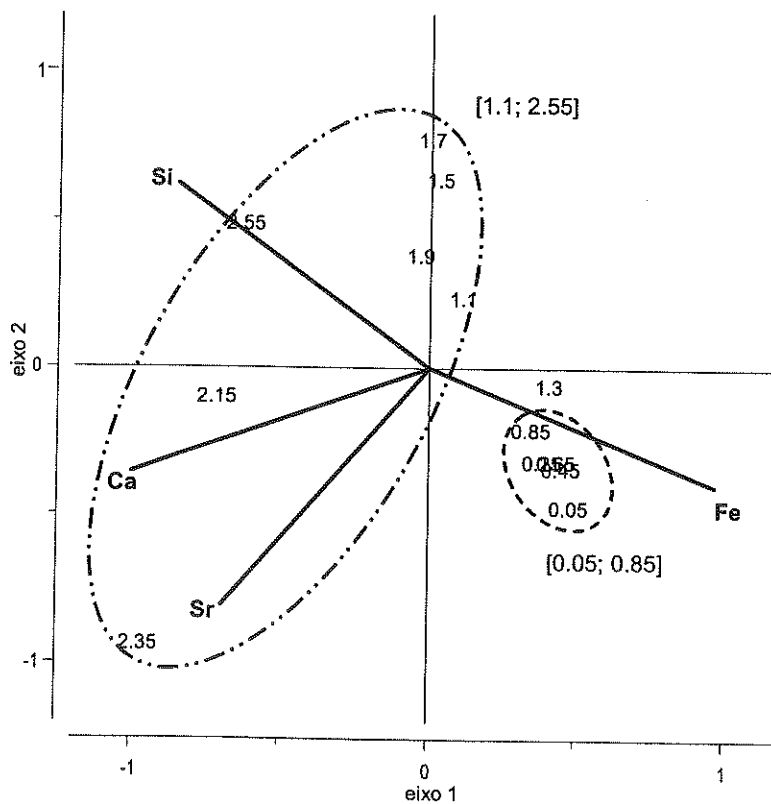


Figura Viii – Análise de componentes principais dos dados do testemunho de sondagem AL2 (Alvor), com o número total de amostras = 13. As variáveis são os elementos químicos Si %, Fe %, Ca %, Sr p.p.m..

ANEXO VII – FACTORES E RELAÇÃO COM A COR

Tabela VIII – Valores da contribuição (*loadings*) de cada elemento químico para cada factor (F1, F2 e F3), obtidos a partir da extracção de factores de um total de 54 amostras dos estuários do Alvor e Guadiana.

<i>loadings</i>	F1	F2	F3
Si	-0,94	-0,23	-0,06
Al	0,99	0,09	-0,01
Fe	0,92	-0,04	-0,01
Mn	0,62	-0,21	0,48
Mg	0,80	-0,08	-0,42
Ca	0,74	-0,06	0,40
Na	0,62	0,26	-0,42
K	0,97	0,09	-0,03
Ti	0,96	0,15	0,02
P	0,36	-0,14	0,52
Ba	0,95	-0,01	-0,18
Sr	-0,17	0,08	0,81
Y	0,94	0,15	0,02
Sc	0,98	0,09	-0,05
Zr	0,24	0,23	-0,23
Be	0,89	0,08	-0,17
V	0,95	0,18	0,18
TS	-0,02	0,74	-0,37
TN	0,43	0,81	0,26
TOC	0,08	0,95	-0,06
TIC	-0,14	-0,21	0,56

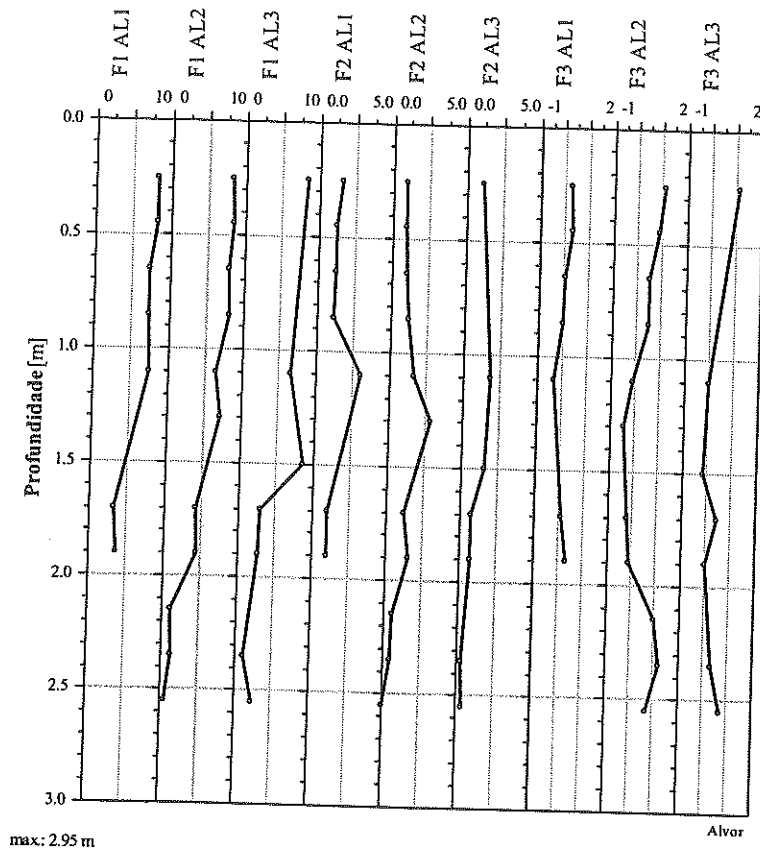


Figura VIII – Perfis dos factores extraídos da análise de factores F1, F2 e F3 para os testemunhos de sondagem AL1, AL2 e AL3 do estuário do Alvor.

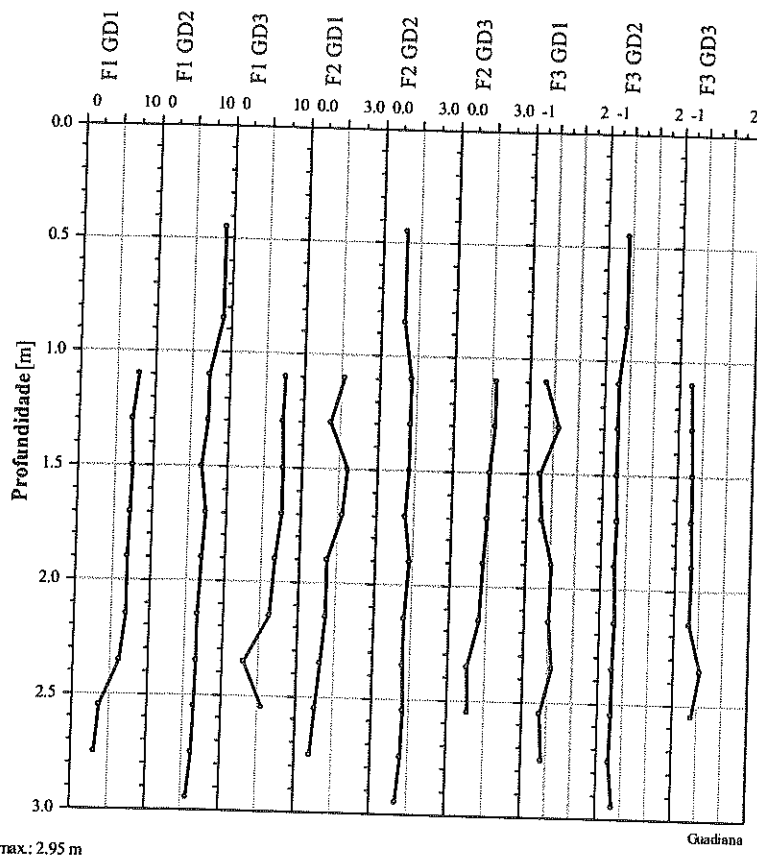


Figura VIIIii – Perfis dos factores extraídos da análise de factores F1, F2 e F3 para os testemunhos de sondagem GD1, GD2 e GD3 do estuário do Guadiana.

Tabela VIIii – Matriz de correlação para os factores F1, F2 e F3 e para os parâmetros de cor CIE L, CIE a, CIE b e Vector DE, obtidas para um total de 72 amostras dos estuários do Arade e Gilão-Almargem.

AR e T	F1	F2	F3	CIE L	CIE a	CIE b	vector DE
F1	1,00						
F2	0,30	1,00					
F3	0,29	-0,19	1,00				
CIE L	0,42	0,03	0,05	1,00			
CIE a	0,48	-0,36	0,32	0,27	1,00		
CIE b	0,64	-0,26	0,29	0,48	0,90	1,00	
vector DE	0,53	-0,07	0,14	0,95	0,53	0,72	1,00

Tabela VIIiii – Matriz de correlação para os factores F1, F2 e F3 e para os parâmetros de cor CIE L, CIE a, CIE b e Vector DE, obtidas para 32 amostras do estuário do Arade.

AR	F1	F2	F3	CIE L	CIE a	CIE b	vector DE
F1	1,00						
F2	-0,22	1,00					
F3	-0,32	-0,54	1,00				
CIE L	0,67	-0,45	0,13	1,00			
CIE a	0,68	-0,54	0,13	0,54	1,00		
CIE b	0,78	-0,53	0,06	0,69	0,94	1,00	
vector DE	0,75	-0,53	0,13	0,95	0,76	0,86	1,00

Tabela VIIiv – Matriz de correlação para os factores F1, F2 e F3 e para os parâmetros de cor CIE L, CIE a, CIE b e Vector DE, obtidas para 40 amostras do estuário do Gilão-Almargem.

T	F1	F2	F3	CIE L	CIE a	CIE b	vector DE
F1	1,00						
F2	0,33	1,00					
F3	0,48	-0,18	1,00				
CIE L	0,12	0,17	-0,19	1,00			
CIE a	0,58	-0,19	0,57	0,12	1,00		
CIE b	0,61	-0,20	0,45	0,27	0,91	1,00	
vector DE	0,29	0,11	-0,03	0,95	0,40	0,55	1,00

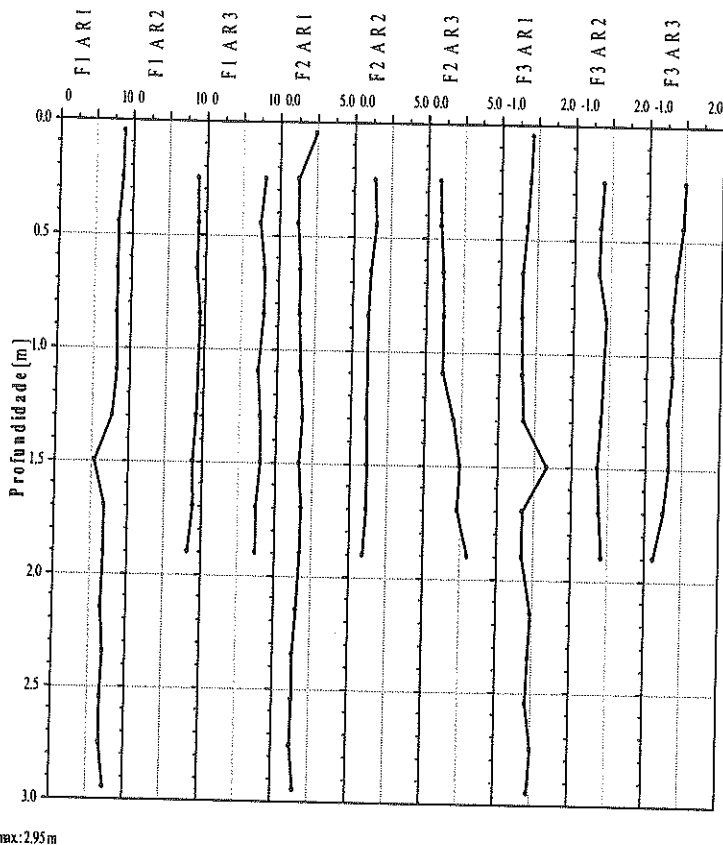


Figura VIII - Perfis dos factores extraídos da análise de factores F1, F2 e F3 para os testemunhos de sondagem AR1, AR2 e AR3 do estuário do Arade.

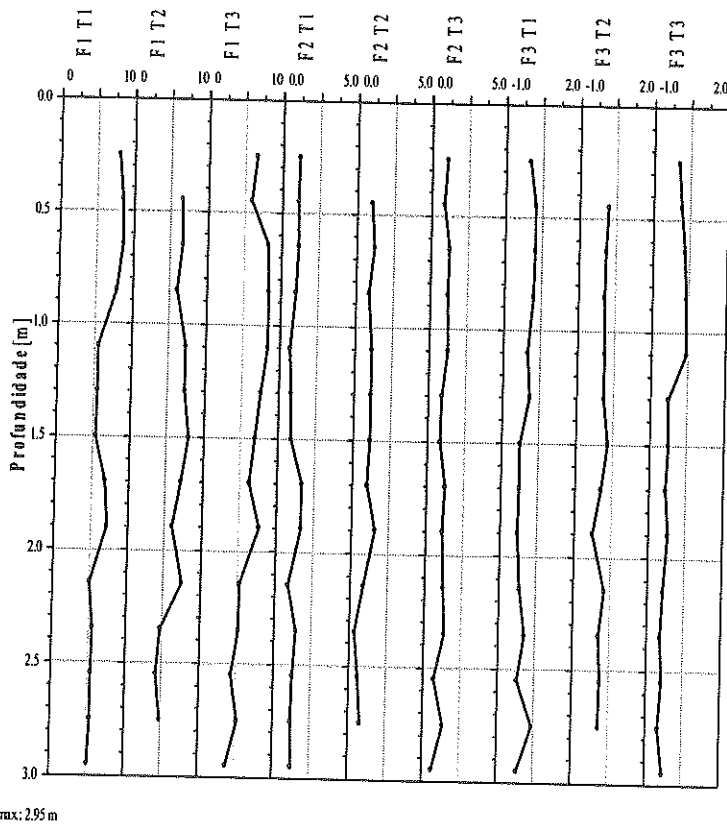


Figura VII - Perfis dos factores extraídos da análise de factores F1, F2 e F3 para os testemunhos de sondagem T1, T2 e T3 do estuário do Gilão-Almargem.

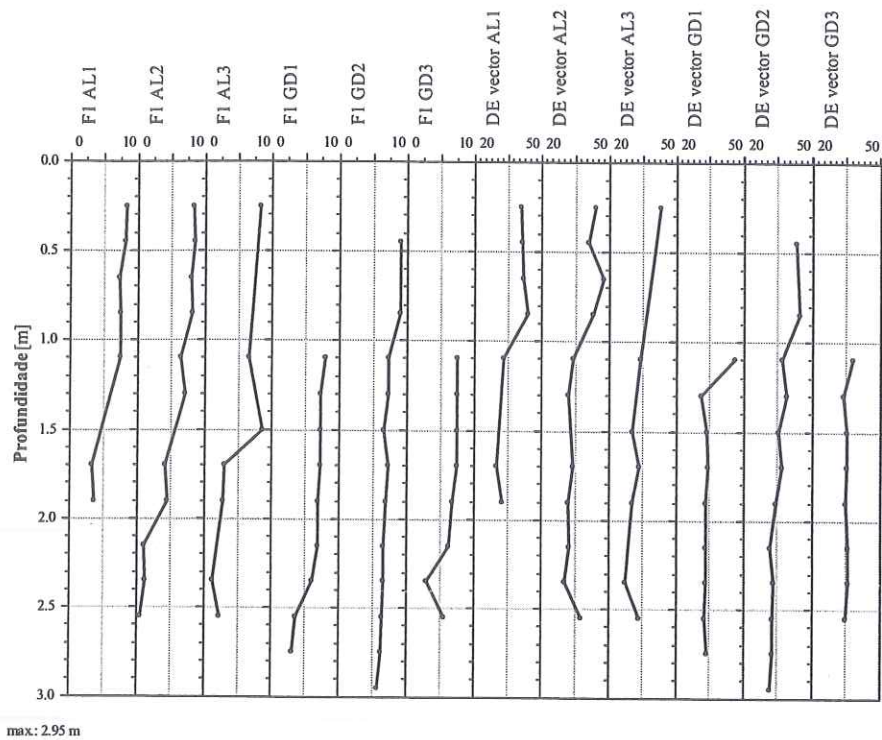


Figura VIIv – Perfis do Factor 1 e do vector DE para os testemunhos de sondagem AL1, AL2 e AL3 do estuário do Alvor e GD1, GD2 e GD3 do estuário do Guadiana.

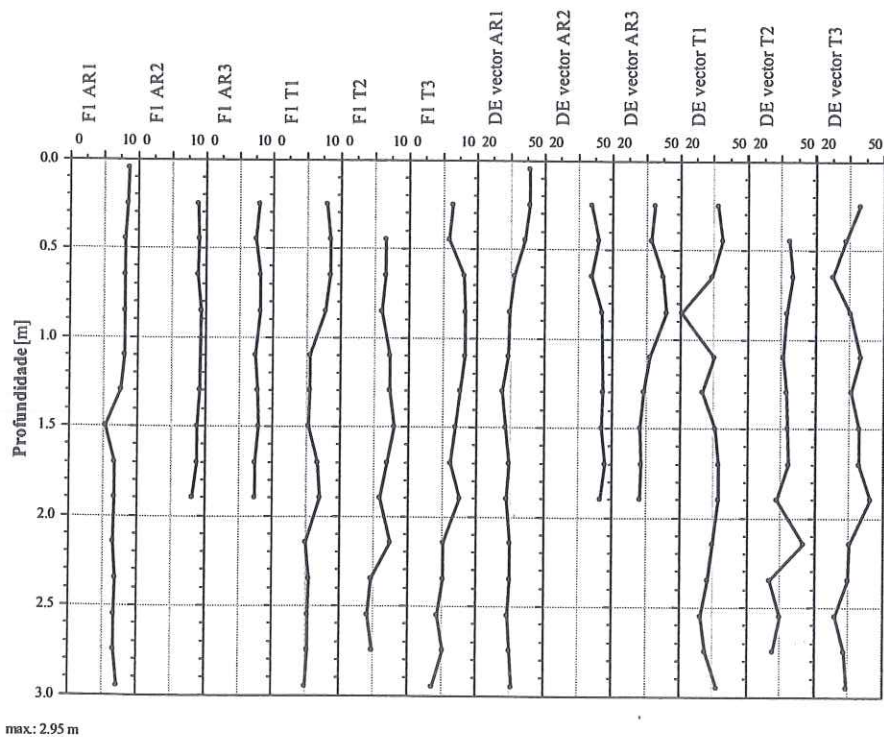


Figura VIIvi – Perfis do Factor 1 e do vector DE para os testemunhos de sondagem AR1, AR2 e AR3 do estuário do Arade e T1, T2 e T3 do estuário do Gilão-Almargem.

