



**UNIVERSIDADE DE COIMBRA**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**Departamento de Ciências da Terra**

**Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do  
Cretácico Inferior do Algarve ocidental: as formações de  
Salema e de Luz**

**Joel Loureiro Carvalho**

**Mestrado em Geociências**

**Fevereiro, 2018**



**UNIVERSIDADE DE COIMBRA**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**Departamento de Ciências da Terra**

**Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do  
Cretácico Inferior do Algarve ocidental: as formações de  
Salema e de Luz**

**Joel Loureiro Carvalho**

**Mestrado em Geociências**  
**Área de especialização em Geologia do Petróleo**

**Orientadores científicos**

Prof. Doutor Pedro Alexandre H. D. Morgado Dinis, Faculdade de Ciências e Tecnologia da  
Universidade de Coimbra

Prof. Doutor Pedro Miguel Callapez Tonicher, Faculdade de Ciências e Tecnologia da  
Universidade de Coimbra

**Fevereiro, 2018**

## Resumo

Estudos anteriores sobre o Cretácico indicam que a Ibéria se encontrava em posição de charneira entre dois cinturões climáticos: o húmido-quente, a norte, e o seco-muito quente a sul. Sabe-se, também, que a bacia Lusitânica se encontrava sob condições húmidas-quentes e que a bacia Ibérica se encontra sob condições secas-muito quentes. Ao contrário destas bacias, não se possui grande conhecimento sobre as condições climáticas prevalentes na bacia do Algarve. Com este propósito, foram escolhidas duas formações para análise: a Formação de Salema, de idade Hauteriviano superior a Barremiano inferior, e a Formação de Luz, de idade Aptiano inferior a superior. A análise destas formações servirá para averiguar a proveniência e as condições paleoclimáticas da bacia durante o Cretácico Inferior.

A partir de dois perfis estratigráficos, foram colhidas 53 amostras de rocha, das quais 29 foram selecionadas para análise química da fração granulométrica menor que 63  $\mu\text{m}$ , segundo o protocolo LF 202, e para difração de raios-X da fração menor do que 2  $\mu\text{m}$ .

Os resultados deste trabalho demonstram que as amostras da Formação de Salema possuem um conteúdo félsico tendencialmente menor do que as da Formação de Luz. Além disso, ao longo da sucessão estratigráfica da Formação de Luz verifica-se um aumento do conteúdo félsico. Através dos diagramas La-Th-Sc, Th-Co-Zr/10 e Th-Sc-Zr/10 foi também possível concluir que as amostras demonstram grande afinidade com o ambiente de arco vulcânico. Como se sabe, durante o Cretácico Inferior o contexto geotectónico da bacia do Algarve era do tipo margem continental ativa, pelo que estes valores deverão estar associados a reciclagem de sedimentos, possivelmente com origem em unidades variscas da Zona Sul Portuguesa. Em termos de alteração química, a Formação de Salema encontra-se menos alterada do que a Formação de Luz. Este facto é bastante perceptível através dos valores de Th/U para as duas formações: Salema (0,90-4,09) e Luz (2,82-7,09).

O estudo destas duas formações não demonstra nenhum indício que tenha ocorrido alguma alteração significativa nas condições climáticas regionais. Apesar de se observar um aumento da alteração química, a componente félsica também acompanha este aumento, tal como a componente reciclada. Um exercício importante a fazer no futuro, consistiria na recolha e análise das restantes formações do Cretácico Inferior da bacia Algarvia, para assim ser possível afirmar, com maior certeza, da não existência de alterações climáticas significativas durante este longo intervalo.

**Cretácico Inferior - Geoquímica – Argilas – Proveniência – Alteração química**

## **Abstract**

Previous studies about Cretaceous suggest that Iberia was located in a hinged position between two climate belts: the humid-warm to the North, and the dry-very warm to the South. It is also known that the Lusitanian basin was under humid-warm conditions and the Iberian basin was under dry-very warm conditions. Unlike these basins, there is a lack of information about the climatic conditions on-going during this period in the Algarve basin. With this purpose, two formations were chosen for analysis: Salema Fm. and Luz Fm. The analysis of these formations should help to investigate sediment provenance and paleoclimatic conditions within the basin, during the Early Cretaceous.

Based in two stratigraphic sections, we have collected a bulk of 53 samples and selected 29 of these for chemical analysis of the granulometric fraction under 63  $\mu\text{m}$ , according to protocol LF 202, and for X-ray diffraction of the sizes under 2  $\mu\text{m}$ .

The results show that samples of the Salema Fm. have a felsic content tendentially lower than that of Luz Fm. Besides this, along the upwards succession of Luz Fm. there is an increase in felsic content. Through the La-Th-Sc, Th-Co-Zr/10 and Th-Sc-Zr/10 diagrams it was also possible to conclude that samples show high affinity with a volcanic arc environment. As it is known, during Early Cretaceous the geotectonic context of the Algarve basin was of an active continental margin type, so these values should be associated to the recycling of sediments, possibly originated from Variscan units of the South Portuguese Zone. In terms of chemical weathering, Salema Fm. shows lower values than Luz Fm. This fact can be recognised through values of the ratio Th/U for these two formations: Salema (0,90-4,09) and Luz (2,82-7,09).

The study of these two formations don't shows any sign of significant changes in the regional climatic conditions. Despite of an increase in chemical weathering values, the felsic content also accompanies this increase, such as the recycled component. Perhaps an important exercise to do in future, would be to sample and analyse all other formations from the Lower Cretaceous of the Algarve basin, in order to be able to ensure with greater certainty that were no significant climatic changes during this long interval.

## **Lower Cretaceous - Geochemistry – Clays – Provenance – Chemical weathering**

## **Agradecimentos**

Na realização da presente dissertação contei com o apoio de várias pessoas e algumas instituições nos quais estou bastante grato. Assim, passarei a enumerar:

Aos orientadores Pedro Dinis e Pedro Callapez agradeço pela orientação prestada, pelo incentivo, disponibilidade, paciência e apoio durante a elaboração desta dissertação. Aqui expresso a minha gratidão.

Ao centro de investigação MARE agradeço pelo apoio financeiro do qual não seria possível concretizar este projeto.

Um agradecimento à Vanda Santos e ao Fernando Barroso-Barcenilla pelo acompanhamento no campo e pela cedência do perfil da formação de Salema.

Aos amigos e colegas que, de forma direta ou indireta, me ajudaram nesta dissertação, agradeço a paciência e a forma com que trataram ao longo deste tempo. Não querendo esquecer de alguém, não irei referi nomes.

À minha família agradeço pelo apoio económico e pela força que me deram ao longo desta tese e curso.

Por fim, agradeço a todos que tornaram tudo isto possível.

## Índice

<b>1. Introdução</b> .....	10
1.1 Objetivos.....	10
1.2 Trabalhos anteriores.....	11
<b>2. Enquadramento</b> .....	13
2.1. Geográfico .....	13
2.2. Geomorfológico .....	16
2.3. Geológico .....	17
<b>3. Metodologia</b> .....	25
3.1 Metodologia de Campo.....	25
3.2 Metodologia Laboratorial .....	25
3.3 Análise de dados .....	27
<b>4. Perfis estratigráficos</b> .....	29
4.1. Formação de Salema .....	29
4.1.1 Descrição do perfil .....	29
4.1.2 Descrição das fácies.....	32
4.2. Formação de Luz.....	34
4.2.1 Descrição do perfil .....	34
4.2.2 Descrição das fácies.....	36
<b>5. Resultados composicionais</b> .....	38
5.1 Formação de Salema .....	38
5.1.1 Minerais de argila .....	38
5.1.2 Geoquímica .....	39

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

5.1.3 Diferenças entre fácies .....	42
5.2 Formação de Luz.....	43
5.2.1 Minerais de argila .....	43
5.2.2 Geoquímica .....	44
5.2.3 Diferenças entre fácies .....	47
5.3 Síntese comparativa entre as unidades da Salema e Luz.....	48
5.4 Análise estatística dos dados composicionais.....	51
<b>6. Discussão.....</b>	<b>60</b>
6.1 Proveniência sedimentar .....	60
6.2 Alteração química.....	66
6.3 Inferições paleogeográficas.....	72
<b>7. Conclusão .....</b>	<b>78</b>
<b>8. Referências bibliográficas .....</b>	<b>81</b>

## Índice de figuras

Figura 2.1. Panorama geral do lado Este da enseada da Salema, observando-se arribas com os estratos de rochas carbonatadas estudados, representativos de parte da Formação de Salema. ....	14
Figura 2.2. Panorama geral das Formação de Luz (“Margas da Luz”), dispostas na frente da arriba do lado este da enseada da Luz (Algarve Ocidental) .....	15
Figura 2.3. Localização geral e geologia da região em estudo. Imagens: A- Localização dos afloramentos no contexto ibérico. B- Localização dos afloramentos representativos de formações de idade cretácica (a verde) no <i>onshore</i> da margem algarvia. C- Localização da praia da Salema na carta militar da série m888, à escala 1:25 000. D- Localização da praia da Luz na carta militar da série m888, à escala 1:25 000 .....	15
Figura 2.4. Localização geral e geologia da região em estudo. Imagens: A- Localização dos afloramentos no contexto ibérico. B- Localização dos afloramentos representativos de formações de idade cretácica (a verde) no <i>onshore</i> da margem algarvia. C- Geologia da região da Salema. D- Geologia da região da Luz (excertos da Carta Geológica de Portugal, escala 1:50 000, folha 52-A). Legenda: A- Aluviões. B- Areias de praia. C- Aptiano. D- Cretácico Inferior indiferenciado. E- Titoniano e Kimeridgiano. F- Jurássico Inferior dolomítico. G- Hetangiano-Triásico(?)- Complexo Margo-Carbonatado de Silves. H- Basaltos, basaltos doleríticos, basatinóides, etc. I- Limburgitos, ancaramitos, etc. ....	17
Figura 2.5. Unidades litostratigráficas do Triásico e Jurássico Inferior do Algarve. Com cercadura azul encontram-se as unidades da parte ocidental do Algarve. (segundo Terrinha <i>et al.</i> , 2012). ....	18
Figura 2.6. Unidades litostratigráficas do Jurássico médio e superior do Algarve. A azul encontram-se as unidades da parte ocidental do Algarve (segundo Terrinha <i>et al.</i> , 2012.....	20
Figura 2.7. Unidades litostratigráficas do Cretácico na da bacia do Algarve. A azul encontram-se as unidades da parte ocidental do Algarve (segundo Rey, 2006). ....	24
Figura 3.1. Processo de descarbonatação com ácido acético a 10 % das amostras (à esquerda) e processo de secagem no banho de areia (à direita). ....	27
Figura 4.1. Perfil estratigráfico correspondente à Formação de Salema.....	31
Figura 4.2. Perfil estratigráfico correspondente à Formação de Luz. ....	35
Figura 5.1. Diagrama <i>triplot</i> com a representação das duas fácies da formação da Salema. ....	39
Figura 5.2. Gráfico dos parâmetros estatísticos das amostras da formação da Salema. No gráfico estão expressos os valores máximos, mínimos e médios da formação. ....	40

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

Figura 5.3 Gráfico de terras raras com a gama de valores da formação e os valores médios das fácies S7 e S8.....	41
Figura 5.4. Gráficos de terras raras La/Sm vs. Gd/Yb e La/Sm vs Eu/Eu* para as duas fácies analisadas na Formação de Salema.....	42
Figura 5.5. Diagrama <i>triplot</i> com a representação das quatro fácies analisadas em termos de minerais de argila da Formação de Luz.....	43
Figura 5.6. Gráfico com os parâmetros estatísticos da Formação de Luz. A verde encontram-se os valores máximos, a azul os valores médios e a vermelho os valores mínimos.....	44
Figura 5.7. Gráfico de terras raras com a gama de valores da formação e os valores médios das fácies L1, L3, L4 e L5.....	45
Figura 5.8 Gráficos de terras raras La/Sm vs. Gd/Yb e Eu/Eu* vs La/Sm das fácies analisadas nas margas da Luz.....	46
Figura 5.9. Gráfico com os valores médios da fácies L1, L3, L4 e L5, que vêm tendo sido analisados ao longo do capítulo.....	47
Figura 5.10. Gráfico comparativo entre a Formação de Salema e a Formação de Luz do Cretácico Inferior do Algarve ocidental. Os elementos apresentados correspondem aos elementos que apresentam comportamentos distintos.....	48
Figura 5.11. Gráficos $Al_2O_3/SiO_2$ vs. $Al_2O_3$ e $Al_2O_3/SiO_2$ vs. MgO para a Formação de Salema e a Formação de “Margas de Luz” do Cretácico Inferior do Algarve ocidental. De referir que a amostra da Formação de Salema que não se encontra no <i>cluster</i> de amostras, corresponde à amostra SAE 142.....	49
Figura 5.12. Gráfico do ratio Zr/Rb Mensurados para 13 amostras da Formação de Salema (SAE 8 a SAE 144) e 16 amostras da Formação de Luz do Cretácico Inferior do Algarve ocidental.....	50
Figura 5.13. Gráfico de associação entre o primeiro e segundo fator para os elementos imóveis das duas formações.....	54
Figura 5.14. Gráfico de associação entre o primeiro e terceiro fator para os elementos imóveis das duas formações.....	54
Figura 5.15. Gráfico de associação entre o primeiro e segundo fatores para os elementos maiores das duas formações.....	56
Figura 5.16. Gráfico de associação entre o segundo e terceiro fatores para os elementos maiores das duas formações.....	57
Figura 6.1. Ratios entre os elementos Co/Th e Sc/Th, para as formações de Salema (vermelho) e de Luz (Azul). Foi assumido que a superfície de descontinuidade antes da Formação de Salema	

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretáceo Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

corresponde a 0 metros. O intervalo entre as duas formações corresponderia às formações de Barrancão (11,4 metros) e de Burgau (28 metros) (Rocha, <i>et al.</i> , 1983). .....	61
Figura 6.2. Ratios entre os elementos Zr/Sc e Zr/Co, para as formações de Salema (vermelho) e de Luz (Azul). Foi assumido que a superfície de descontinuidade antes da Formação de Salema corresponde a 0 metros. O intervalo entre as duas formações corresponderia às formações de Barrancão (11,4 metros) e de Burgau (28 metros) (Rocha, <i>et al.</i> , 1983). .....	62
Figura 6.3. Diagrama ternário La-Th-Sc para as duas formações em estudo (Bathia, M. e Crook, K., 1986).....	63
Figura 6.4. Diagrama ternário Th-Co-Zr/10 para as duas formações em estudo (Bathia, M. e Crook, K., 1986).....	64
Figura 6.5. Diagrama ternário Th-Sc-Zr/10 para as duas formações em estudo (Bathia, M. e Crook, K., 1986).....	65
Figura 6.6. Gráficos com os valores do CIX e WIP para as formações da Salema (vermelho) e da Luz (Azul). .....	67
Figura 6.7 Diagrama $Al_2O_3$ , $Na_2O_3$ e $K_2O$ .e $K_2O$ .....	68
Figura 6.8. Ratios entre os elementos Rb/Ti e Rb/K para as formações da Salema (vermelho) e da Luz (Azul). .....	68
Figura 6.9 Ratios entre os elementos Th/U e $K_2O/Th$ para as formações de Salema (vermelho) e de Luz (Azul). .....	70
Figura 6.10. Ratios caulinite/ilite para as formações de Salema (vermelho) e de Luz (Azul). .....	70
Figura 6.11. Ratios entre o V/Cr e Ni/Co para as formações de Salema (vermelho) e de Luz (Azul) .	71
Figura 6.12. Diagramas de bolha para os valores da transformada do CIX para as formações de Salema (esquerda) e de Luz (direita). .....	75
Figura 6.13. Diagramas de bolha para os valores da transformada do $K_2O/Th$ para as formações de Salema (esquerda) e de Luz (direita). .....	75
Figura 6.14. Diagramas de bolha para os valores da transformada do Rb/Ti para as formações de Salema (esquerda) e de Luz (direita). .....	76
Figura 6.15. Diagramas de bolha para os valores da transformada do Th/U para as formações de Salema (esquerda) e de Luz (direita). .....	76

## Índice de tabelas

Tabela 5.1. Tabela dos valores próprios da associação de elementos imóveis.....	52
Tabela 5.2. Tabela das coordenadas das variáveis nos eixos fatoriais.....	52
Tabela 5.3. Tabela dos valores próprios da associação de elementos maiores. ....	55
Tabela 5.4. Tabela das coordenadas das variáveis nos eixos fatoriais.....	55
Tabela 5.5. Tabela de correlação para a Formação de Salema.....	58
Tabela 5.6. Tabela de correlação para a Formação de Luz. ....	59
Tabela 6.1. Índices de alteração considerados neste trabalho.....	66

## 1. Introdução

### 1.1 Objetivos

Antes de poder começar a falar sobre os objetivos deste trabalho é preciso ter em conta dois pressupostos: (1) durante o Cretácico, a Ibéria encontrava-se em posição de charneira entre dois cinturões climáticos: o húmido-quente, a norte, e o seco-muito quente, a sul (Trabucho-Alexandre *et al.*, 2011); (2) ao contrário da bacia Ibérica e da bacia Lusitânica, não se tem bom conhecimento das condições climáticas na bacia do Algarve. Assim, tendo em conta os pressupostos referidos, tomou-se como objetivo conduzir uma análise sistemática de parâmetros composicionais que podem ser usados para estabelecer as condições climáticas.

Como objetivo da investigação, escolheram-se duas unidades do Cretácico Inferior formadas em pleno *rifting* na bacia do Algarve: a Formação de Salema e a Formação de Luz (Rey, 2006). Estas unidades depositaram-se em ambientes costeiros, tendencialmente com maior influência marinha no caso da Formação de Salema, apresentando na sua composição uma percentagem significativa de litótipos argilosos ou margosos.

O conhecimento da intensidade da alteração química é, muitas vezes, usado para tentar inferir as condições climáticas coevas da deposição. A intensidade da alteração química pode ser avaliada a partir de características mineralógicas (Chamley, 1989; Velde, 1995; Thiry, 2000) ou geoquímicas (Goldberg e Humayun, 2010; Buggle *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2014) dos sedimentos. Todavia, a composição de unidades sedimentares é condicionada por diversos fatores que devem ser avaliados cuidadosamente antes de se proceder a alguma inferição paleoclimática. É preciso ter presente que a intensidade dos processos de meteorização química não depende exclusivamente do clima. Fatores como o relevo podem ter um papel tão importante como o clima, promovendo-se os processos de erosão em áreas de relevo mais acidentado e de meteorização em áreas aplanadas. Para além do relevo, algumas características como a posição do nível freático e a natureza do coberto vegetal podem condicionar os processos de meteorização.

A natureza da área de alimentação é outro aspeto fundamental que é necessário controlar. De facto, antes de mais, a composição é determinada pela natureza da área de alimentação, sendo de esperar que sedimentos alimentados a partir de áreas com

geologia distinta apresentem composições diferentes, mesmo que as condições climáticas sejam semelhantes. Vários autores têm demonstrado o efeito que a proveniência sedimentar tem sobre os índices que podemos usar para estabelecer as alterações, propondo formas de identificar este efeito (Gaillardet *et al.*, 1999; Garzanti e Ressentini, 2016; Dinis *et al.*, 2017). Um dos aspetos mais difíceis de ultrapassar resulta do facto de uma unidade sedimentar poder herdar características adquiridas em ciclos sedimentares anteriores (Gaillardet *et al.*, 1999; Bauluz *et al.*, 2000; Dinis e Oliveira, 2016; Dinis *et al.*, 2017).

Acresce que as características composicionais mais reveladoras da intensidade alteração química dependem da granulometria dos depósitos, como foi demonstrado para as associações de minerais argilosos (Chamley, 1989; Velde, 1995; Thiry, 2000) e a composição química (von Eynatten *et al.*, 2012, 2016). Os efeitos na composição dos sedimentos dos processos de seleção sedimentar durante um ciclo sedimentar (Garzanti *et al.*, 2010) e as alterações introduzidas após deposição durante as diferentes fases da diagénese (Fedó *et al.*, 1995; Thiry, 2000; Hundert *et al.*, 2006; Morton and Hallsworth, 2007) acabam por introduzir dificuldades adicionais.

Numa tentativa de limitar os efeitos dos vários fatores que podem determinar a composição química e mineralógica dos sedimentos, optou-se por levar a cabo a análise em sedimentos com características tão homogéneas quanto possível. Assim, amostraram-se apenas níveis argilosos e margosos, rejeitando-se aqueles que apresentavam maiores componentes carbonatadas e arenosas. Adicionalmente, as análises incidiram sobre frações granulométricas semelhantes. Nesse sentido, foram obtidos dados geoquímicos (58 elementos) da fração <63  $\mu\text{m}$  e as associações de minerais de argila na fração <2  $\mu\text{m}$ . Este conjunto de dados permitiu adquirir um leque diversificado de parâmetros composicionais dependentes da alteração química, que nos permitem obter informações sobre a proveniência sedimentar, os efeitos da reciclagem e, em última análise, as condições climáticas.

Se essas condições climáticas são aqui consideradas como o objetivo primordial da investigação, o conhecimento de outros parâmetros, como os relacionados com a proveniência dos sedimentos, deve permitir obter informações muito relevantes a propósito da configuração dos sistemas de alimentação e de dispersão, bem como a identificação de ruturas no registo estratigráfico. Estes resultados ajudarão a perceber a paleogeografia da bacia do Algarve e correlacionar o seu enchimento com o de outras bacias congéneres da Península Ibérica.

## 1.2 Trabalhos anteriores

O estudo da bacia do Algarve começou no século XIX, durante os primeiros trabalhos de cartografia geológica e de estratigrafia do território. Nomes como Bonnet (1850), Choffat (1887), Dolfus *et al.* (1903), Medeiros Gouvea (1938), Choffat (1950), Rey e Ramalho (1974), Rocha (1976), Palain (1976), Rey (1983), Marques (1983), Correia (1989), Manuppella (1992) e Antunes e Pais (1993), foram os pioneiros na investigação da bacia algarvia. Os dados obtidos com estes trabalhos permitiram outros tipos de estudos, servindo de base para os mesmos. Durante os anos 90 do século

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

passado começam a aparecer os primeiros trabalhos sobre a tectónica e evolução geodinâmica da bacia, com nomes como o de Terrinha (1998); Lopes (2002<sup>1</sup>); Lopes (2002<sup>2</sup>), Terrinha *et al.* (2002) e Lopes *et al.* (2006).

Para o Cretácico, existe alguma bibliografia sobre as formações em estudo, apesar de não ser tão completa e extensiva como a informação disponível para a bacia Lusitânica. Rey e Heimhoffer possuem vários artigos que aumentam o conhecimento sobre a bacia. Dos vários artigos existentes destacam-se os de Rey *et al.* (1974), Grambast-Fessard (1980), Ramalho e Rey (1981), Rey (1982), Rey (1983), Berthou *et al.* (1983), Rey (1986), Damotte *et al.* (1988), Correia (1989), Berthou e Leereveld (1990), Cabral (1995), Cabral e Colin (1998), Heimhoffer *et al.* (2003), Heimhoffer *et al.* (2006), Heimhoffer (2008), Rey (2009) e Rey (2010).

## 2. Enquadramento

### 2.1. Geográfico

O presente trabalho foi desenvolvido no sudoeste de Portugal continental, nomeadamente no barlavento algarvio. Incidiu, em concreto, sobre o estudo de dois afloramentos situados ao longo da faixa litoral, nas imediações das populações da Salema e da Luz. Estas praias de reconhecido interesse e grande procura balnear correspondem, também, a locais de grande importância geológica que aguardam classificação como geossítios. Nas arribas da Salema observam-se trilhos de pegadas de dinossáurios (Santos *et al.*, 2015), em parte já valorizados através de sinaléticas e de percursos turísticos. Já na praia da Luz, frente à povoação, são famosas as bancadas com concentrações orientadas de gastrópodes cretácicos (*Nerinella algarbiensis*) (Teixeira, 1980), as quais, pela sua espetacularidade, merecem classificação, valorização e divulgação turística, prestando-se a atividades educativas e lúdicas.

Na Salema (Fig. 2.1), localidade pertencente ao concelho de Vila do Bispo, foi descrita e formalizada a Formação de Salema (Rey, 2006b), uma das unidades estratigráficas mais representativas do Hauteriviano e Barremiano do Algarve.

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz



Figura 2.1. Panorama geral do lado Este da enseada da Salema, observando-se arribas com os estratos de rochas carbonatadas estudados, representativos de parte da Formação de Salema.

Esta unidade litoestratigráfica, como já acima referido, aflora nas arribas ativas contíguas à enseada, sobretudo na parte este da faixa litoral. Estas arribas encontram-se bem conservadas, propiciando uma observação contínua dos estratos levemente basculhados para sudeste, apesar de atualmente se encontrarem a ser erodidas pela ação da abrasão marinha. Com efeito, ao contrário do que sucedia há alguns anos atrás, a remoção da praia arenosa pelas ondas e correntes de deriva litoral já não permite observações durante a preia-mar. As coordenadas do ponto médio do troço de arriba amostrado são: 37°3'56.60"N e 008°49'13.37"W.

Na Luz (Fig. 2.2), localidade pertencente ao concelho de Lagos, foram descritas as "Margas da Luz", formalizadas como Formação de Luz (Rey, 2006b).

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz



Figura 2.2. Panorama geral das Formação de Luz ("Margas da Luz"), dispostas na frente da arriba do lado este da enseada da Luz (Algarve Ocidental).

Esta unidade de idade aptiana aflora extensamente na parte este da praia da Luz. Do lado oposto encontram-se as bancadas sub-horizontais de calcário com as concentrações de gastrópodes cretácicos atrás referidas, correspondentes à Formação de Burgau (Rey, 2006b). Tal como na praia da Salema, a arriba encontra-se bem conservada, propiciando um cenário de rara beleza em que estratos coloridos de tons avermelhados e esverdeados alternam ao longo da enseada, sendo cortados no seu extremo oriental por um corpo magmático. As coordenadas do ponto médio do troço de arriba amostrado são: 37°5'11.05"N e 008°43'15.20"W.

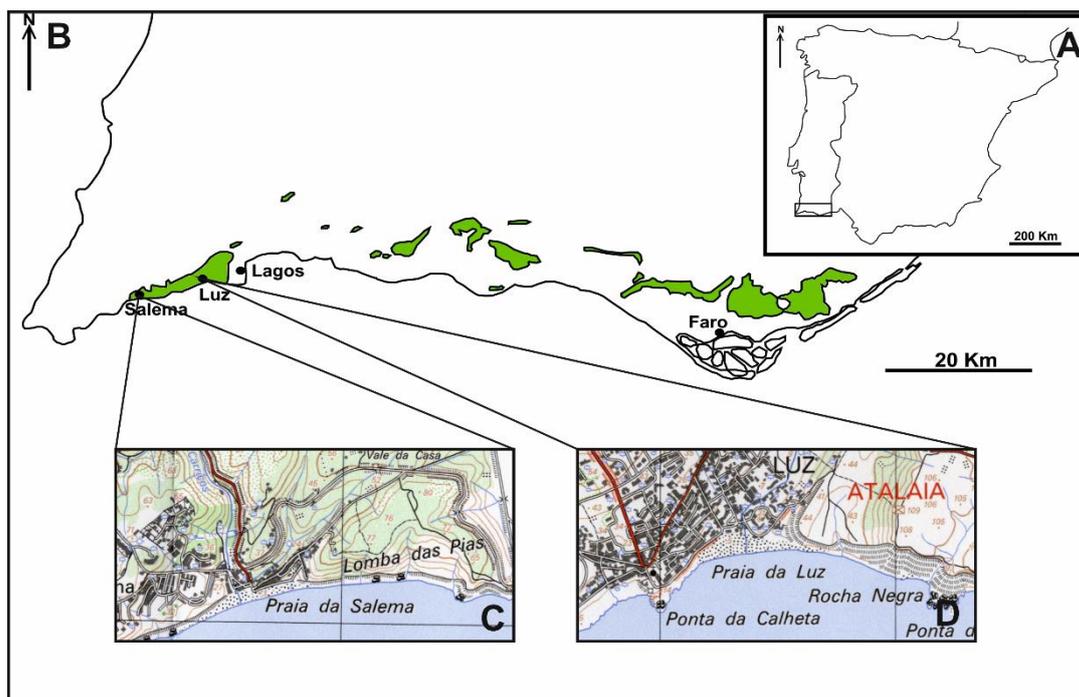


Figura 2.3. Localização geral e geologia da região em estudo. Imagens: A- Localização dos afloramentos no contexto ibérico. B- Localização dos afloramentos representativos de formações de idade cretácica (a verde) no *onshore* da margem algarvia. C- Localização da praia da Salema na carta militar da série m888 à escala 1:25 000. D- Localização da praia da Luz na carta militar da série m888 à escala 1:25 000.

## 2.2. Geomorfológico

A parte ocidental da costa algarvia, entre o promontório de Sagres e Quarteira, apresenta sobretudo um desenvolvimento em arriba, que a abrasão faz recuar (Feio, 1952), apenas recortado a espaços por enseadas com praias arenosas, incluindo as do presente estudo.

Segundo Feio (1951), a região do Algarve pode ser subdividida em três unidades geomorfológicas: os Relevos Interiores, a Planície Litoral Ocidental e a Orla Algarvia. As unidades descritas neste trabalho, ao integrarem parte da sucessão meso-cenozóica do *onshore* da margem continental, discordante sobre o substrato paleozóico deformado da Zona Sul Portuguesa, encontram-se classificadas como pertencentes à Orla Algarvia.

O relevo da Orla Algarvia é condicionado essencialmente pela litologia e estrutura dos terrenos mesocenozóicos aflorantes (Marques, 1997), em parte controlada por fenómenos de halocinése associados à deformação do Complexo Margocarbonatado de Silves. As características destes terrenos também são afetadas pela sua posição entre o mar e as serras do Caldeirão e Monchique. Segundo Feio (1951), a orla Algarvia só apresenta formas estruturais vigorosas nas proximidades do Maciço Antigo, faltando-lhes, mesmo aí, uma certa continuidade. Por outro lado, segundo o mesmo autor, a proximidade do mar é observável devido à dissecação do relevo e aos níveis litorais.

De forma mais local, na Salema, observam-se formas de relevo típicas de ambientes de transição. O espaço é caracterizado pela presença de um ambiente de praia com arribas ativas, desenvolvidas a partir do recuo erosivo de sucessões levemente basculhadas de estratos de rochas carbonatadas de idade jurássica e cretácica, a Oeste e a Este respetivamente. Além disso, como o afloramento está a ser alvo de erosão, observam-se diversos depósitos de vertente, por vezes espessos e cortados pela ação abrasiva da ondulação e correntes de maré. Também se observam diversas falhas, por vezes associadas a pequenas escarpas, de cujo rejogo resultou uma repetição de estratos no final da sucessão exposta em arriba. Por último, observa-se um sistema aluvionar/coluvionar que se encontra relacionado com a ribeira que desagua nesta praia.

Por sua vez, no espaço da praia da Luz desenvolvem-se formas de relevo análogas às da Salema, pois ambos os contextos correspondem a um ambiente de transição costeiro. No seu lado oriental, a enseada apresenta arribas ativas desenvolvidas sobre unidades greso-argilosas de idade aptiana, bem como uma cobertura diversa de depósitos de vertente e de sopé, ilustrados na figura 2.4 E. Assim como no afloramento estudado da Formação de Salema, observa-se, também, um pequeno escarpamento associado ao rejogo de uma falha normal que corta a sucessão perto de estratos com litologias mais grosseiras. Por último, no seu extremo este, a enseada da Luz é condicionada por um relevo de resistência, no qual se desenvolveu um pequeno promontório que corresponde ao local de intrusão de uma chaminé vulcânica, posterior à deposição dos sedimentos aptianos.

### 2.3. Geológico

A Orla Meso-Cenozóica Meridional localiza-se na parte sudoeste da península Ibérica, como parte integrante da margem continental sul portuguesa. Na sua máxima extensão, compreendendo todos os setores do *onshore*, vai desde o cabo de São Vicente até ao rio Guadiana (cerca de 140 Km), penetrando irregularmente para o interior entre 3 a 25 Km, sobre terrenos do Carbonífero da Zona Sul Portuguesa (Terrinha *et al.*, 2012).

A bacia desenvolveu-se num regime tectónico de estiramento e adelgaçamento litosféricos, contemporâneos de diversas fases extensionais ligadas à abertura do Atlântico Central (Terrinha *et al.*, *op. cit.*), intercaladas por longos intervalos de detumescência térmica, durante os quais se depositaram séries marinhas de rampa ou plataforma carbonatada, em parte registadas no *onshore* algarvio. À semelhança da bacia Lusitaniana, a sedimentação teve início durante o Triásico, sobretudo na sua parte superior (Grupo de Silves, *sensu* Soares *et al.*, 2012), através da deposição de espessas séries vermelhas continentais, em grande parte de natureza greso-conglomerática e na dependência do rejeço de blocos tectónicos controlados por falhas distensivas. Neste quadro, a deposição inicial de sedimentos foi essencialmente detrítica, consistindo em conglomerados heterométricos, arenitos e pelitos vermelhos, intercalados com siltitos e dolomias (Pereira *et al.*, 2014).

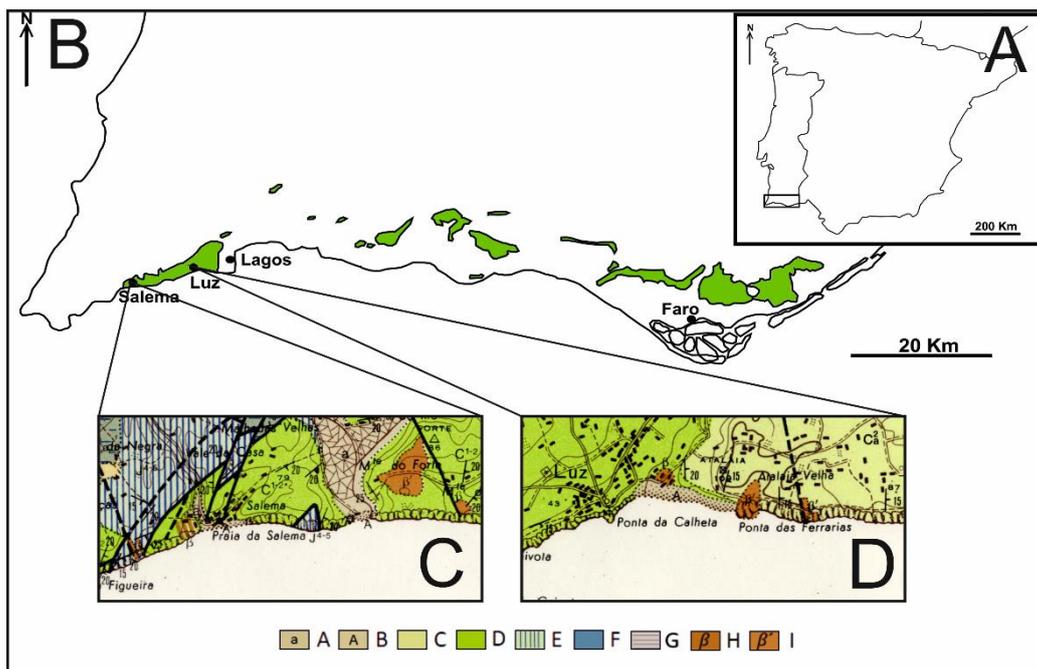


Figura 2.4. Localização geral e geologia da região em estudo. Imagens: A- Localização dos afloramentos no contexto ibérico. B- Localização dos afloramentos representativos de formações de idade cretácica (a verde) no *onshore* da margem algarvia. C- Geologia da região da Salema. D- Geologia da região da Luz (excertos da Carta Geológica de Portugal, escala 1:50 000, folha 52-A). Legenda: A- Aluviões. B- Areias de praia. C- Aptiano. D- Cretáceo Inferior indiferenciado. E- Tittoniano e Kimeridgiano. F- Jurássico Inferior dolomítico. G- Hetangiano-Triásico(?)- Complexo Margo-Carbonatado de Silves. H- Basaltos, basaltos doleríticos, basatinóides, etc. I- Limburgitos, ancaramitos, etc.

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

Durante o Jurássico, o enchimento sedimentar da bacia foi maioritariamente carbonatado. Depositaram-se, inicialmente, dolomias e calcários dolomíticos em contextos de planície litoral com lagunas e encharcamentos. Posteriormente, depositaram-se sucessões calcárias e margo-calcárias representativas de ambientes mais distais, com abundantes faunas marinhas, sobretudo no Toarciano inferior, em que os amonóides presentes permitem correlação com séries margo-calcárias da Bacia Lusitana (Pereira *et al.*, 2014).

No Algarve Ocidental, observam-se cinco unidades que se depositaram durante o Jurássico Inferior (Fig. 2.5), a saber, da mais antiga para a mais recente: “Complexo margo-carbonatado de Silves”, “Dolomitos e calcários dolomíticos de Espiche”, “Calcários dolomíticos com nódulos de sílex de Belixe”, “Calcário cristalino compacto de Belixe” e “Calcários margosos e margas de Armação Nova (e.g. Azeredo *et al.*, 2003; Terrinha *et al.*, 2012).

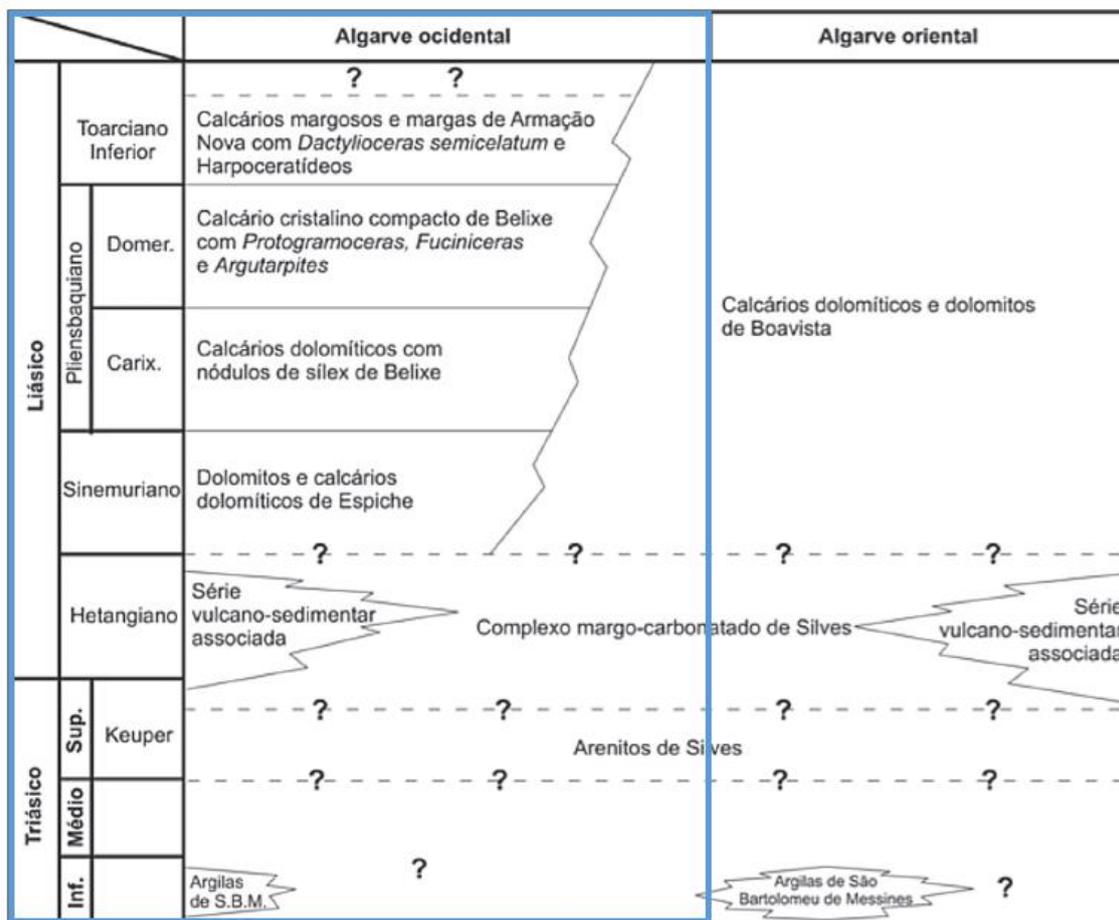


Figura 2.5. Unidades litostratigráficas do Triásico e Jurássico Inferior do Algarve. Com cercadura azul encontram-se as unidades da parte ocidental do Algarve. (segundo Terrinha *et al.*, 2012).

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

O “Complexo margo-carbonatado de Silves” (Rocha, 1976) corresponde a uma sucessão pelítica, margosa e calcário-dolomítica. Dentro da mesma ocorre ainda uma série vulcano-sedimentar com alternância de tufitos, cineritos, piroclastos e escoadas intercaladas em sedimentos sin-sedimentares. A idade deste complexo vai desde o Triásico Superior, estando depositada sobre os sedimentos do Grés de Silves, ao Hetangiano (Terrinha *et al.*, 2012).

Os “Dolomitos e calcários dolomíticos de Espiche” (Rocha, 1976) são geralmente maciços e finamente cristalinos, de idade sinemuriana, tendo em conta a sua posição relativa às unidades enquadrantes (Terrinha *et al.*, 2012).

A partir do Pliensbaquiano, a bacia começou-se a diferenciar em duas sub-bacias: Ocidental e Oriental. Na bacia Ocidental, a deposição de sedimentos foi de natureza marinha de plataforma externa. Foi neste ambiente que se depositaram as sucessões sedimentares representativas das restantes formações acima enunciadas. Os “Calcários dolomíticos com nódulos de sílex de Belixe” (Rocha, 1976) correspondem, como o nome indica, a calcários dolomíticos com leitões, nódulos, pseudo-nódulos e diques de cherte. A dolomitização desta Formação é secundária, pois ocorreu posteriormente a essa chertificação (Terrinha *et al.*, 2012).

O “Calcário cristalino compacto de Belixe” (Rocha, 1976) é constituído por calcários micríticos bem estratificados e de pouca espessura, datados através da presença de *Protogrammoceras* sp. e de *Argutarpites* sp.. A idade desta Formação corresponde ao Pliensbaquiano superior (Terrinha *et al.*, 2012).

Por fim, no que diz respeito ao Jurássico Inferior, ocorrem ainda os “Calcários margosos e margas de Armação Nova” (Rocha, 1976). Estes correspondem a uma unidade margo-carbonatada, ligeiramente detrítica, de cor amarela que deverá corresponder ao Toarciano (Terrinha *et al.*, 2012).

A passagem para o Jurássico Médio tem lugar através de um hiato extensível a toda a bacia. Durante este intervalo, ocorreu a deposição de sedimentos marinhos representativos de três formações na parte oeste da bacia, designadas respetivamente por: “Calcários oolíticos, calcários recifais, calcários pisolíticos, calcários calciclásticos, calcários dolomíticos e dolomitos de Almádena”, “Margas e calcários detríticos com *Zoophycos* de Mareta” e “Calcários margosos e margas de Mareta” (Fig. 2.6.) (Terrinha *et al.*, 2012).

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

		Algarve ocidental	Algarve oriental
Malm	Titoniano	Calcários com <i>Anchispirocyclina lusitanica</i> de Fontainhas	
	Kimmeridgiano	Calcários dolomíticos e dolomitos de Sagres	Calcários de Escarpão
		C. compactos e c. margosos c/ <i>A. jaccardi</i> de Tonel	C. dolomíticos de S. B. de Nexse
		C. margosos, margas e conglomerados de Tonel	C. dol. de S. B. de Nexse 1 C. c/ nódulos de sílex da Jordana 1
Oxfordiano	C. crinóidicos de Tonel	Calcários margosos e margas de Peral	
	C. c/ nódulos fosf. e ferrug. de Tonel	"C. hidráulicos" de Loulé	
Dogger	Caloviano	Calcários margosos e margas de Mareta	Calcários margosos e margas de Telheiro
	Batoniano	Margas e calc. detriticos c/ <i>Zoophycos</i> de Mareta	Calcários e margas de Guilhim
	Bajociano	Calcários oolíticos, c. recifais, c. pisolíticos, c. calciclásticos, c. dolomíticos e dolomitos de Almádena	Margas de Mealhas Calcários de Malhão
	Aaleniano		? ? Calc. dolomíticos e dolomitos de Boavista

Figura 2.6. Unidades litostratigráficas do Jurássico médio e superior do Algarve. A azul encontram-se as unidades da parte ocidental do Algarve (segundo Terrinha *et al.*, 2012).

A primeira formação representativa deste intervalo, os “Calcários oolíticos, calcários recifais, calcários pisolíticos, calcários calciclásticos, calcários dolomíticos e dolomitos de Almádena” (Rocha, 1976), apresenta, tal como o nome indica, intercalações de vários tipos de calcário e dolomias de plataforma interna, de idade Aaleniano a Caloviano (Terrinha *et al.*, 2012).

Por sua vez, as margas e calcários com *Zoophycos* de Mareta (Rocha, 1976) correspondem a litofácies margosas de tom cinza e a calcários detriticos de tom branco a amarelado, originários de paleoambiente de plataforma externa com bioconstruções recifais, mais tarde carsificadas, sendo as cavidades preenchidas por sedimentos mais recentes. Esta sucessão depositou-se entre o Bajociano superior e o Batoniano (Terrinha *et al.*, *op. cit.*).

Por fim, ainda durante o Jurássico Médio, depositaram-se as sucessões correspondentes aos “Calcários margosos e margas de Mareta” (Rocha, 1976) que correspondem a calcários margosos mais ou menos compactados dentro de uma sequência pelágica, que inicialmente é de origem margosa. Depositaram-se durante o Caloviano (Terrinha *et al.*, *op. cit.*).

Tal como se verifica na passagem para o Jurássico Médio, também se observa uma lacuna sedimentar na respetiva transição para o Jurássico Superior, extensível a

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

toda a bacia. Além disso, tal como no Jurássico Médio, também se verificam diferenças entre as duas sub-bacias (Terrinha *et al.*, 2012). Durante este intervalo teve lugar a deposição de materiais carbonatados correspondentes a seis formações, sendo que apenas a última tem representatividade ao longo de toda a bacia. Da mais antiga para a mais recente (v. Fig. 2.6):

Os “Calcários com nódulos fosfatados ou ferruginosos de Tonel” (Rocha, 1976) correspondem a calcários margosos compactos, lateralmente conglomeráticos e ricos em nódulos fosfatados ou ferruginosos, depositados durante o Oxfordiano médio (Terrinha *et al.*, 2012).

De seguida, na sequência, observam-se os “Calcários crinóidicos de Tonel” (Ramalho, Rocha e Marques, *in* Oliveira, 1982-83, 1984), que correspondem a uma série de calcários compactos, esbranquiçados e ricos em oólitos, dispostos em camadas espessas e ricas em crinoides, depositadas durante o Oxfordiano médio-Kimmeridgiano (Terrinha *et al.*, *op. cit.*).

Seguem-se os “Calcários margosos, margas e conglomerados de Tonel” (Ramalho, Rocha & Marques *in* Oliveira, 1982-83, 1984), unidade litostratigráfica que designa uma sucessão de calcários margosos micríticos com intraclastos e litoclastos, intercalados com margas e níveis conglomeráticos de idade kimmeridgiana (Terrinha *et al.*, 2012).

Quanto aos “Calcários compactos e calcários margosos com *Alveosepta jaccardi* de Tonel” (Rocha, *op. cit.*; Ramalho, Rocha e Marques, *in* Oliveira, *op. cit.*), estes correspondem a calcários micríticos e biomicríticos que, por vezes, se encontram separados por intercalações margosas. Estas camadas são ricas em fauna, apresentando elementos que permitem posicionar a sua idade dentro do Kimmeridgiano (Terrinha *et al.*, *op. cit.*).

Por sua vez, os “Calcários dolomíticos e dolomitos de Sagres” (Rocha, *op. cit.*; Ramalho, Rocha e Marques, *in* Oliveira, *op. cit.*) são constituídos por calcários compactos, de tom claro, intraclásticos, com uma dolomitização crescente da base para o topo, onde os estratos adquirem tons avermelhados. A sua idade relativa deverá situar-se entre o Kimmeridgiano e o Titoniano (Terrinha *et al.*, *op. cit.*).

Por fim, a culminar a sucessão jurássica, ocorre a unidade dos “Calcários com *Anchispyrocyclus lusitanica* de Fontainhas” (Rocha, *op. cit.*; Ramalho, Rocha e Marques, *in* Oliveira, *op. cit.*) que aparecem ao longo da bacia algarvia. Tratam-se de uma alternância de calcários compactos de cor creme, por vezes nodulosos, intraclásticos e oolíticos com níveis margosos e de calcários margosos. Têm idade titoniana (Terrinha *et al.*, *op. Cit.*)

O quadro estratigráfico correspondente às unidades do Cretácico é, aparentemente, menos diversificado do que o apresentado para o Jurássico, porque não houve uma subdivisão tão evidente da bacia durante esse novo intervalo. Também as lacunas evidenciadas são bastante mais extensas, por comparação com a sucessão correlativa do Cretácico Inferior da bacia Lusitaniana (Fig. 2.7). Para além disso, o Cretácico Superior apenas aflora no Algarve Oriental (Terrinha *et al.*, 2012). As formações foram divididas em três áreas de afloramento: Algarve ocidental, Algarve

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

central e Algarve oriental, sendo que apenas se dará ênfase à primeira, por ser nela que se localizam os afloramentos estudados neste trabalho (Terrinha *et al.*, *op. cit.*).

A disposição das sucessões de idade cretácica, bem como a sua natureza mais ou menos transgressiva ou regressiva, tiveram dupla influência: variações eustáticas do nível do mar, com várias descidas durante o Cretácico Inferior e subidas durante o Neocomiano e Cenomaniano, e a tectónica regional, com um regime transtensivo na parte oeste da bacia e implantação de corpos ígneos entre o Albiano e o Campaniano, com destaque para o maciço de Monchique (Rey *et al.*, 2006a).

A deposição de sedimentos durante este intervalo, ocorreu numa plataforma marinha costeira, com uma topografia geral de rampa carbonatada a mista e polaridade marinha para Sul. Os cortejos de fácies presentes nas diversas formações testemunham uma predominância de ambientes de plataforma interna a média, lagunares e marinhos (Rey *et al.*, 2006a). Estas unidades aparecem em afloramentos dispersos ao longo do *onshore* da bacia, nos quais as sucessões expostas podem atingir dezenas, ou mesmo, centenas de metros de espessura (Rey *op. cit.*).

Desta forma, no quadro litostratigráfico reconhecido para o Cretácico do Algarve ocidental, considera-se a existência de uma sucessão composta por oito formações, representativas da parte inferior e “média” deste intervalo: “fácies purbeckiana”, Almádena, Salema, Barrancão, Burgau, Luz e Porto Mós (Rey, 2006b).

A “fácies purbeckiana” (Rey, 1983) não é exclusiva de Portugal, pois aparece ao longo de várias bacias europeias na passagem do Jurássico para o Cretácico, com destaque para a Anglo-Parisiense, onde foi pela primeira vez reconhecida (Rey, 2006). A unidade correspondente no Algarve ocidental (“Margo-calcários de fácies *purbeck*”, Rey, 2006a) possui uma espessura de cerca de 30 m (Terrinha *et al.*, 2012) e é constituída por calcários micríticos, calcários *grainstone*, dolomias, calcários com intraclastos negros, margas, calcários grumosos e conglomerados intraformacionais. Através do conteúdo paleontológico, a idade atribuída a esta Formação é o Titoniano final – Berriasiano (Rey, *op. cit.*).

A passagem para a Formação de Almádena (Rey, 2006) é feita através de uma alteração brusca de litologias, de dolomias da “fácies purbeckiana” para calcários. Esta possui uma espessura superior a 20 m, mas apresenta espessuras e idades variáveis ao longo dos vários setores da orla algarvia. As litologias predominantes nesta Formação consistem em calcários oolíticos esbranquiçados, por vezes ricos de intraclastos e dispostos em estratos com espessura métrica. Estes calcários intercalam-se, também, com dois níveis margosos de tom cinza e forneceram elementos micropaleontológicos compatíveis com o Berriasiano médio (Rey, 2006b).

A passagem para a Formação de Porches (Rey, *op. cit.*) é reconhecida através de uma variação mais significativa das fácies carbonatadas presentes, as quais passam de calcários brancos dispostos em bancos massivos, típicos da unidade anterior, para calcários de tom amarelado, organizados em bancos finos e ondulados. Possui uma espessura total de 23 m. As litologias dominantes consistem em calcários e calcários argilosos, micríticos a esparríticos, com tons amarelados a violetas e intercalados com margas cinza, verdes ou violeta. Os estratos possuem espessuras centimétricas a decimétricas e estrutura ondulada, com frequentes laminações. Através do conteúdo

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

paleontológico foi possível determinar uma idade entre o Berriasiano terminal e o Valanginiano basal para este conjunto (Rey, 2006b).

A passagem para a Formação de Salema (Rey, *op. cit.*) é feita através de uma superfície de discordância, associada a uma lacuna consentânea com o Valanginiano superior e Hauteriviano inferior. Esta unidade apenas se pode observar no Algarve ocidental, apresentando uma espessura total de 40 m. As suas litofácies dominantes são constituídas por calcários micríticos, dolomíticos ou areníticos, de tom amarelado a creme, frequentemente bioturbados, dispostos em bancos finos ondulados, por vezes com pegadas de sáurios, alternando com margas beges, cinza ou castanhas. A idade da sucessão da Formação de Salema estará compreendida entre o Hauteriviano superior ao Barremiano inferior (Rey, *op. cit.*). Esta unidade será abordada com maior detalhe no capítulo 4 do presente estudo.

A Formação que se segue na sucessão cretácica é a do Barrancão. A passagem a esta unidade, na sua base, é feita através de uma superfície de ravinamento, associada a uma discordância angular. Possui uma espessura máxima próxima de 10 m e é constituída por margas cinzas ou verdes com nódulos de calcários grumosos, dolomias brancas e vermelhas com estratificação oblíqua e calcários dolomíticos e areníticos, por vezes conquíferos, de tons cinza claro. A idade desta Formação é atribuída ao Barremiano superior (Rey, 2 *op. cit.*).

Segue-se a Formação de Burgau (Rey, *op. cit.*), a qual se inicia através de uma superfície basal de progradação, associada a uma variação litológica brusca, ao passar de dolomias para calcários gresosos com estrutura interna oblíqua. Possui cerca de 28 m de espessura máxima. É caracterizada pela presença de calcários gresosos maciços, amarelados, com estratificações oblíquas, passando para o topo a apresentar maior conteúdo detrítico, com a presença de grés-calcários e grés intercalados, por vezes, com argilas. A idade desta Formação é atribuída ao Aptiano inferior (Rey, *op. cit.*).

A Formação de Luz (Rey, *op. cit.*) inicia-se através de uma espessa crosta ferruginosa que cobre o topo da Formação de Burgau. Possui cerca de 140 m de espessura e é caracterizada por um espesso pacote de margas argilosas policrómicas, que são intercaladas por calcários margosos e que, em alguns estratos, possuem restos de lignite. Também se observam alguns arenitos finos ao longo da sequência. A idade atribuída a esta unidade é o Aptiano inferior a superior (Terrinha *et al.*, 2012). Tal como a Formação de Salema, este pacote de sedimentos terá um maior desenvolvimento no capítulo 4.

A última unidade integrante do Cretácico Inferior do Algarve ocidental é a Formação de Porto de Mós (Rey, *op. cit.*). A passagem para este último corpo é gradual, deixando-se de se observar margas vermelhas ou violetas e começando a aparecer calcários argilosos interestratificados com margas de tom cinza (Rey, *op. cit.*). A Formação tem cerca de 120 m de espessura máxima (Rey, *op. cit.*) e é constituída por alternâncias de margas argilosas verdes ou cinzentas, margas cinzentas com nódulos de calcário e calcários margosos amarelos ou cinzentos (Terrinha *et al.*, 2012) dispostos em bancos decimétricos a métricos (Ramalho & Rey, 1981). A idade atribuída a esta Formação é o Aptiano final a Albiano (Rey, *op. cit.*).

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
 ocidental: as formações de Salema e da Luz

AGES	ALGARVE OCCIDENTAL	ALGARVE CENTRAL
ALBIEN	sup.	
	moy.	
	inf.	
	PORTO DE MÓS	
		PORTO DE MÓS
APTIEN	sup.	LUZ
	inf.	BURGAU
	BARRANÇÃO	BARRANÇÃO
BARREMIEN	sup.	
	inf.	
	SALEMA	
HAUTERIVIEN	sup.	?
	inf.	
VALANGINIEN	sup.	
	inf.	
	PORCHES	PORCHES
		?
BERRIASIEN	sup.	FONTES DA MATOSA
	moy.	?
	inf.	ALMÁDENA
	ALMÁDENA	
	PURBECKIEN	PURBECKIEN
TITHONIEN <i>pro-parte</i>	?	?

Figura 2.7. Unidades litostratigráficas do Cretácico na da bacia do Algarve. A azul encontram-se as unidades da parte ocidental do Algarve (segundo Rey, 2006).

### **3. Metodologia**

#### 3.1 Metodologia de Campo

Os levantamentos de campo foram efetuados nas praias da Salema e da Luz, com o objetivo de investigar a Formação de Salema e a Formação de Luz, respetivamente. Este trabalho foi realizado entre os dias 19 e 23 de outubro de 2015 e consistiu na amostragem, registo fotográfico e a elaboração de perfis estratigráficos.

Na praia da Salema, como já havia um perfil traçado previamente para a Formação de Salema, procedeu-se a uma caracterização das fácies sedimentares, a par do seu registo fotográfico e recolha de amostras de carácter margoso. Na praia da Luz foi levantado um perfil estratigráfico completo, exercício durante o qual se procedeu à recolha de amostras de carácter margoso e ao registo fotográfico.

No total foram recolhidas 53 amostras de níveis margosos e argilosos das duas formações.

#### 3.2 Metodologia Laboratorial

A primeira fase do trabalho laboratorial consistiu na seleção de amostras dos dois perfis. Do total de 53 amostras, foram selecionadas 29 amostras para análise química e 30 para difração de raios-X. Com esta seleção procurou-se obter um número representativo de amostras que permitisse entender a variabilidade composicional em função das fácies sedimentares e do intervalo estratigráfico. Nesse sentido, amostras semelhantes e colhidas em níveis estratigráficos próximos foram consideradas redundantes, não sendo escolhidas para análise composicional.

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

Inicialmente, as amostras foram partidas com o auxílio de um martelo. Nesta etapa, tendo em conta a dureza das amostras, foram identificadas as que necessitavam de descarbonatação. Estas últimas tiveram que ser moídas num moinho, até atravessarem num crivo de 125  $\mu\text{m}$ . Posteriormente, eram colocadas numa solução de ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) a 15% (Fig. 3.1). As amostras eram depois agitadas e o ácido era mudado diariamente. Este procedimento durava vários dias e terminava quando as amostras deixassem de reagir com a adição de ácido. Depois as amostras eram lavadas com água destilada. A fase seguinte consistia em fazer a amostra atravessar um crivo de 63  $\mu\text{m}$ .

As amostras que não necessitavam de descarbonatação, depois de partidas com o auxílio do martelo, eram colocadas num agitador com água para promover a sua dispersão. Posteriormente, as amostras eram passadas por um crivo de 63  $\mu\text{m}$ .

A partir do momento em que as amostras atravessavam o crivo de 63  $\mu\text{m}$ , elas eram tratadas de maneira igual, independentemente de terem sido, ou não, objeto de descarbonatação. Uma sub-amostra ia para secagem enquanto da outra procedia-se à separação da fração inferior a 2  $\mu\text{m}$ .

A sub-amostra que ia para secagem era colocada numa cápsula de porcelana, procedendo-se à evaporação num banho de areia ou ao ar em condições naturais (Fig. 3.1). Depois de secas foram colocadas em tubos de ensaio e recambiadas para os laboratórios da ACME-Canadá para análise química. A análise química nestes laboratórios foi feita segundo o protocolo LF 202.

As sub-amostras para separação da fração inferior a 2  $\mu\text{m}$  foram deixadas a agitar em água até que fiquem suspensas. Quando se observavam sinais de floculação, as amostras foram lavadas e, no caso de apresentarem pH baixo, foram adicionadas algumas gotas de amónia a 10% para tornar as suspensões neutras. Após se obterem boas suspensões as amostras eram colocadas na centrífuga para separação por gravimetria segundo a lei de Stokes da fração inferior a 2  $\mu\text{m}$ . Quando as amostras eram retiradas da centrífuga, o material suspenso no líquido era colocado num copo e posteriormente, com auxílio de uma pipeta, deixado a sedimentar numa lâmina, previamente limpa com acetona. Assim que o material das lâminas estava seco era levado para análise de raios-X, no aparelho Philips PW 37-10 com radiação de Cu, no Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra.



Figura 3.1. Processo de descarbonatação com ácido acético a 15 % das amostras (à esquerda) e processo de secagem no banho de areia (à direita).

### 3.3 Análise de dados

Neste trabalho os dados foram analisados a diversas escalas: desde a maior (que engloba as duas formações abordadas neste trabalho), passando por uma intermédia (que aborda a formação da Salema e as margas da Luz) até à escala menor (que engloba as fácies identificadas nas duas formações).

No que respeita à composição química, foi feita uma seleção preliminar dos elementos e amostras a usar. Os elementos que apresentavam valores de concentração muito próximos do limite de deteção dos métodos analíticos não foram considerados na descrição e interpretação dos resultados obtidos. Dos 58 elementos facultados pelo laboratório, 40 foram selecionados ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}_t$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ , Rb, Cs, Sr, Ba, Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Th, U, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Co, Ni, Zn, Ga e Pb). Algumas amostras possuíam grande conteúdo em CaO, indicando uma má descarbonatação das mesmas. Apesar de não terem sido convenientemente descarbonatadas, estas amostras não foram rejeitadas, optando-se por não adotar índices que podem dar resultados enganadores devido à presença de material carbonatado. Para a representação gráfica de alguns conjuntos de elementos estes foram previamente normalizados com as concentrações do condrito (extraídos de Taylor e McLennan, 1985) e da crosta continental superior (extraídos de “EarthRef.org Database Team”, 2017).

Adotaram-se técnicas de análise estatística univariada, bivariada e multivariada. Na multivariada procedeu-se, à análise de componentes principais (ACP) para os

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

elementos maiores e para os elementos imóveis. Com o objetivo de limitar o problema de o somatório dos dados composicionais serem uma constante (100%), estes foram previamente sujeitos à transformação clr (*center log ratio*), como sugerido por Aitchison (1986). Nesse sentido, a concentração de cada elemento foi transformada num valor  $y$  segundo a fórmula:

$$y = \ln(x/g(x)),$$

em que  $x$  corresponde à concentração desse elemento na amostra e  $g(x)$  corresponde à média geométrica do elemento na população amostrada.

Para o material argiloso, os dados foram analisados e aplicou-se o índice de ponderação de Biscaye. Os resultados apresentados ao longo do trabalho terão isso em consideração.

A apresentação de resultados ao longo do trabalho englobará produtos obtidos através do programa Microsoft Excel e ANDAD (Sousa e Sousa, 2000).

## 4. Perfis estratigráficos

### 4.1. Formação de Salema

#### 4.1.1 Descrição do perfil

O primeiro perfil estratigráfico estudado, correspondente à Formação de Salema, respeita a um extenso afloramento existente nas arribas da praia da Salema. Como já referido no capítulo 2, esta aldeia e o seu espaço litoral encontram-se inseridos no concelho de Vila do Bispo. As coordenadas do ponto médio do troço de arriba amostrado são: Lat. 37°3'56.60" N e Long. 008°49'13.37" W.

As arribas da praia da Salema encontram-se bem conservadas, propiciando uma observação contínua dos estratos levemente basculhados para sudeste, apesar de atualmente se encontrarem a ser erodidas pela ação continuada da abrasão marinha. Ao contrário do que sucedia há uns anos atrás, a observação direta destas arribas litorais apenas é hoje possível durante a baixa-mar.

A espessura do perfil é de 56,65 m, um pouco maior do que a registada na bibliografia (cerca de 40 m) (Rey, 2006b), ao que corresponde uma extensão de cerca de 200 m ao longo da frente da arriba. Apesar da sua espessura e de haverem boas

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

condições de observação no local, esta unidade apenas é observada no Algarve ocidental, o que pressupõe uma extensão lateral relativamente limitada.

A passagem para a Formação de Salema é feita através de uma superfície de discordância, associada a uma lacuna consentânea com o Valanginiano superior e Hauteriviano inferior (Rey, 2006b).

Esta Formação é uma das unidades estratigráficas mais representativas do Hauteriviano e Barremiano do Algarve. As suas litofácies dominantes são constituídas por calcários micríticos, dolomíticos ou areníticos, de tom amarelado a creme, frequentemente bioturbados, dispostos em bancos finos ondulados, por vezes com pegadas de sáurios, alternando com margas beges, cinza ou castanhas. Foram definidos nove litótipos para o conjunto da sucessão observada, que serão definidos no próximo subcapítulo.

O Cretácico “médio” é geralmente referido como um período de calor extremo global e representa um dos melhores exemplos de condições de efeito de estufa no registo geológico (Heimhofer *et al.*, 2008). Foi nestas condições que se depositaram as sequências sedimentares analisadas ao longo deste trabalho.

A deposição de sedimentos terá tido início através de sequências de carbonatos de plataforma marinha interna, as quais mudaram gradualmente para carbonatos de plataforma interna marginal, representados por níveis dolomíticos e litofácies mistas, com elementos tradutores de ambientes salobros (Santos *et al.*, 2013).

Tal como a da unidade da praia da Luz, esta sucessão também se deverá ter depositado num período de intenso aquecimento global.

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

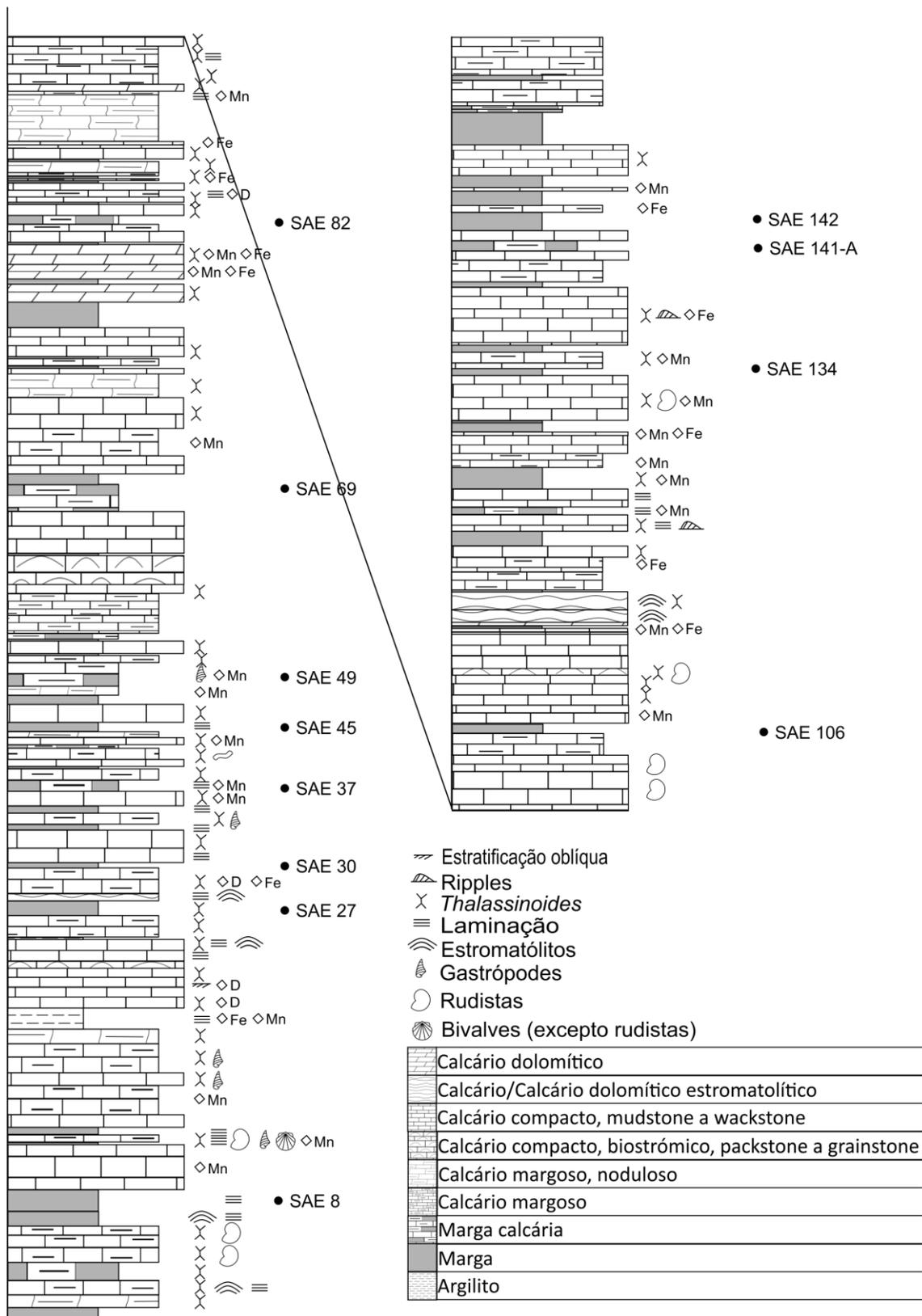


Figura 4.1. Perfil estratigráfico correspondente à Formação de Salema.

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

4.1.2 Descrição das fácies

4.1.2.1 Calcário dolomítico, compacto, massivo de tom amarelo/ocre (S1)

Fácies constituída por calcários de natureza dolomítica, compactados, massivos de tons amarelados a ocre. Esta fácies possui maior importância no topo da sequência. As camadas encontram-se, com alguma frequência, bioturbadas e com *Thalassinoides*. Com pouca frequência aparecem superfícies de *hardground*, laminações e fácies salobras na sequência. A espessura destas camadas é variável, podendo ir dos 0,10 até aos 1,60 metros.

4.1.2.2 Calcário/ Calcário dolomítico estromatolítico (S2)

Fácies constituída por calcários e calcários dolomíticos estromatolíticos. Tendencialmente possuem uma cor cinza ou castanha. As camadas desta unidade apresentam bioturbação e laminação associada a atividade microbiana. As espessuras das camadas são pouco variáveis e podem ir dos 0,20 aos 0,35 metros.

4.1.2.3 Calcário compacto, massivo, de tom amarelado a acinzentado; *mudstone* a *wackestone* (S3)

Fácies constituída por calcários compactos, massivos, de tom amarelado a acinzentado. Esta fácies apresenta texturas tipo *mudstone* a *wackestone* segundo a classificação de Dunham. As camadas desta fácies apresentam com elevada frequência bioturbação, laminação e pistas de *Thalassinoides*. Com menor frequência, apresenta nódulos, espécies de ambientes salobros e *ripples*. A espessura das camadas varia dos 0,10 aos 1,30 metros.

4.1.2.4 Calcário compacto, amarelado a acinzentado, biostrómico (rudistas); *packstone* a *grainstone* (S4)

Fácies constituída por calcários compactos, de cor amarelada a acinzentada com biostromas de rudistas. Apresenta texturas *packstone* e *grainstone*, de acordo a classificação de Dunham. Apresenta, com alguma frequência, estruturas granocrescentes, granodecrescentes e estratificação oblíqua. Numa camada observaram-se biohermes. A espessura das camadas varia dos 0,20 até a 0,80 metros.

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

4.1.2.5 Calcário margoso, noduloso, amarelado a acinzentado (S5)

Fácies constituída por calcários margosos, nodulosos de cor amarelada a acinzentada. Estas camadas são frequentemente bioturbadas e ricas em bioclastos. Tanto podem ser compactos como laminados. Por vezes, aparecem níveis ricos em *Thalassinoides*. A espessura varia dos 0,15 aos 1,30 metros.

4.1.2.6 Calcário margoso, amarelado a acinzentado (S6)

Fácies caracterizada pela presença de calcários margosos, de cor amarelada a acinzentada. As camadas desta fácies aparecem mais frequentemente laminadas, apesar de com elevada frequência aparecerem compactadas. Frequentemente bioturbadas podem apresentar bioclastos e *Thalassinoides*. Numa camada observa-se estruturas trativas e pouco bioturbação associada a ambientes energéticos. A espessura destas camadas varia entre 0,10 a 0,90 metros.

4.1.2.7 Marga calcária (S7)

Fácies caracterizada pela presença de margas calcárias de cor amarela a cinza, mais raramente acastanhada. As camadas apresentam-se com estrutura interna laminada, mas para o topo, por vezes, passam a ser massivas. Podem apresentar tetos erosivos. A espessura varia 0,10 a 0,75 metros.

4.1.2.8 Marga (S8)

Fácies constituída por margas de cor cinza, com menos frequência amarelada e castanha, laminadas. Podem possuir bioclastos e nódulos na sua estrutura. Por vezes, apresentam intraclastos, pistas e laminações estromatolíticas. Têm uma espessura que varia dos 0,05 aos 0,70 metros

4.1.2.9 Argilitos (S9)

Fácies constituída pela presença de argilas laminadas e nodulares de cor verde. Possuem uma espessura que varia dos 0,05 aos 0,60 metros.

## 4.2. Formação de Luz

### 4.2.1 Descrição do perfil

O perfil em estudo (Fig. 4.2) corresponde a um levantamento estratigráfico da Formação de Luz (Rey, 2006b) na sua área tipo, a qual se encontra localizada na enseada da Luz, localidade pertencente ao concelho de Lagos. Como já se referiu anteriormente, a observação da sucessão representativa desta unidade foi efetuada ao longo da margem litoral desta localidade. As coordenadas do ponto médio do troço de arriba amostrado são: Lat. 37°5'11.05"N e Long. 008°43'15.20"W.

A arriba encontra-se bem conservada, propiciando um cenário de rara beleza em que estratos coloridos de tons avermelhados e esverdeados alternam ao longo da enseada, sendo cortados no seu extremo oriental por um corpo magmático.

A extensão do perfil é de 33,92 m, diferente dos valores da bibliografia (140 m) (Terrinha *et al.*, 2012), o que era expectável uma vez que o perfil apenas foi amostrado na parte mais basal. Ao contrário da Formação de Salema, esta unidade pode ser observável em toda a bacia.

Este corpo inicia-se através de uma espessa crosta ferruginosa que cobre o topo da Formação subjacente (Terrinha *et al.*, 2012).

A idade desta unidade é o Aptiano inferior a superior (Rey, 2006b). O cortejo de litofácies desta Formação é caracterizado pela presença de um espesso pacote de margas argilosas policrómicas, que são intercaladas por calcários margosos e que em alguns estratos possuem restos de lignite. Também se observam alguns arenitos finos ao longo da sequência (Rey, 2006b; Terrinha *et al.*, 2012).

Dadas as características das fácies presentes, que passaremos a descrever, a sucessão sedimentar representativa desta Formação tem vindo a ser interpretada como indicadora de deposição em meio laguno-lacustre de baixa energia (Rocha, *et al.*, 1983).

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
 ocidental: as formações de Salema e da Luz

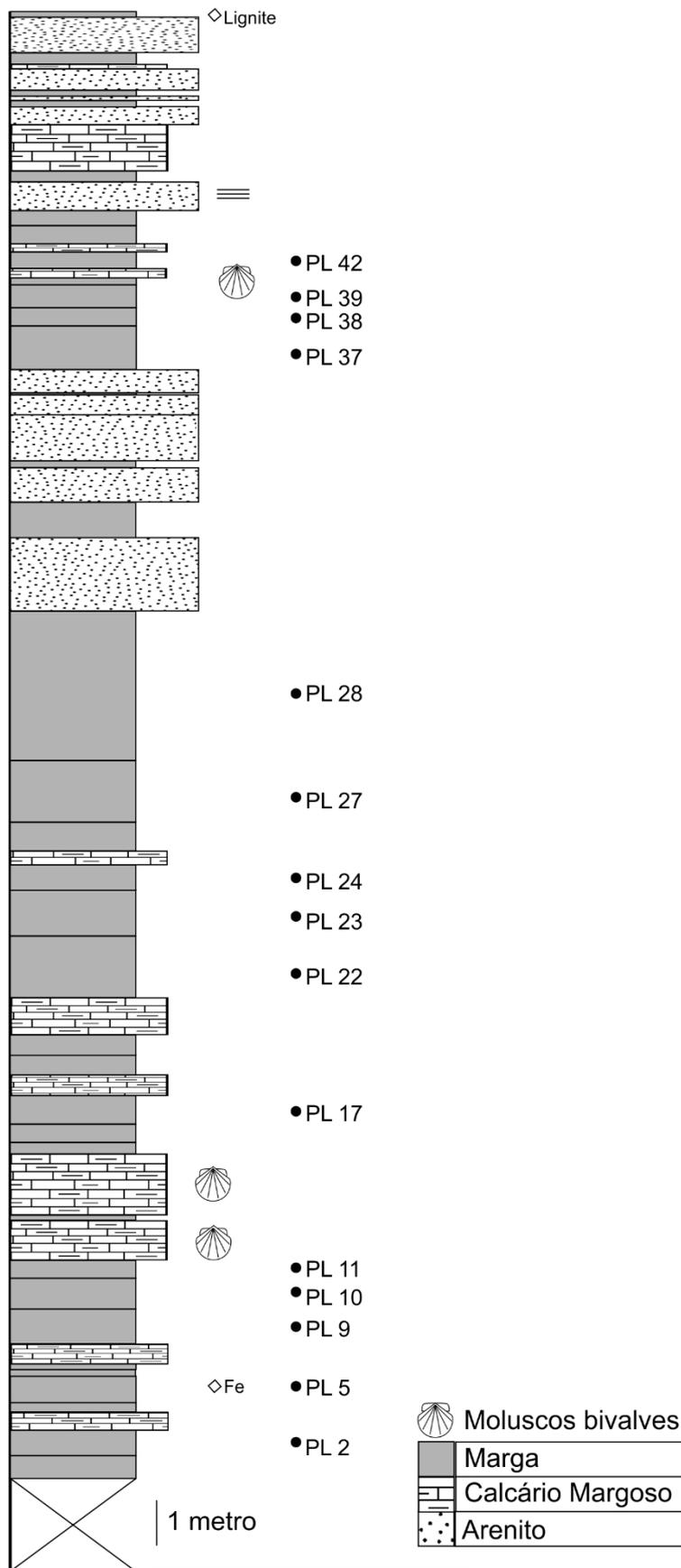


Figura 4.2. Perfil estratigráfico correspondente à Formação de Luz.

#### 4.2.2 Descrição das fácies

##### 4.2.2.1 Calcário cinza bioclástico (L1)

Fácies constituída por calcários maciços de tom cinzento claro. O estrato é bastante fossilífero, com destaque para grandes moldes articulados do molusco bivalve marinho infaunal *Pholadomya* sp. Como este estrato apenas se localiza na base da sucessão estudada e apenas se observa o seu topo, não foi possível medir-se a sua espessura total.

##### 4.2.2.2 Calcário margoso (L2)

Fácies constituída por calcário margoso de tom cinza claro. Apesar de serem deste tom, os estratos correspondentes apresentam também, por vezes, tons amarelados ou avermelhados. São grumosos, principalmente na parte inferior do perfil, e maciços. Em alguns estratos observam-se microrestos de invertebrados, a par de pequenos moldes de moluscos bivalves, nomeadamente corbulídeos e venerídeos, os quais poderão indicar a prevalência de um ambiente salobro. As espessuras destes estratos variam consideravelmente, situando-se entre 0,18 e 1,33 metros.

##### 4.2.2.3 Margas de cor vermelha (L3)

Litofácies constituída por margas de cor vermelha, podendo ter uma tonalidade mais clara ou mais escura. Possuem uma estrutura interna tendencialmente maciça. Estas são bastante friáveis, por vezes com grumos e óxidos de Ferro. Os estratos correspondentes aparecem com maior frequência na base do perfil estratigráfico. A sua espessura é bastante variável, situando-se entre 0,13 e 2,70 metros.

##### 4.2.2.4 Margas de cor cinza/verde (L4)

Litofácies constituída por margas de tom cinza a esverdeado. Possuem tendencialmente uma estrutura interna maciça. Em grande parte dos estratos são friáveis, assim como nas amostras recolhidas. Além disso, em alguns estratos apresentam grumos e tons amarelados. A espessura é muito variável e situa-se entre 0,12 e 2,00 metros.

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

4.2.2.5 Margas de cor castanha/violeta (L5)

Litofácies caracterizada pela presença de margas de cor castanha. Os estratos destas fácies apresentam, por vezes, superfícies de alteração de cor violeta. Estes são bastante friáveis. A espessura varia consideravelmente, dos 0,5 aos 3,25 metros.

4.2.2.6 Margas de cor preta (L6)

Litofácies caracterizada pela presença de margas de cor preta, por vezes com tons esverdeados nas superfícies de alteração. Possuem tendencialmente uma estrutura interna maciça. Apenas presente na parte final do perfil estratigráfico, caracteriza-se, também, pela presença de pequenos fragmentos de lignite. A espessura dos estratos varia de 0,12 a 0,23 metros.

4.2.2.7 Arenito de grão fino a muito fino (L7)

Litofácies constituída por arenitos finos a muito finos de tom esbranquiçado, acinzentado ou avermelhado, podendo muitas vezes possuir, além destes, tons amarelados. São tendencialmente compactos e, mais raramente, laminados. Esta litofácies apenas aparece na parte superior do perfil estratigráfico. A sua espessura varia entre os 0,10 e os 1,60 metros.

## 5. Resultados composicionais

### 5.1 Formação de Salema

#### 5.1.1 Minerais de argila

Para a Formação de Salema foram preparadas 13 lâminas sedimentadas da fração argilosa. As amostras apresentam apenas mica-ilite e caulinite. As percentagens de mica-ilite variam entre os 76 % e os 100 %, tendo como valor médio 92 %, enquanto a média para a caulinite é de 8 %.

Nesta Formação foram amostradas duas fácies: as margas calcárias amareladas/acinzentadas S7 (4 amostras) e as margas laminadas de tom cinza/amarelado S8 (9 amostras). As margas calcárias amareladas/acinzentadas são muito ricas em ilite (84-97 %), com um valor médio de 92 %. A fácies das margas laminadas de tom cinza/amarelado apresentam maiores variações na percentagem de argilas, com a mica-ilite a variar entre os 100 e os 76 % (média de 91 %). Não se notam, pois, diferenças significativas entre fácies, verificando-se apenas maior variabilidade nas margas laminadas de tom cinza/amarelado.

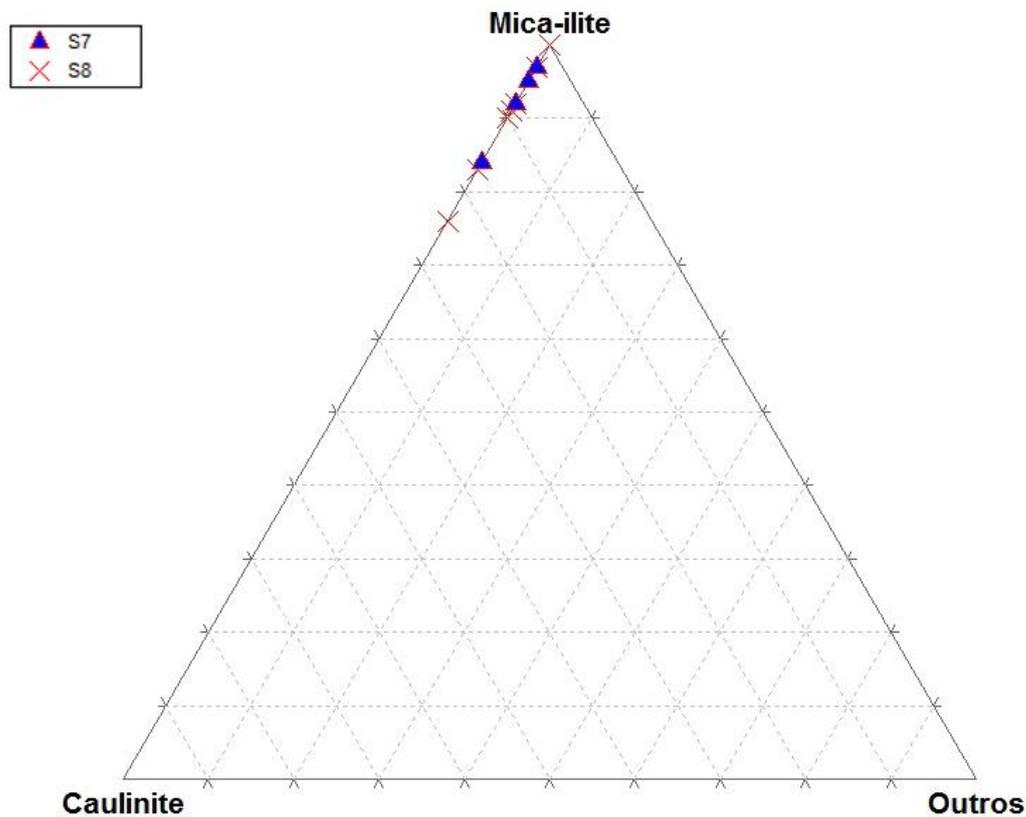


Figura 5.1. Diagrama *triplot* com a representação das duas fácies da formação da Salema.

## 5.1.2 Geoquímica

### 5.1.2.1. Elementos maiores

Esses valores foram normalizados para os valores de composição da crosta continental superior (UCC), sendo expressos nos gráficos abaixo. No que respeita aos elementos maiores, as unidades margosas e argilosas da Formação de Salema estão muito empobrecidas em  $\text{Na}_2\text{O}$  (0,05-0,08) e apresentam um ligeiro empobrecimento em  $\text{SiO}_2$  (0,36-0,87). Por outro lado, estes sedimentos são, na sua maioria, enriquecidos em  $\text{MgO}$  (0,81-2,09) e  $\text{K}_2\text{O}$  (0,93-2,18). As concentrações de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (0,62-1,42) e de  $\text{TiO}_2$  (0,66- 1,58) tanto podem ser superiores como inferiores às da UCC.

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

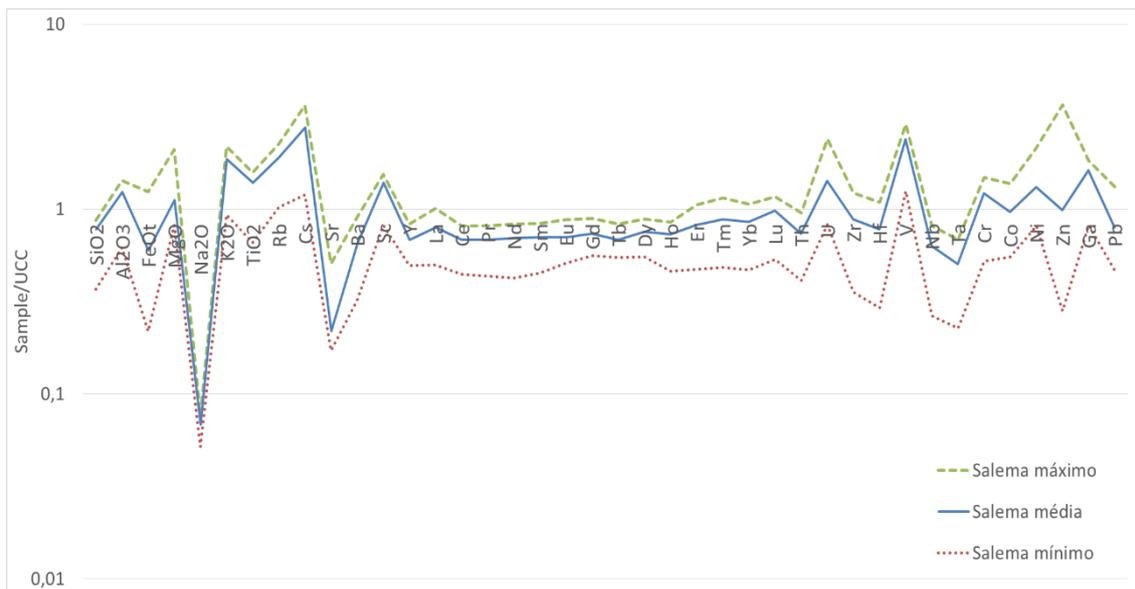


Figura 5.2. Gráfico dos parâmetros estatísticos das amostras da formação da Salema. No gráfico estão expressos os valores máximos, mínimos e médios da formação.

#### 5.1.2.2. Elementos menores

Em termos de elementos menores, quando comparadas com a UCC, as amostras são sempre enriquecidas em Rb (1,02-2,26), Cs (1,19-3,62) e V (1,25-2,89) e empobrecidas em Sr (0,51-1,71), Ba (0,32-0,90), Y (0,50-0,83), Th (0,41-0,95), Nb (0,26-0,81) e Ta (0,23-0,68). Reconhecem-se níveis variáveis de enriquecimento ou empobrecimento em Cr (0,52-1,49), Sc (0,82-1,55), U (0,82-2,39), Zn (0,28-3,64), Co (0,55-1,37), Ni (0,81-2,15), Ga (0,82-1,83), Zr (0,35-1,22), Hf (0,29-1,09) e Pb (0,47-1,32). Nas terras raras verifica-se em geral um empobrecimento em relação à UCC. Nas terras raras pesadas é mais comum encontrar elementos com ligeiros enriquecimentos.

#### 5.1.2.3. Terras raras

O somatório das terras raras leves varia de 108,43 a 207,65. O somatório das terras raras pesadas varia entre os 32,67 a 61,23. Por fim, o somatório das terras raras varia bastante entre as amostras, possuindo uma gama de valores que vai dos 162,14 a 304,94. As amostras desta formação apresentam um grande fracionamento das terras raras ( $6,58 < La/Yb < 9,84$ ). Além disso, também apresentam um maior fracionamento das

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

terras raras leves ( $4,00 < \text{La}/\text{Sm} < 5,19$ ) do que das terras raras pesadas ( $0,98 < \text{Gd}/\text{Yb} < 1,68$ ). Em todas as amostras verifica-se uma pequena anomalia de európio ( $0,47 < \text{Eu}/\text{Eu}^* < 0,94$ ).

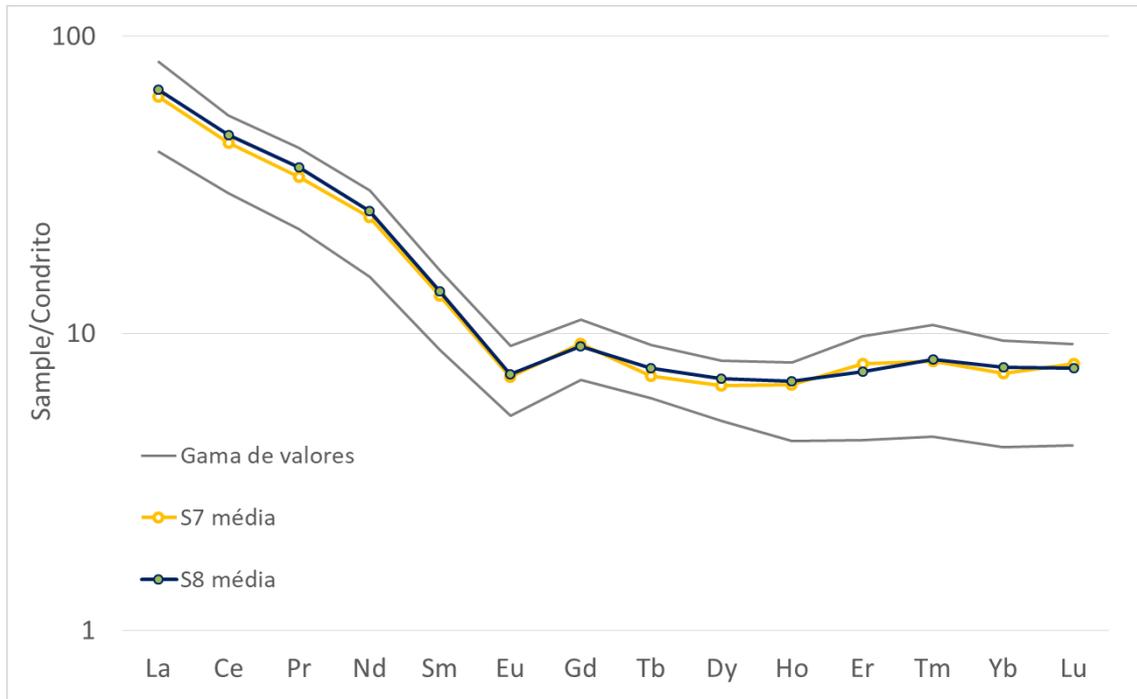


Figura 5.3. Gráfico de terras raras com a gama de valores da formação e os valores médios das fácies S7 e S8.

Através da construção do gráfico La/Sm vs. Gd/Yb foi possível concluir que as amostras da fácies S7 da Formação de Salema possuem valores relativamente semelhantes quando comparados com a fácies S8. Além disso, se não considerarmos uma amostra (SAE 142), esta fácies apresenta valores de Gd/Yb tendencialmente menores que a fácies S7.

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretáceo Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

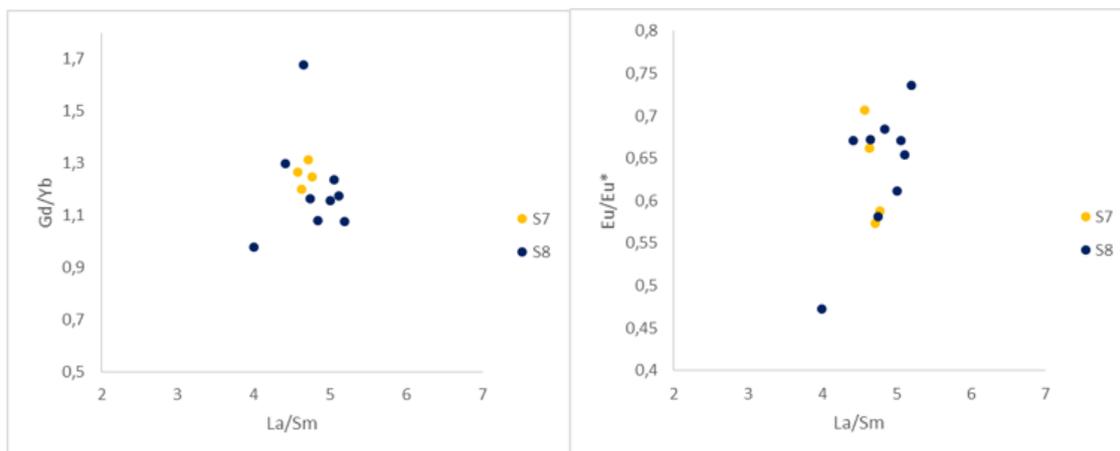


Figura 5.4. Gráficos de terras raras La/Sm vs. Gd/Yb e La/Sm vs Eu/Eu\* para as duas fácies analisadas na formação da Salema.

Os gráficos com a projeção dos índices de fracionamento La/Sm contra a anomalia Eu/Eu\* (Fig. 5.4) mostram que as amostras possuem valores relativamente idênticos, com exceção da amostra SAE 106, que se destaca pelos valores mais baixos de Eu/Eu\*.

### 5.1.3 Diferenças entre fácies

As concentrações médias de MgO, Sr e Co são ligeiramente maiores em S8 que em S7. Por outro lado, observam-se ligeiramente maiores teores de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, Rb, Cs, Ta, Cr, Ga, Th e da maioria das terras raras em S7 do que em S8. Contudo, as duas fácies são muito semelhantes.

Os valores das médias das fácies são relativamente idênticos para as terras raras. Observa-se que os valores de S8 são ligeiramente maiores que S7 para o La, Ce, Pr, Nd, Sm, Tb, Dy e Yb. Por outro lado, os valores de S7 são ligeiramente maiores do que S1 no Er e no Lu. A presença de uma amostra anormalmente pobre em terras raras justifica que os valores médios se encontrem mais próximo dos valores máximos da fácies do que dos mínimos. É de referir que os valores mínimos ditados por esta fácies, tal como na formação, correspondem a valores de uma amostra, a SAE 142. A fácies S7 possui uma gama de valores menor. Nesta fácies observa-se em duas amostras, uma anomalia positiva de túlio.

## 5.2 Formação de Luz

### 5.2.1 Minerais de argila

Para a Formação de Luz foram elaboradas 17 lâminas sedimentadas de minerais de argila. Apenas foi encontrado mica-ilite e caulinite. A unidade apresenta uma maior variabilidade em termos de percentagem de minerais de argila do que a Formação de Salema. Algumas amostras apenas possuem mica-ilite, enquanto noutras observam-se valores de caulinite superiores a 50 %.

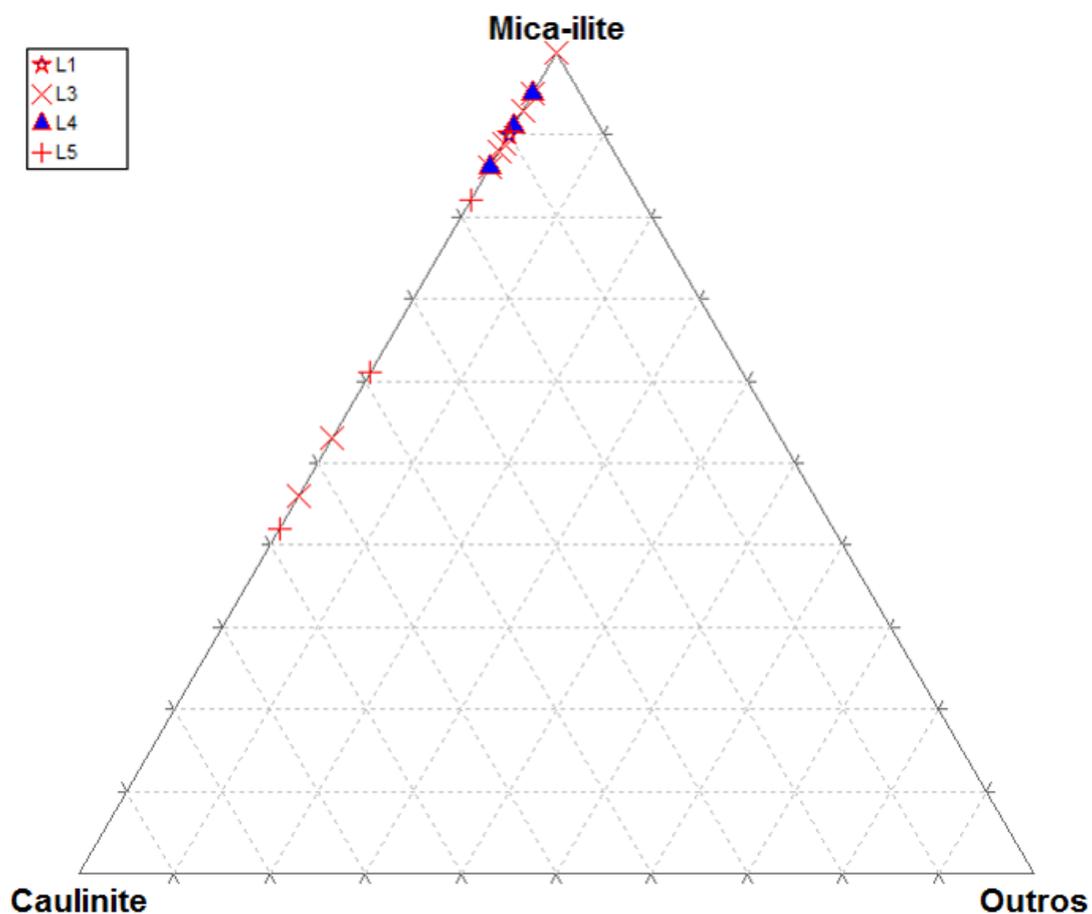


Figura 5.5. Diagrama *triplot* com a representação das quatro fácies analisadas em termos de minerais de argila da Formação de Luz.

As amostras margosas que foram analisadas nesta unidade correspondem a quatro fácies anteriormente descritas: calcário cinza bioclástico (L1), margas de cor vermelha (L3), margas de cor cinza/verde (L4) e as margas de cor castanha/violeta (L5).

## Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve ocidental: as formações de Salema e da Luz

Para a fácies L1 foi analisada uma amostra que apresentava 90 % de mica-ilite e 10 % de caulinite. Para a fácies L3 foram analisadas 8 amostras. Nesta os valores de mica-ilite vão de 100 % aos 46 % (média de 81 %). A fácies L4 (5 amostras) apresenta uma menor, sendo tendencialmente mais rica em mica-ilite (86-95, com valor médio de 92 %). Por último, a fácies L5 (três amostras) é caracterizada por proporções mais baixas de mica-ilite (42-82 %, valor médio de 62 %).

### 5.2.2 Geoquímica

#### 5.2.2.1. Elemento maiores

Em termos de elementos maiores, quando comparadas com a UCC, as Margas da Luz são muito empobrecidas em  $\text{Na}_2\text{O}$  (0,04-0,07) e, em geral, moderadamente empobrecidos em  $\text{MgO}$  (0,43-0,72),  $\text{SiO}_2$  (0,47-1,05) e  $\text{FeO}_t$  (0,20-1,03). Observa-se geralmente um enriquecimento moderado em  $\text{TiO}_2$  (0,94-1,72) e em  $\text{K}_2\text{O}$  (0,80-1,77), e valores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  comparáveis à UCC (0,71-1,27).

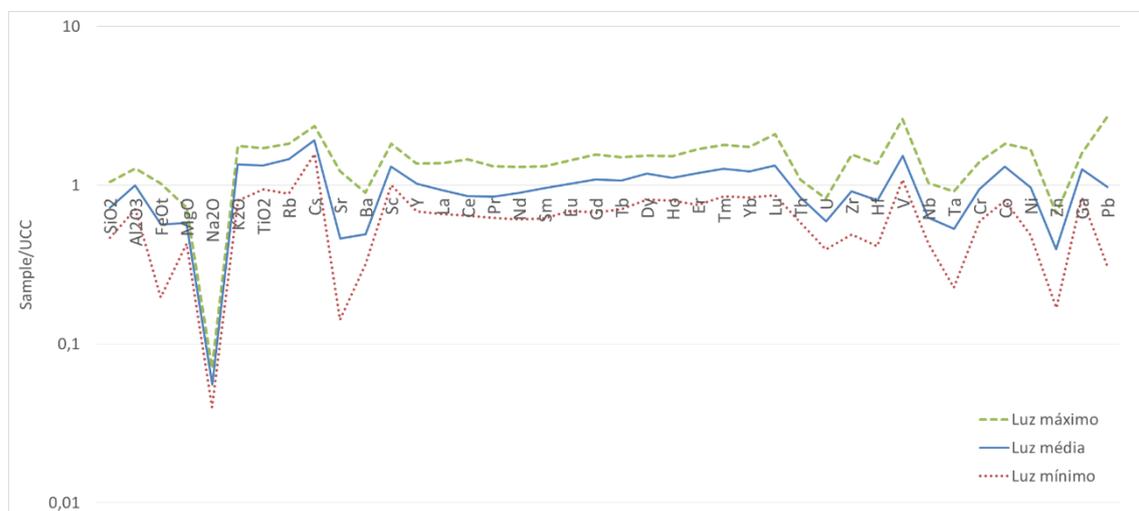


Figura 5.6. Gráfico com os parâmetros estatísticos da Formação de Luz. A verde encontram-se os valores máximos, a azul os valores médios e a vermelho os valores mínimos.

### 5.2.2.2. Elementos menores

Em termos de elementos menores é possível constatar que as amostras são enriquecidas em Cs (1,57-2,35), Sc (1,00-1,82) e V (1,08-2,62), e empobrecidas em Ba (0,32-0,89), U (0,39-0,82), Zn (0,17-0,66), e Ta (0,23-0,91). Os elementos Cr (0,59-1,41), Rb (0,88-1,82), Y (0,69-1,36), Co (0,80-1,82), Ga (0,84-1,58), Sr (0,14-1,23), Th (0,58-1,08), Hf (0,41-1,36), Nb (0,43-1,04), Ni (0,49-1,69), Zr (0,49-1,56) e Pb (0,31-2,68) tanto podem apresentar concentrações superiores como inferiores à UCC. A Formação de Luz apresenta concentrações de terras raras comparáveis à UCC, ainda que no caso das terras raras pesadas seja frequente observar um ligeiro enriquecimento.

### 5.2.2.3 Terras raras

As amostras da Formação de Luz apresentam um grande fracionamento das terras raras ( $3,48 < La/Yb < 9,26$ ), mais elevado para as terras raras leves ( $3,48 < La/Sm < 5,82$ ) do que para as terras raras pesadas ( $0,74 < Gd/Yb < 1,96$ ). Em todas as amostras verifica-se uma pequena anomalia de európio ( $0,60 < Eu/Eu^* < 0,70$ ). O somatório das terras raras leves varia de 152,72 a 325,93. O somatório das terras raras pesadas varia entre os 52,81 a 102,77.

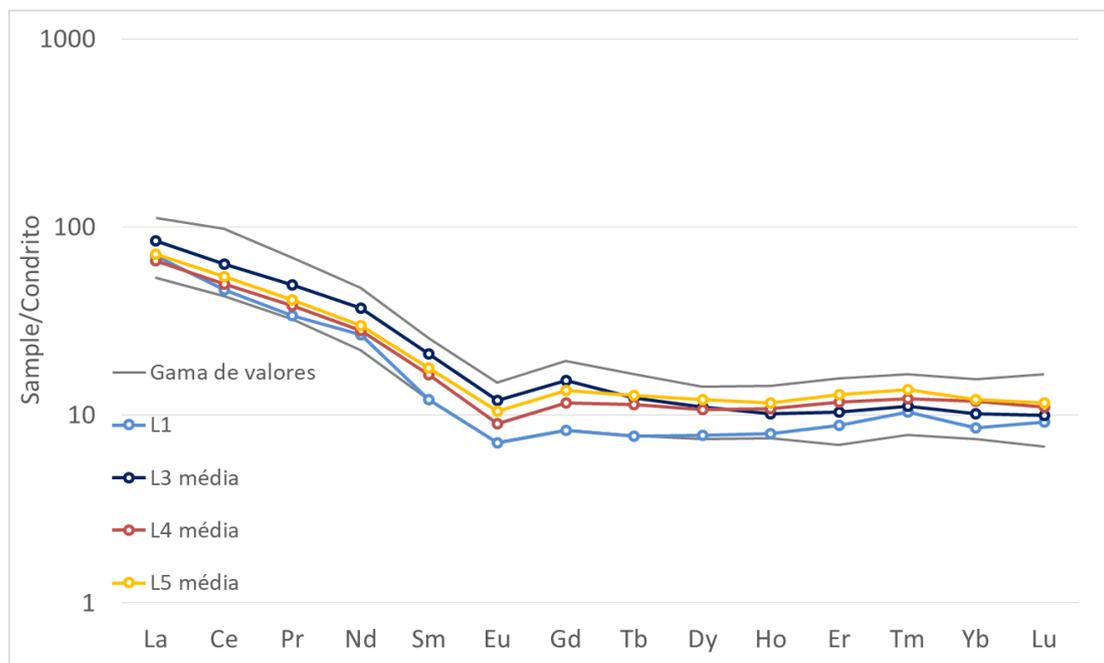


Figura 5.7. Gráfico de terras raras com a gama de valores da formação e os valores médios das fácies L1, L3, L4 e L5.

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

Em termos de terras raras, a fácies L3 é mais rica em terras raras leves e a fácies L5 em terras raras pesadas. A fácies L1 possui concentrações bastantes baixas de terras raras. A fácies L4 apresenta valores que normalmente estão confinados pelas outras fácies.

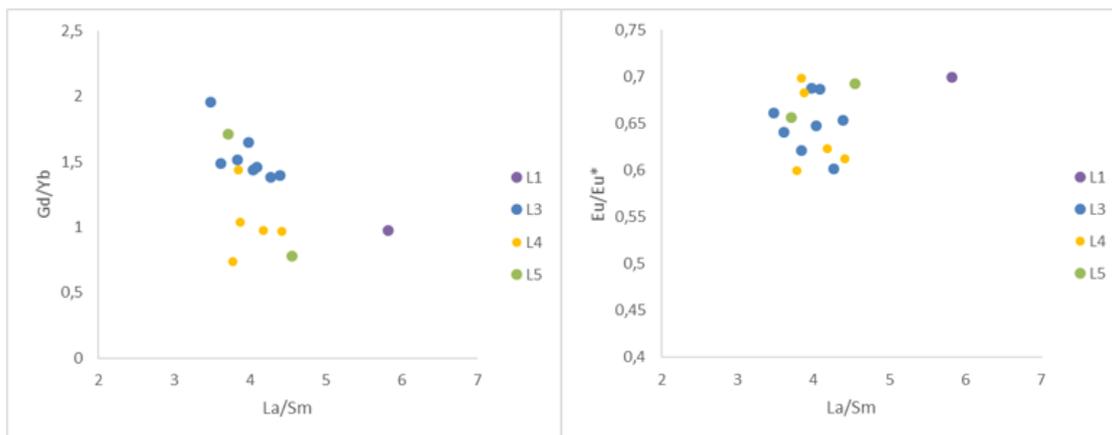


Figura 5.8. Gráficos de terras raras La/Sm vs. Gd/Yb e Eu/Eu\* vs La/Sm das fácies analisadas nas margas da Luz.

Através da construção do gráfico La/Sm vs. Gd/Yb foi possível concluir que a fácies L1 aparece isolada neste gráfico. Apresenta valores de La/Sm muito mais altos que as restantes e aparenta não se enquadrar com mais nenhuma amostra das margas da Luz. Através da construção do gráfico La/Sm vs. Gd/Yb foi possível concluir que as amostras da fácies L3 apresentam valores relativamente idênticos, sendo as relações Gd/Yb maiores que nas outras fácies na maioria das amostras. Apenas possui uma amostra que é um pouco distinta das outras (PL 17, que possui o ratio La/Sm menor e Gd/Yb maior). A fácies L4 também apresenta valores relativamente idênticos, com relações Gd/Yb tendencialmente menores do que L3 (apenas uma amostra com o ratio Gd/Yb elevado, próximo dos valores de L3). A fácies L5 apresenta valores bastante distintos nas duas amostras. Uma apresenta valores mais próximos da fácies L3 e a outra apresenta valores mais próximos da fácies L4.

Os gráficos com a projeção dos índices de fracionamento (La/Sm, Gd/Yb e La/Yb) contra a anomalia Eu/Eu\* funcionam de forma variável na individualização das

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

fácies (Fig.5.9). Quando se projeta a relação La/Sm contra a anomalia do Eu só a fácies L1 é que aparece isolada das restantes. Já a projeção da relação mostra as amostras da fácies L3 muito próximas, maior dispersão para a fácies L4 e uma amostra apresenta valores próximos da fácies L3 (PL 10). As amostras da fácies L5 são muito distintas, sendo que uma surge projetada com as amostras da fácies L3. Já a fácies L1 não se individualiza das outras fácies neste gráfico.

### 5.2.3 Diferenças entre fácies

Após uma análise do gráfico com as médias das várias fácies pode concluir-se que elas são muito semelhantes. Denota-se, contudo, uma maior diferença entre a fácies L6 (apenas uma amostra) e as restantes. Esta fácies possui valores maiores em  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}_t$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{TiO}_2$ , bem como de Rb, Cs, V, Ta, Cr, Zn e Ga. Por outro lado, apresenta menores concentrações de Sr, Ba, Th e de terras raras que as outras fácies. No que respeita às outras fácies, podem ser destacados os seguintes aspetos: L1 distingue-se por apresentar elevado conteúdo em terras raras leves e em Sr, Ni, e Co; L2 apresenta elevado conteúdo em Zr; L4 apresenta grande quantidade de terras raras pesadas e pequena quantidade de  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , Rb, Co, Cr, Ni, Zn e Ga.

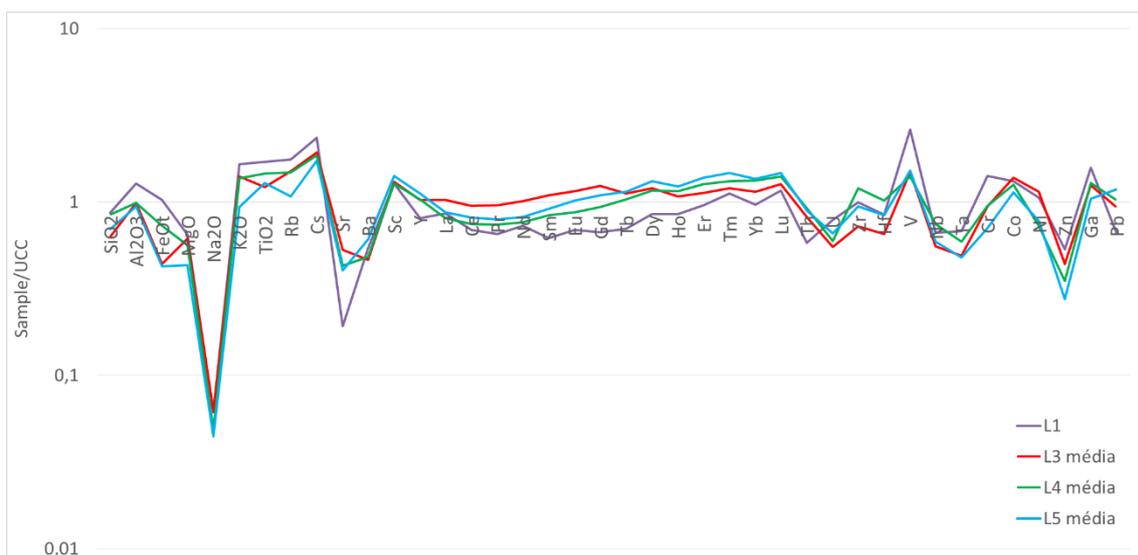


Figura 5.9. Gráfico com os valores médios da fácies L1, L3, L4 e L5, que vêm tendo sido analisados ao longo do capítulo.

### 5.3 Síntese comparativa entre as unidades da Salema e Luz

Apresenta-se aqui uma comparação entre os valores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , MgO e elementos menores mensurados a partir de uma coleção de 29 amostras recolhidas em estratos da Formação de Salema e da Formação de Luz, as duas unidades do Cretácico Inferior do Algarve ocidental consideradas no presente estudo. Os dados de base para esta comparação consistem nos valores médios das duas unidades estratigráficas e a sua respetiva gama de variação, conforme se pode observar na figura 5.10.

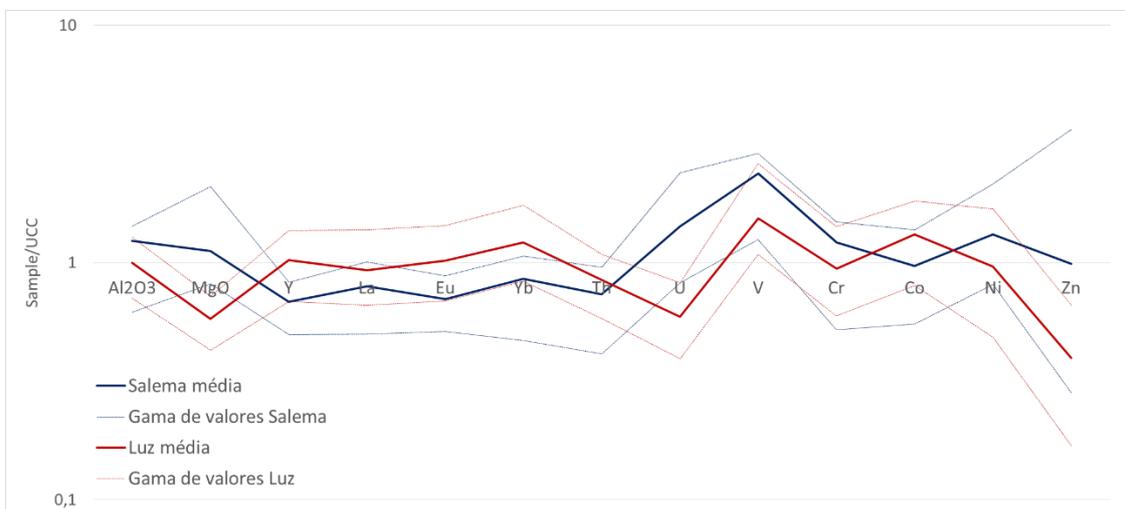


Figura 5.10. Gráfico comparativo entre a Formação de Salema e a Formação de Luz” do Cretácico Inferior do Algarve ocidental. Os elementos apresentados correspondem aos elementos que apresentam comportamentos distintos.

Observam-se abundâncias maiores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e de MgO na Formação de Salema do que na Formação de Luz. A diferença de valores em relação a  $\text{Al}_2\text{O}_3$  não está de acordo com as associações de minerais de argila, já que as proporções de caulinite e ilite são muito semelhantes, encontrando-se mesmo amostras com maior proporção de caulinite nas Formação de Luz do que em qualquer das amostras da Formação de Salema. Admite-se que as maiores quantidades de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  na Formação de Salema estarão ligadas, fundamentalmente, à granulometria das amostras. Granulometrias mais finas também podem justificar as maiores quantidades de MgO nesta unidade.

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretáceo Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

Para se averiguar se a maior abundância de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e de  $\text{MgO}$  na Formação de Salema do que em relação na Formação de Luz é devida a diferenças em termos de granulometria construíram-se os gráficos em que a concentração daqueles elementos são projetadas contra a relação  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ , que é geralmente entendido como um *proxy* da granulometria (Fig. 5.11).

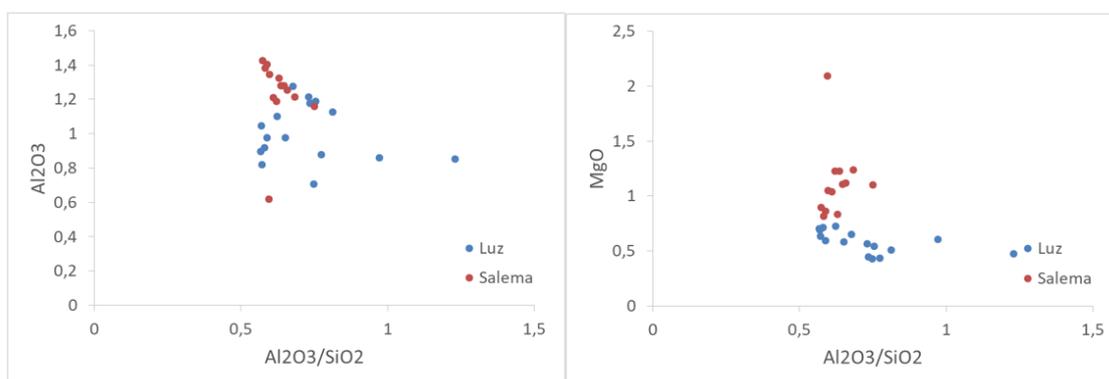


Figura 5.11. Gráficos  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  vs.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  vs.  $\text{MgO}$  para a Formação de Salema e a Formação de Luz do Cretáceo Inferior do Algarve ocidental. De referir que a amostra da Formação de Salema que não se encontra no *cluster* de amostras, corresponde à amostra SAE 142.

A análise dos gráficos é um pouco inconclusiva. Seria expectável que as amostras provenientes da Formação de Salema apresentassem valores do ratio  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  tendencialmente maiores, o que não se verificou. Porém, consegue-se observar.

No que respeita aos elementos menores, Formação de Luz é tendencialmente mais ricas em Y, terras raras, Th e Co. Pelo contrário, no que respeita a U, V, Cr, Ni e Zn, os valores da Formação de Salema são tendencialmente maiores do que na anterior.

Através da utilização de elementos menores, também é possível averiguar a granulometria do sedimento. O ratio  $\text{Zr}/\text{Rb}$  é um deles. Este ratio reflete as variações de granulometria do sedimento, com valores maiores para unidades relativamente grosseiras e valores menores em argilas e em folhelhos (Dypvik, & Harris, 2001). Tendo isso em conta, foi realizada a figura 5.12.

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretáceo Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

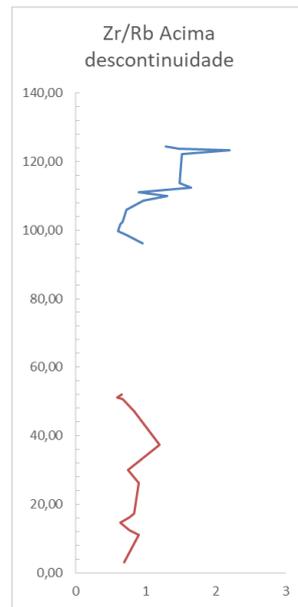


Figura 5.12. Gráfico do ratio Zr/Rb Mensurados para 13 amostras da Formação de Salema (SAE 8 a SAE 144) e 16 amostras da Formação de "Margas de Luz" do Cretáceo Inferior do Algarve ocidental.

Através da análise deste gráfico é possível concluir que a Formação de Salema e a parte basal das Formação de Luz apresentam valores análogos para o ratio Zr/Rb. Para a parte final da amostragem verifica-se um aumento dos valores deste ratio, o que nos poderá indicar um aumento da granulometria dos sedimentos, facto que também é observável no campo. Enquanto que a parte basal das Formação de Luz é tendencialmente margosa, por vezes, intercalada com calcários margosos, as litofácies que integram as parassequências superiores desta unidade estratigráfica apresentam tendência para uma granulometria mais grosseira, ocorrendo inclusivamente intercalações de arenitos na sucessão sedimentar.

#### 5.4 Análise estatística dos dados composicionais

Ao longo deste capítulo serão apresentados resultados da análise estatística de dados composicionais.

##### 5.4.1 Boxplots

Os *boxplots* são uma ferramenta gráfica que permite representar os dados por meio de quartis. Ao longo deste trabalho, foram efetuados vários *boxplots*: para as duas formações, para cada unidade de modo separado e para cada fácies. A análise de *boxplots* para este trabalho será feita ao nível da formação. Os seus valores foram normalizados para a UCC. Os *boxplots* destas duas formações encontram-se nos anexos I e II.

Após a análise dos *boxplots* pode-se concluir que os elementos da Formação de Salema, tendencialmente, possuem uma gama menor de valores. Apesar da Formação de Salema possuir menos amostras, o número de *outliers* é relativamente idêntico ao da Formação de Luz.

Tal como foi possível constatar neste capítulo, os valores de vários elementos, nos quais o SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, Y, REE, Th, U, V, Cr, Co e Zn fazem parte, possuem valores um pouco distintos entre as duas formações.

##### 5.4.2 Matriz de correlação

A matriz de correlação é uma ferramenta que permite calcular a relação entre duas variáveis. Neste caso, a análise vai incidir sobre a relação entre os vários elementos analisados. Os resultados destas matrizes de correlação serão apresentados nas últimas páginas deste capítulo.

Os valores de SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> evoluem no mesmo sentido nas duas formações. O K<sub>2</sub>O possui grande correlação com a mica-ilite na Formação de Salema.

Existe uma grande correlação entre o Rb e o K<sub>2</sub>O nas duas formações. Estes valores deverão estar associados com a presença de silicatos e feldspatos.

O valor do Zr evolui no mesmo sentido do que o Y, Th, REE. Isso, deverá corresponder a parte mais félsica das amostras na Formação de Salema, uma vez que, na Formação de Luz o valor de Zr evolui em sentido oposto ao do La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu e Gd, sugerindo o envolvimento de outros processos para além da proveniência

O valor do MgO evolui no sentido oposto a todos os elementos da Formação de Salema, com exceção da mica-ilite. Apesar de na Formação de Luz também evoluir em sentido contrário em bastantes elementos, possui correlações positivas das quais se destacam a com o K<sub>2</sub>O, Rb e Ni.

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretáceo Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

#### 5.4.3 Análise dos componentes principais

A análise de componentes principais para uma seleção de elementos considerados imóveis ( $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}$ , Sc, Ba, Co Nb, Th, U, V, Zr, Y, Ni, La, Eu e Yb) forneceu 3 componentes que explicam perto de 85 % da variabilidade da amostra.

Tabela 5.1. Tabela dos valores próprios da associação de elementos imóveis.

	<b>Valor Próprio</b>	<b>% Exp</b>	<b>% Acum</b>
<b>1</b>	6.494	40.588	40.588
<b>2</b>	5.388	33.680	74.268
<b>3</b>	1.558	9.7431	84.011
<b>4</b>	0.810	5.0681	89.079
<b>5</b>	0.467	2.9232	92.003
<b>6</b>	0.411	2.5721	94.575
<b>7</b>	0.215	1.3459	95.921

Tabela 5.2. Tabela das coordenadas das variáveis nos eixos fatoriais.

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>TiO2</b>	0.8999	-0.2693	-0.2675
<b>Cr2O</b>	0.8723	0.2851	0.0663
<b>Sc</b>	0.8682	-0.1151	0.2149
<b>Ba</b>	0.8446	0.2248	0.1171
<b>Co</b>	0.1436	-0.6893	0.3727
<b>Nb</b>	0.851	-0.3582	-0.2642
<b>Rb</b>	0.7908	0.3519	0.252
<b>Th</b>	0.5167	-0.7494	-0.0476

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretáceo Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

<b>U</b>	0.5762	0.6814	-0.113
<b>V</b>	0.7748	0.5705	0.085
<b>Zr</b>	0.6635	-0.4427	-0.5644
<b>Y</b>	0.0447	-0.9556	0.005
<b>Ni</b>	0.517	0.4196	0.5738
<b>La</b>	0.2153	-0.6494	0.486
<b>Eu</b>	-0.1648	-0.7722	0.4608
<b>Yb</b>	0.3221	-0.8884	-0.1794

O primeiro componente, que justifica 41 % da variância, é acionado positivamente pela generalidade dos elementos que se concentram em minerais pesados, designadamente Ti, Cr, Sc, Ba, Nb, Rb, Th, U, V, Zr (considerando apenas variáveis com peso superior a 0,5). Não se encontram variáveis com valores negativos elevados, sendo o Eu a única com peso negativo. Uma vez que os elementos com afinidade máfica apresentam pesos mais elevados, considera-se que este fator é particularmente influenciado pela incorporação de componente máfica nas unidades.

O segundo fator (34 % da variância) é acionado positivamente pelo U, V, e negativamente pelo Co, Th, Y, La, Eu e Yb. Este fator reflete a concentração de minerais de Th (p. ex., monazite) e Y (p.ex., xenótimo) que integram quantidades elevadas de terras raras. Este fator é muito eficaz na separação das unidades da Salema, sempre com coordenadas positivas, das da Luz, geralmente com coordenadas negativas. As unidades do topo da Formação de Luz apresentam tendencialmente coordenadas negativas mais elevadas.

O terceiro fator (10 % da variância) apresenta um peso negativo elevado para o Zr em oposição ao Ni e, em menor escala, ao La, Eu e Co. É possível que este fator esteja relacionado com a incorporação de material sedimentar reciclado de outras unidades da bacia do Algarve.



Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

A análise de componentes principais para uma seleção de elementos maiores ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$  e  $\text{Cr}_2\text{O}$ ) forneceu 3 componentes que explicam perto de 90 % da variabilidade.

Tabela 5.3. Tabela dos valores próprios da associação de elementos maiores.

	<b>Valor Proprio</b>	<b>% Exp</b>	<b>% Acum</b>
<b>1</b>	4.772	59.653	59.653
<b>2</b>	1.868	23.353	83.006
<b>3</b>	0.541	6.774	89.780
<b>4</b>	0.490	6.125	95.905
<b>5</b>	0.150	1.886	97.792
<b>6</b>	0.093	1.171	98.963
<b>7</b>	0.064	0.801	99.765

Tabela 5.4. Tabela das coordenadas das variáveis nos eixos fatoriais.

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>SiO2</b>	0.784	0.492	0.297
<b>Al2O</b>	0.967	0.034	0.065
<b>Fe2O</b>	0.760	0.223	0.322
<b>MgO</b>	0.204	0.851	0.417
<b>Na2O</b>	0.507	0.670	0.387
<b>K2O</b>	0.874	0.367	0.091
<b>TiO2</b>	0.833	0.503	0.109
<b>Cr2O</b>	0.940	0.112	0.016

O primeiro componente (60 % da variância) é acionado positivamente e, com a exceção do  $\text{MgO}$ , de forma significativa por todos os elementos maiores. As variáveis com pesos mais elevados são o  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e o  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Como as amostras foram sujeitas a





	<i>Caulinite</i>	<i>Ilite</i>	<i>SiO2</i>	<i>Al2O3</i>	<i>FeOt</i>	<i>MgO</i>	<i>Na2O</i>	<i>K2O</i>	<i>TiO2</i>	<i>Cr</i>	<i>Sc</i>	<i>Ba</i>	<i>Co</i>	<i>Nb</i>	<i>Rb</i>	<i>Th</i>	<i>U</i>	<i>V</i>	<i>Zr</i>	<i>Y</i>	<i>Ni</i>	<i>La</i>	<i>Ce</i>	<i>Pr</i>	<i>Nd</i>	<i>Sm</i>	<i>Eu</i>	<i>Gd</i>	<i>Tb</i>	<i>Dy</i>	<i>Ho</i>	<i>Er</i>	<i>Tm</i>	<i>Yb</i>	<i>Lu</i>	
<i>Caulinite</i>	1,0	-1,0	-0,2	-0,1	0,4	-0,4	-0,3	-0,8	0,1	0,1	-0,5	-0,1	-0,2	0,3	-0,5	-0,4	0,4	0,1	-0,2	0,0	0,6	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	-0,1	0,2	0,1	0,0	-0,1	0,6	0,3	0,2	0,2	
<i>Ilite</i>	-1,0	1,0	0,2	0,1	-0,4	0,4	0,3	0,8	-0,1	-0,1	0,5	0,1	0,2	-0,3	0,5	0,4	-0,4	-0,1	0,2	0,0	-0,6	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	-0,2	-0,1	0,0	0,1	-0,6	-0,3	-0,2	-0,2	
<i>SiO2</i>	-0,2	0,2	1,0	0,2	-0,5	-0,3	0,3	0,5	0,7	0,3	0,4	0,3	0,5	0,7	0,2	0,7	0,0	0,2	0,8	0,6	0,2	0,5	0,5	0,5	0,4	0,6	0,2	0,3	0,2	0,5	0,4	0,3	0,4	0,5	0,4	
<i>Al2O3</i>	-0,1	0,1	0,9	1,0	0,2	-0,7	0,7	0,3	0,6	0,7	0,8	0,7	0,1	0,5	0,7	0,1	0,5	0,7	0,1	0,1	0,4	0,4	0,2	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,3	0,4	0,3	0,4	0,5	0,2	0,5	
<i>FeOt</i>	0,6	-0,6	0,0	0,2	1,0	-0,4	0,3	-0,4	0,1	0,2	-0,2	0,3	-0,1	0,1	0,1	-0,5	0,3	0,2	-0,3	0,0	0,5	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,0	0,1	
<i>MgO</i>	-0,1	0,1	-0,9	-1,0	-0,3	1,0	-0,5	0,2	-0,7	-0,5	-0,4	-0,6	-0,1	-0,8	-0,2	0,0	-0,7	-0,6	-0,2	-0,3	-0,8	-0,3	-0,2	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,6	-0,4	-0,5	-0,4	-0,8	-0,8	-0,6	-0,7	
<i>Na2O</i>	-0,1	0,1	0,7	0,8	0,3	-0,8	1,0	0,5	0,5	0,4	0,6	0,8	0,4	0,5	0,7	0,3	0,2	0,4	0,3	0,4	0,3	0,6	0,4	0,5	0,5	0,5	0,7	0,5	0,5	0,6	0,5	0,3	0,6	0,4	0,4	
<i>K2O</i>	-0,5	0,5	0,9	0,8	-0,1	-0,7	0,7	1,0	0,2	0,2	0,6	0,4	0,5	0,0	0,7	0,7	-0,3	0,1	0,5	0,4	-0,2	0,5	0,6	0,5	0,4	0,4	0,5	0,2	0,3	0,3	0,4	-0,2	0,0	0,1	0,1	
<i>TiO2</i>	0,0	0,0	1,0	0,9	0,1	-0,9	0,7	0,8	1,0	0,6	0,5	0,5	0,5	0,9	0,3	0,5	0,2	0,3	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,7	0,7	0,3	0,7	0,5	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6	0,7	
<i>Cr</i>	0,0	0,0	0,9	0,9	0,2	-0,9	0,6	0,8	0,9	1,0	0,4	0,6	-0,1	0,4	0,5	0,0	0,7	0,6	0,1	0,0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,3	0,3	0,1	0,1	0,0	0,3	0,2	0,0	0,3	
<i>Sc</i>	-0,3	0,3	0,9	0,9	0,0	-0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	1,0	0,5	0,3	0,3	0,7	0,4	0,1	0,4	0,3	0,2	0,1	0,5	0,3	0,6	0,5	0,4	0,5	0,4	0,3	0,5	0,4	0,1	0,4	0,3	0,4	
<i>Ba</i>	-0,1	0,1	0,8	0,8	0,2	-0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	1,0	0,3	0,4	0,8	0,2	0,4	0,5	0,2	0,3	0,4	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6	0,8	0,7	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,3	0,5	
<i>Co</i>	-0,2	0,2	0,4	0,2	-0,2	-0,2	0,2	0,4	0,4	0,1	0,4	0,2	1,0	0,4	0,2	0,8	-0,4	-0,2	0,8	0,8	0,3	0,6	0,7	0,5	0,5	0,7	0,3	0,6	0,7	0,7	0,8	0,4	0,5	0,7	0,5	
<i>Nb</i>	0,2	-0,2	0,9	0,9	0,3	-0,9	0,8	0,7	1,0	0,8	0,8	0,7	0,4	1,0	0,0	0,3	0,4	0,4	0,6	0,5	0,7	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,2	0,5	0,4	0,6	0,5	0,7	0,8	0,7	0,6	
<i>Rb</i>	-0,5	0,5	0,8	0,9	0,0	-0,7	0,8	0,9	0,8	0,8	0,9	0,8	0,2	0,7	1,0	0,3	0,0	0,3	0,1	0,2	0,0	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,7	0,5	0,4	0,3	0,4	0,1	0,2	0,1	0,3	
<i>Th</i>	-0,4	0,4	0,8	0,6	-0,4	-0,5	0,5	0,8	0,7	0,5	0,8	0,5	0,7	0,6	0,7	1,0	-0,4	0,0	0,8	0,8	0,1	0,7	0,7	0,7	0,6	0,8	0,4	0,5	0,6	0,7	0,6	0,2	0,4	0,6	0,4	
<i>U</i>	0,6	-0,6	0,2	0,4	0,3	-0,5	0,1	0,0	0,3	0,6	0,2	0,3	-0,4	0,4	0,1	-0,2	1,0	0,7	-0,2	-0,2	0,5	0,1	0,0	0,1	0,1	-0,1	0,3	0,1	0,0	-0,2	-0,2	0,4	0,2	0,0	0,1	
<i>V</i>	0,1	-0,1	0,7	0,9	0,3	-0,9	0,7	0,7	0,8	0,9	0,7	0,7	-0,1	0,8	0,7	0,4	0,6	1,0	-0,1	0,1	0,5	0,2	0,1	0,3	0,2	0,1	0,4	0,1	0,2	0,1	0,1	0,3	0,3	0,0	0,2	
<i>Zr</i>	-0,1	0,1	0,9	0,7	-0,1	-0,7	0,6	0,7	0,9	0,6	0,7	0,5	0,6	0,8	0,6	0,8	0,0	0,5	1,0	0,8	0,3	0,7	0,8	0,6	0,7	0,7	0,3	0,5	0,6	0,7	0,6	0,4	0,5	0,8	0,4	
<i>Y</i>	0,0	0,0	0,8	0,6	0,0	-0,6	0,6	0,7	0,8	0,5	0,6	0,5	0,7	0,8	0,5	0,8	0,0	0,5	0,9	1,0	0,5	0,7	0,8	0,6	0,6	0,9	0,5	0,6	0,8	0,8	0,8	0,6	0,7	0,7	0,6	
<i>Ni</i>	0,7	-0,7	0,4	0,4	0,5	-0,6	0,3	0,2	0,5	0,5	0,3	0,3	0,1	0,5	0,1	0,1	0,7	0,6	0,3	0,4	1,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,3	0,6	0,6	0,5	0,6	0,8	0,8	0,6	0,7	
<i>La</i>	0,0	0,0	0,8	0,7	0,1	-0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8	0,7	0,4	0,8	0,7	0,8	0,1	0,6	0,7	0,8	0,3	1,0	0,9	0,9	1,0	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,4	0,4	0,6	0,4
<i>Ce</i>	0,0	0,0	0,8	0,6	0,0	-0,6	0,6	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,8	0,6	0,8	0,1	0,5	0,8	0,8	0,4	0,9	1,0	0,8	0,8	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,4	0,4	0,6	0,3	
<i>Pr</i>	-0,1	0,1	0,8	0,7	0,0	-0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8	0,7	0,4	0,8	0,7	0,8	0,2	0,6	0,7	0,8	0,3	1,0	0,9	1,0	1,0	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	
<i>Nd</i>	0,0	0,0	0,8	0,7	0,1	-0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	0,8	0,7	0,5	0,8	0,7	0,8	0,2	0,6	0,7	0,7	0,4	1,0	0,9	1,0	1,0	0,8	0,7	0,8	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	
<i>Sm</i>	0,0	0,0	0,8	0,7	0,0	-0,7	0,7	0,7	0,9	0,6	0,8	0,7	0,6	0,8	0,7	0,8	0,0	0,6	0,8	0,9	0,4	0,9	0,8	0,9	0,9	1,0	0,6	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8	
<i>Eu</i>	0,0	0,0	0,5	0,6	0,1	-0,5	0,8	0,6	0,5	0,5	0,6	0,7	0,2	0,5	0,7	0,5	0,2	0,6	0,3	0,5	0,3	0,8	0,7	0,8	0,7	0,7	1,0	0,7	0,8	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	
<i>Gd</i>	0,2	-0,2	0,6	0,6	0,3	-0,7	0,7	0,5	0,7	0,5	0,6	0,6	0,5	0,7	0,6	0,6	0,1	0,5	0,6	0,6	0,4	0,8	0,7	0,7	0,8	0,9	0,7	1,0	0,9	0,7	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	
<i>Tb</i>	0,1	-0,1	0,5	0,5	0,1	-0,5	0,6	0,5	0,6	0,3	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,0	0,4	0,5	0,7	0,4	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	1,0	0,8	0,9	0,7	0,7	0,8	0,7	
<i>Dy</i>	0,0	0,0	0,7	0,6	0,2	-0,6	0,6	0,6	0,7	0,5	0,7	0,4	0,7	0,7	0,5	0,7	-0,2	0,4	0,7	0,8	0,3	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,5	0,8	0,8	1,0	0,8	0,6	0,8	0,7	0,8	
<i>Ho</i>	0,0	0,0	0,8	0,7	0,2	-0,7	0,7	0,7	0,8	0,6	0,8	0,6	0,7	0,8	0,7	0,8	0,0	0,5	0,8	0,9	0,5	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,6	0,8	0,8	0,9	1,0	0,6	0,8	0,8	0,8	
<i>Er</i>	0,4	-0,4	0,7	0,7	0,3	-0,8	0,6	0,5	0,8	0,6	0,6	0,6	0,4	0,8	0,5	0,5	0,3	0,6	0,7	0,7	0,6	0,7	0,6	0,7	0,8	0,8	0,5	0,9	0,7	0,7	0,8	1,0	0,8	0,8	0,9	
<i>Tm</i>	0,2	-0,2	0,8	0,7	0,3	-0,8	0,7	0,6	0,9	0,6	0,7	0,6	0,5	0,9	0,5	0,6	0,1	0,6	0,8	0,9	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,9	0,5	0,8	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	0,9	0,8	
<i>Yb</i>	0,1	-0,1	0,9	0,7	0,1	-0,8	0,6	0,7	0,9	0,6	0,7	0,6	0,6	0,9	0,6	0,7	0,2	0,6	0,9	0,9	0,5	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,5	0,8	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	0,7
<i>Lu</i>	0,0	0,0	0,8	0,8	0,1	-0,9	0,7	0,7	0,9	0,7	0,8	0,6	0,5	0,8	0,7	0,7	0,2	0,6	0,8	0,8	0,5	0,7	0,6	0,7	0,8	0,9	0,5	0,8	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	

Tabela 5.5. Tabela de correlação para a formação de Salema.

	<i>Caulinite</i>	<i>Illite</i>	<i>SiO2</i>	<i>Al2O3</i>	<i>FeOt</i>	<i>MgO</i>	<i>Na2O</i>	<i>K2O</i>	<i>TiO2</i>	<i>Cr</i>	<i>Sc</i>	<i>Ba</i>	<i>Co</i>	<i>Nb</i>	<i>Rb</i>	<i>Th</i>	<i>U</i>	<i>V</i>	<i>Zr</i>	<i>Y</i>	<i>Ni</i>	<i>La</i>	<i>Ce</i>	<i>Pr</i>	<i>Nd</i>	<i>Sm</i>	<i>Eu</i>	<i>Gd</i>	<i>Tb</i>	<i>Dy</i>	<i>Ho</i>	<i>Er</i>	<i>Tm</i>	<i>Yb</i>	<i>Lu</i>	
<i>Caulinite</i>	1,0	-1,0	-0,3	-0,1	-0,5	-0,1	0,1	-0,3	-0,2	-0,3	0,0	0,2	0,1	-0,1	-0,3	0,0	0,0	0,1	-0,2	-0,2	-0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-0,1	0,0	0,2	-0,1	0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	
<i>Illite</i>	-1,0	1,0	0,3	0,1	0,5	0,1	-0,1	0,3	0,2	0,3	0,0	-0,2	-0,1	0,1	0,3	0,0	0,0	-0,1	0,2	0,2	0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,1	0,0	-0,2	0,1	-0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	
<i>SiO2</i>	-0,2	0,2	1,0	0,5	0,2	-0,4	-0,4	0,1	0,9	0,6	0,4	0,4	0,2	0,9	0,3	0,8	0,6	0,3	0,9	0,5	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,2	-0,3	-0,1	0,3	0,5	0,6	0,8	0,7	0,8	0,8	
<i>Al2O3</i>	0,0	0,0	0,5	1,0	0,0	0,1	0,1	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,4	0,5	0,8	0,3	0,2	0,5	0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	0,0	0,2	0,3	0,2	0,4	0,4	0,4	0,6	
<i>FeOt</i>	-0,4	0,4	0,4	0,2	1,0	0,1	-0,3	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,1	-0,2	0,2	0,1	0,2	-0,1	-0,2	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4	-0,6	-0,3	-0,3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	
<i>MgO</i>	-0,2	0,2	-0,4	0,1	0,1	1,0	0,4	0,7	-0,3	0,3	0,2	0,1	0,4	-0,4	0,6	-0,4	0,0	0,4	-0,6	-0,7	0,5	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,4	-0,6	-0,6	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	-0,6
<i>Na2O</i>	0,1	-0,1	-0,5	0,0	-0,4	0,3	1,0	0,3	-0,2	0,2	0,0	0,0	0,1	-0,3	0,3	-0,4	-0,3	0,1	-0,5	-0,1	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,4	0,4	0,1	0,0	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,1	
<i>K2O</i>	-0,3	0,3	0,2	0,6	0,2	0,7	0,2	1,0	0,2	0,7	0,5	0,5	0,6	0,2	0,9	0,0	0,2	0,6	-0,2	-0,3	0,6	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	-0,1	-0,1	-0,3	-0,2	-0,3	-0,2	-0,3	-0,2	-0,1	
<i>TiO2</i>	-0,1	0,1	0,9	0,7	0,3	-0,3	-0,3	0,3	1,0	0,7	0,4	0,4	0,2	0,9	0,4	0,6	0,6	0,4	0,8	0,4	-0,1	0,0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,1	0,3	0,4	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	
<i>Cr</i>	-0,2	0,2	0,5	0,7	0,2	0,3	0,2	0,7	0,7	1,0	0,5	0,6	0,4	0,6	0,7	0,2	0,4	0,6	0,3	-0,1	0,4	0,0	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,4	-0,1	-0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	
<i>Sc</i>	0,2	-0,2	0,3	0,8	0,0	0,0	-0,2	0,4	0,5	0,4	1,0	0,7	0,8	0,6	0,7	0,5	0,4	0,8	0,2	0,2	0,5	0,0	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	0,0	0,1	0,4	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	
<i>Ba</i>	0,3	-0,3	0,4	0,7	0,1	-0,2	-0,3	0,2	0,5	0,3	0,8	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,5	0,8	0,2	0,1	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,1	0,0	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2	0,4	
<i>Co</i>	0,0	0,0	0,2	0,7	0,0	0,4	0,1	0,8	0,3	0,5	0,8	0,6	1,0	0,4	0,7	0,4	0,4	0,8	-0,1	0,1	0,6	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,3	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	
<i>Nb</i>	-0,1	0,1	0,8	0,7	0,1	-0,3	-0,3	0,2	0,8	0,4	0,5	0,5	0,3	1,0	0,4	0,8	0,7	0,5	0,8	0,6	0,0	0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,1	-0,2	0,1	0,4	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	
<i>Rb</i>	-0,3	0,3	0,2	0,7	0,3	0,7	0,2	0,9	0,4	0,7	0,5	0,3	0,8	0,3	1,0	0,1	0,3	0,7	0,0	-0,1	0,5	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	
<i>Th</i>	0,0	0,0	0,7	0,4	-0,2	-0,4	-0,4	0,1	0,7	0,1	0,6	0,5	0,4	0,7	0,1	1,0	0,5	0,2	0,7	0,8	-0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,3	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8	0,9	0,8
<i>U</i>	0,0	0,0	0,6	0,6	0,3	-0,1	-0,3	0,3	0,7	0,4	0,5	0,5	0,3	0,5	0,3	0,4	1,0	0,6	0,6	0,3	0,1	0,0	-0,2	-0,2	-0,4	-0,3	-0,3	-0,1	0,1	0,3	0,4	0,6	0,6	0,5	0,5	
<i>V</i>	0,0	0,0	0,3	0,8	0,5	0,2	0,1	0,5	0,5	0,7	0,5	0,5	0,4	0,3	0,6	-0,1	0,6	1,0	0,1	0,0	0,5	0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	0,2	0,3	
<i>Zr</i>	-0,2	0,2	0,9	0,3	0,3	-0,6	-0,5	-0,1	0,8	0,3	0,2	0,3	-0,1	0,8	0,0	0,7	0,4	0,1	1,0	0,6	-0,4	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,2	-0,3	-0,1	0,4	0,5	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	
<i>Y</i>	0,0	0,0	0,4	0,3	-0,1	-0,6	0,0	-0,2	0,4	-0,1	0,4	0,3	0,2	0,5	-0,1	0,7	0,3	-0,1	0,5	1,0	0,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8
<i>Ni</i>	0,0	0,0	-0,3	0,4	-0,3	0,5	0,6	0,4	-0,2	0,3	0,3	0,2	0,6	-0,1	0,5	-0,1	0,1	0,3	-0,5	0,1	1,0	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,0	0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	0,0	
<i>La</i>	0,1	-0,1	-0,1	0,1	-0,5	-0,2	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	-0,1	0,1	0,2	-0,1	-0,1	-0,2	0,4	0,2	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,5	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	
<i>Ce</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,4	-0,2	0,3	0,1	0,1	-0,1	0,1	-0,1	0,3	-0,1	0,0	0,3	-0,1	-0,2	-0,1	0,4	0,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	0,5	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	
<i>Pr</i>	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,5	-0,2	0,4	0,0	-0,1	-0,1	0,0	-0,1	0,2	-0,1	0,0	0,2	-0,2	-0,3	-0,2	0,4	0,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,5	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	
<i>Nd</i>	0,0	0,0	-0,2	-0,1	-0,6	-0,1	0,6	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	0,2	-0,2	0,0	0,1	-0,3	-0,3	-0,3	0,3	0,2	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,5	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	
<i>Sm</i>	0,0	0,0	-0,3	-0,2	-0,6	-0,2	0,5	-0,1	-0,3	-0,3	-0,2	-0,3	0,1	-0,2	-0,1	0,1	-0,3	-0,4	-0,3	0,4	0,2	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	
<i>Eu</i>	0,0	0,0	-0,3	-0,2	-0,5	-0,2	0,5	-0,2	-0,3	-0,4	-0,2	-0,2	0,0	-0,3	-0,2	0,1	-0,3	-0,4	-0,3	0,5	0,3	0,9	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	0,8	0,6	0,5	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	
<i>Gd</i>	0,1	-0,1	-0,2	-0,1	-0,6	-0,3	0,5	-0,2	-0,2	-0,3	0,0	-0,1	0,1	-0,1	-0,2	0,2	-0,3	-0,4	-0,2	0,6	0,3	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	0,7	0,7	0,5	0,3	0,3	0,3	0,4	
<i>Tb</i>	0,1	-0,1	0,2	0,0	-0,4	-0,6	0,2	-0,3	0,2	-0,3	0,2	0,1	0,1	0,3	-0,2	0,6	0,1	-0,3	0,2	0,9	0,2	0,6	0,6	0,7	0,6	0,7	0,7	0,8	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	
<i>Dy</i>	0,1	-0,1	0,4	0,3	-0,3	-0,6	0,0	-0,2	0,4	-0,1	0,5	0,5	0,3	0,6	0,0	0,8	0,3	-0,1	0,4	1,0	0,2	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,6	0,9	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	0,9	
<i>Ho</i>	0,0	0,0	0,6	0,3	-0,1	-0,7	-0,2	-0,3	0,6	0,1	0,4	0,4	0,2	0,7	-0,1	0,8	0,4	-0,1	0,7	0,9	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,4	0,8	0,9	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	
<i>Er</i>	0,0	0,0	0,7	0,4	0,0	-0,7	-0,3	-0,2	0,7	0,0	0,5	0,4	0,2	0,7	0,0	0,8	0,5	0,0	0,7	0,9	0,0	0,1	0,2	0,2	0,0	0,1	0,1	0,3	0,7	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	
<i>Tm</i>	0,0	0,0	0,6	0,4	-0,1	-0,7	-0,3	-0,2	0,7	0,1	0,5	0,5	0,3	0,8	0,0	0,8	0,5	0,1	0,7	0,9	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,7	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	
<i>Yb</i>	0,1	-0,1	0,7	0,4	-0,1	-0,7	-0,3	-0,2	0,7	0,1	0,5	0,5	0,2	0,8	0,0	0,8	0,4	0,0	0,8	0,9	-0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,1	0,2	0,7	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	
<i>Lu</i>	0,0	0,0	0,7	0,5	-0,1	-0,6	-0,2	-0,1	0,8	0,2	0,6	0,4	0,2	0,8	0,1	0,8	0,5	0,1	0,7	0,8	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,6	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	

Tabela 5.6. Tabela de correlação para a formação da Luz

## 6. Discussão

Os dados composicionais apresentados no capítulo anterior, em função da descrição das unidades e do seu enquadramento geológico e geomorfológico, permitem fazer algumas inferências sobre as condições paleogeográficas. Estas assentam, em primeiro lugar, numa interpretação da proveniência e condições de meteorização química.

### 6.1 Proveniência sedimentar

Na figura 6.1 serão apresentados vários ratios, com a finalidade de averiguar a proveniência sedimentar dos sedimentos que compõem as amostras das duas formações. Alguns elementos são tidos como imóveis ou pouco móveis, não se perdendo durante a meteorização química que acompanha um ciclo sedimentar, ao contrário dos elementos mais móveis (como o Na, Ca, Mg, K, Sr, etc). Devido à remoção dos elementos móveis os “imóveis” são frequentemente encontrados em maiores quantidades nas unidades sedimentares do que nos materiais geológicos que as alimentaram. De entre os elementos “imóveis” alguns têm afinidade com rochas máficas enquanto outros são mais comuns em rochas félsicas. Assim, com base em relações entre elementos comuns em diferentes tipos de rochas, é possível perceber diferentes contribuições de materiais félsicos e máficos derivados das áreas de alimentação.

As relações Co/Th e Sc/Th aumentam quando existe uma maior contribuição máfica nas áreas de alimentação (Dinis *et al.*, 2016). A relação Co/Th na Formação de Salema, (0,98-1,82) é muito semelhante à observada na Formação de Luz (1,07-2,13) (Fig.6.1). No que respeita ao ratio Sc/Th, eles também são parecidos (1,57-2,60 na Formação de Salema; 1,13-2,26 na Formação de Luz), ainda que tendencialmente mais baixos no topo da Formação de Luz (Fig. 6.1).

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretáceo Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

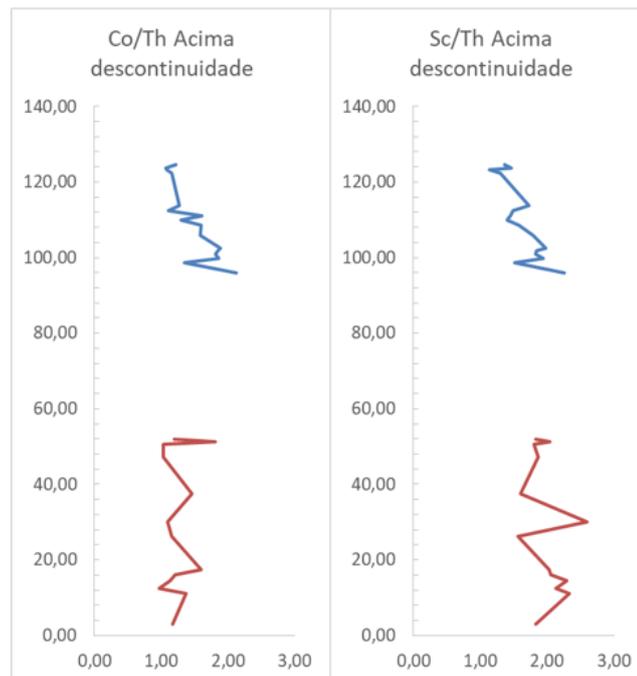


Figura 6.1. Ratios entre os elementos Co/Th e Sc/Th, para as formações de Salema (vermelho) e de Luz (Azul). Foi assumido que a superfície de descontinuidade antes da Formação de Salema corresponde a 0 metros. O intervalo entre as duas unidades corresponderia às formações do Barrancão (11,4 metros) e de Burgau (28 metros) (Rocha, *et al.*, 1983).

As relações Zr/Co e Zr/Sc aumentam quando existe uma maior contribuição félsica nas áreas de alimentação (Dinis *et al.*, 2016). O ratio Zr/Co na Formação de Salema, (8,43-27,29) é comparável ao observado na Formação de Luz (7,43-25,80) (Fig.6.2). O ratio Zr/Sc é tendencialmente mais elevado na Formação de Luz (7,15 aos 24,73) que na Formação de Salema (7,49 e os 15,51). Os valores de Zr/Sc são particularmente elevados no topo da Formação de Luz (Fig.6.2).

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretáceo Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

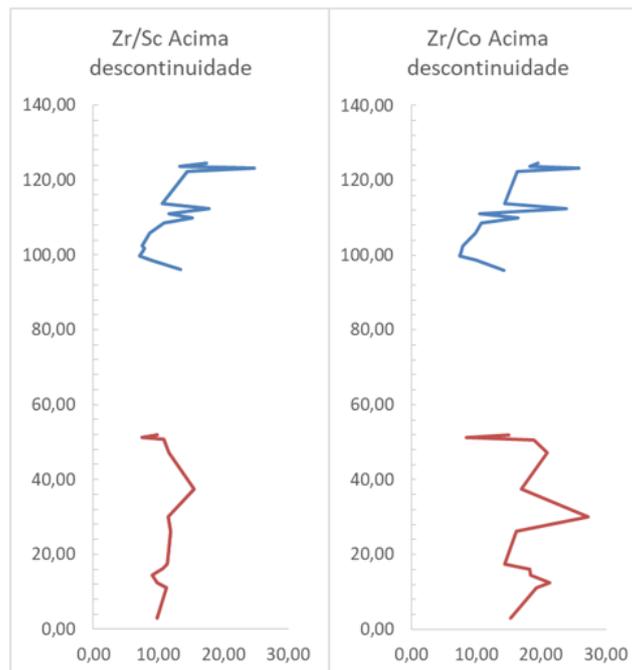


Figura 6.2. Ratios entre os elementos Zr/Sc e Zr/Co, para as formações da Salema (vermelho) e da Luz (Azul). Foi assumido que a superfície de descontinuidade antes da formação da Salema corresponde a 0 metros. O intervalo entre as duas formações corresponderia a formação do Barrancão (11,4 metros) e Burgau (28 metros) (Rocha, *et al.*, 1983).

Depois de uma análise destes gráficos é possível afirmar que a formação da Salema possui maior influência máfica do que a Formação de Luz. Apesar de por vezes existirem algumas amostras que demonstram uma maior afinidade com materiais félsicos, elas são esporádicas. As variações dos ratios na Formação de Salema podem ser bruscas, enquanto na Formação de Luz são mais consistentes e suaves. Além disso, observa-se um padrão bastante evidente na Formação de Luz, marcado por um enriquecimento progressivo da componente félsica à medida que se sobe na unidade. A amostra PL 0 da Formação de Luz (base da sequência) possui maior afinidade com a Formação de Salema do que propriamente com a unidade a que pertence.

Tendo em conta as concentrações de vários elementos menores imóveis, Bathia e Crook (1986) propuseram três diagramas ternários supostamente capazes de discriminar o contexto tectónico em que se formaram as bacias sedimentares. Contudo, a aplicação destes diagramas tem sido contestada (ver, por exemplo, Haughton, 1991; Armstrong-Altrin e Verma, 2005). Sabe-se que a composição dos sedimentos é fortemente condicionada por diversos processos, como a reciclagem de unidades formadas em contextos distintos, herdando assim características de diferentes

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

realidades geológicas, ou a seleção mecânica ou hidráulica de diferentes minerais durante o transporte e deposição. Assim, estes diagramas acabam por ser de pouco utilidade para a definição do contexto tectónico.

De qualquer maneira, os diagramas de Bathia e Crook (1986) são usados aqui porque têm o potencial de mostrar diferenças nas áreas de alimentação. Outros diagramas, que consideram elementos maiores, como os de Roser e Korsh (1986) e Bhatia (1983) não foram adotados por parecerem particularmente inadequados em estudos de proveniência (ver, por exemplo, Haughton, 1991; Armstrong-Altrin e Verma, 2005).

As amostras da Formação de Salema projetadas no diagrama La-Th-Sc surgem bem agrupadas (Fig. 6.3), sugerindo que esta unidade tem alimentação muito homogénea. Por sua vez, na Formação de Luz nota-se uma maior variabilidade entre as amostras.

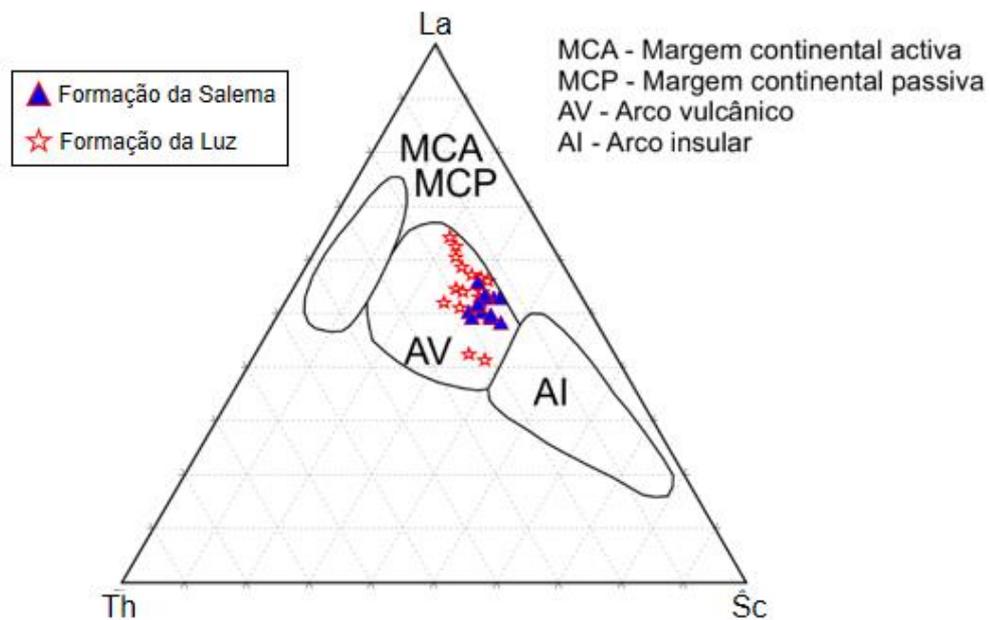


Figura 6.3. Diagrama ternário La-Th-Sc para as duas formações em estudo (Bathia, M. e Crook, K., 1986).

Quando projetadas no diagrama Th-Co-Zr/10 (Fig.6.4), as amostras surgem mais dispersas e não verificam grandes diferenças entre as duas formações.

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

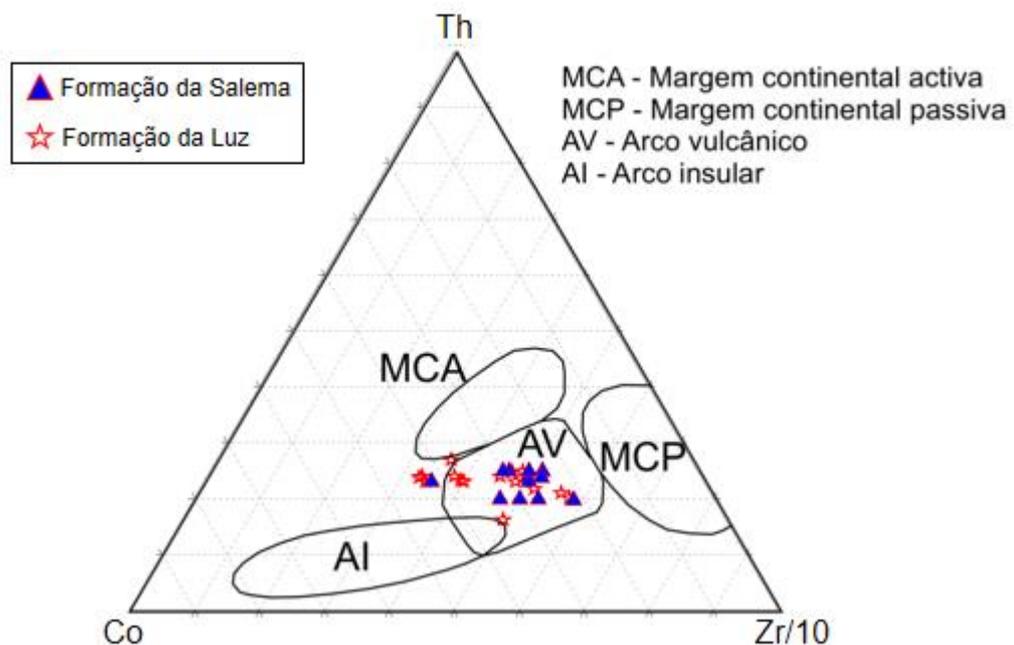


Figura 6.4. Diagrama ternário Th-Co-Zr/10 para as duas formações em estudo (Bathia, M. e Crook, K., 1986).

No que respeita ao diagrama Th-Sc-Zr/10 (Fig.6.5), verifica-se uma tendência para as amostras da Formação de Luz apresentarem maiores quantidades de Th e Zr, quando comparadas com a Formação de Salema. Por outro lado, amostras da Formação de Luz encontram-se mais dispersas, novamente, enquanto as da Formação de Salema encontram-se um pouco mais agrupadas.

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

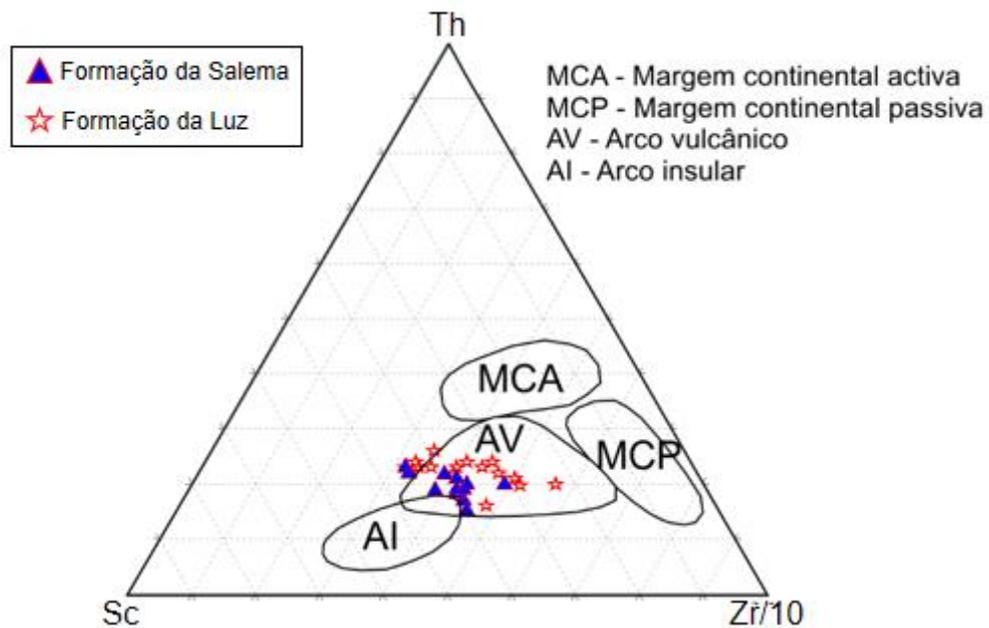


Figura 6.5. Diagrama ternário Th-Sc-Zr/10 para as duas formações em estudo (Bathia, M. e Crook, K., 1986).

A generalidade das amostras, quando projetadas nestes diagramas, caem no campo dos arcos vulcânicos. Algumas amostras que não surgem projetadas neste campo (SAE 69 e SAE 142 da Formação de Salema, e PL 2, PL 5, PL 9, PL 10 e PL 11, da Formação de Luz) nos diagramas Th-Sc-Zr/10 ou Th-Co-Zr/10 também não se enquadram em qualquer um dos outros campos. Na verdade, surgem, mais próximas do domínio dos arcos vulcânicos que de qualquer outro campo.

Em síntese, a Formação de Salema terá tido maior influência máfica que a Formação de Luz. Na Formação de Salema verificam-se variações bruscas nas relações usadas para estabelecer o carácter mais ou menos máfico/félsico, o que poderá indiciar que o enchimento à altura da deposição desta unidade estava mais condicionada por significativas alterações na natureza da área de alimentação. As variações na alimentação da Formação de Luz são mais regulares e suaves. Observa-se uma clara diferenciação entre as amostras da base do perfil e as do topo, apresentando estas maior conteúdo em materiais de origem félsica do que as da base.

Os diagramas ternários apontam para um contexto tectónico do tipo arco vulcânico. Todavia, sabendo-se que a bacia do Algarve se desenvolveu em contexto de margem continental afetada por processos de *rifting*, os resultados obtidos para o

## Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve ocidental: as formações de Salema e da Luz

contexto tectónico devem refletir a natureza das unidades sedimentares presentes na área-fonte. De fato, os materiais que constituem as duas formações estudadas devem derivar sobretudo de unidades da Zona Sul Portuguesa (ZSP), incluindo as formações de Mértola, Mira e Brejeira (Jorge *et al.*, 2013).

### 6.2 Alteração química

A intensidade da alteração química associada à gênese de uma unidade sedimentar pode ser avaliada a partir do cálculo de índices que se fundamentam em relações entre elementos com mobilidade diferenciada sob condições exógenas. Como a composição dos sedimentos é condicionada, antes de mais, pela natureza da área de alimentação, importa acautelar que diferenças nas concentrações dos elementos usados no cálculo destes índices não resultam de diferente proveniência.

Foram escolhidos 6 índices baseados em parâmetros geoquímicos como indicadores da intensidade da alteração química: Th/U, K<sub>2</sub>O/Th, Rb/K, Rb/Ti, CIX (Chemical Index of Alteration modificado, de Garzanti *et al.*, 2014) e o WIP (Weathering Index de Parker, 1970). Adicionalmente, recorreu-se também à relação ilite/caulinite obtida para a fração argilosa.

Tabela 6.1. Índices de alteração considerados neste trabalho.

Índice de Alteração	Fórmula	Relação	Referências
Th/U	Th/U	Aumenta com a alteração química (apenas aplicável se Th/U>4)	McLennan et al., 1995 Gu et al., 2002
K <sub>2</sub> O/Th	K <sub>2</sub> O/Th	Diminui com a alteração química	Gallet et al., 1998 Deconinck et al., 2003
Rb/K	Rb/K	Aumenta com a alteração química	Roy et al., 2008 Buggle et al., 2011
Rb/Ti	Rb/Ti	Diminui com a alteração química	Yan et al., 2007
Caulinite/ilite	Caulinite/Ilite	Aumenta com a alteração química	Chamley, 1989; Thiry, 2000; Velde, 1995
CIX	$\frac{Al_2O_3}{(Al_2O_3+K_2O+Na_2O)} \times 100$	Aumenta com a alteração química. Adequada para sedimentos com carbonatos.	Garzanti et al., 2014
WIP	$(\frac{CaO}{0,7} + \frac{2Na_2O}{0,35} + \frac{2K_2O}{0,25} + \frac{MgO}{0,9}) \times 100$	Diminui com a alteração química. Não é adequado para sedimentos muito alterados.	Parker, 1970

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretáceo Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

O CIX (Fig.6.6) é uma variante do índice CIA (Chemical Index of Alteration de Nesbitt e Young, 1982), que não toma em consideração a concentração de CaO, sendo assim mais adequada para amostras com carbonato de cálcio ou outros minerais que apresentam CaO não ligado a silicatos. Como a descarbonatização não foi efetuada em todas as amostras e como algumas ficaram com um conteúdo considerável em carbonatos o índice CIX é mais adequado que o tradicional CIA. O valor do CIX aumenta com o grau de alteração. Os valores para a Formação de Salema variam entre 72,9 e os 78,1, enquanto para a Formação de Luz variam entre os 73,9 e os 83,8. A pequena diferenciação entre unidades está patente do diagrama triangular  $Al_2O_3$ - $Na_2O$ - $K_2O$  (Fig. 6.7).

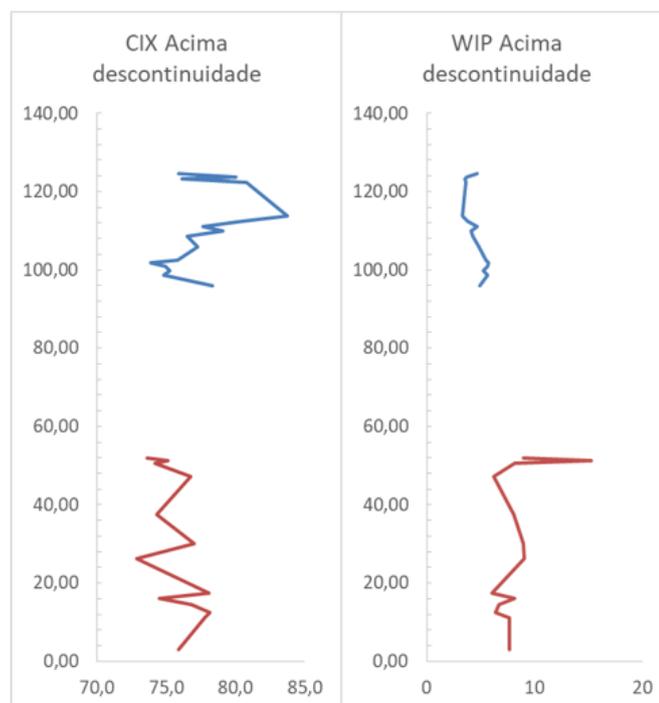


Figura 6.6. Gráficos com os valores do CIX e WIP para as formações da Salema (vermelho) e da Luz (Azul).

O índice WIP (Fig. 6.6) diminui com o aumento da alteração química. Apesar disso, este ratio não deve ser utilizado em amostras que estejam muito alteradas (Zhang et al., 2014). Os valores para a Formação de Salema variam entre os 6,07 e os 15,30, sendo sempre mais elevados do que na Formação de Luz (3,30-5,72).

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretáceo Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

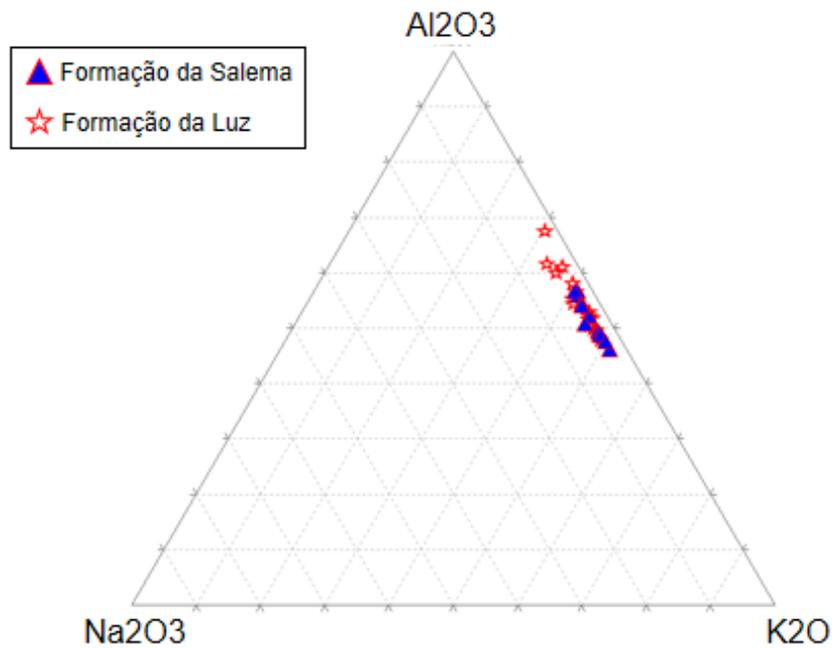


Figura 6.7. Diagrama Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e K<sub>2</sub>O.

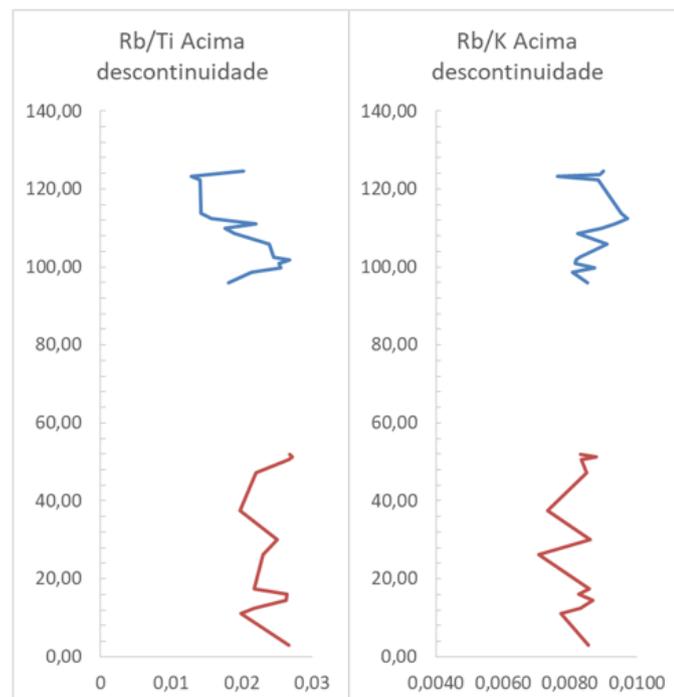


Figura 6.8. Ratios entre os elementos Rb/Ti e Rb/K para as formações da Salema (vermelho) e da Luz (Azul).

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

As relações Rb/Ti (Fig. 6.8) e K<sub>2</sub>O/Th (Fig.6.9) geralmente diminuem quando a meteorização química é mais intensa (Zhang, Y. *et al.*, 2014). Os valores são tendencialmente mais elevados na Formação de Salema (0,53<K<sub>2</sub>O/Th<0,96; 0,0198<Rb/Ti<0,0272) que na Formação de Luz (0,26<K<sub>2</sub>O/Th<0,75; 0,01282<Rb/Ti<0,0268). Se omitirmos as amostras mais baixas da Formação de Luz esta diferenciação é particularmente evidente.

A relação Rb/K (Fig.6.8), por sua vez, tende a aumentar com a intensidade da meteorização química. Os valores desta relação são tendencialmente mais baixo na Formação de Salema (0,0071-0,0087) do que na Formação de Luz (0,0076- 0,0097).

Diversos fatores podem condicionar a relação Th/U (Fig.6.9). Um valor menor do que 1 geralmente indica enriquecimento em U durante a deposição em ambientes sedimentares redutores (Dypvik & Harris, 2001). Por outro lado, sempre que o ratio está acima de 4 é de prever que as unidades sedimentares estejam condicionadas por intensa meteorização química (Zhang, *et al.*, 2014). A generalidade das amostras apresenta relação Th/U superior a 1, indicando condições preferencialmente oxidantes. As amostras da Formação de Salema possuem uma gama de valores que vai dos 0,90 aos 4,09, tendencialmente inferior à da Formação de Luz (2,82-7,09). A relação Th/U na Formação de Luz é particularmente elevada se omitirmos a amostra PL0 (a única com valor inferior a 4).

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretáceo Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

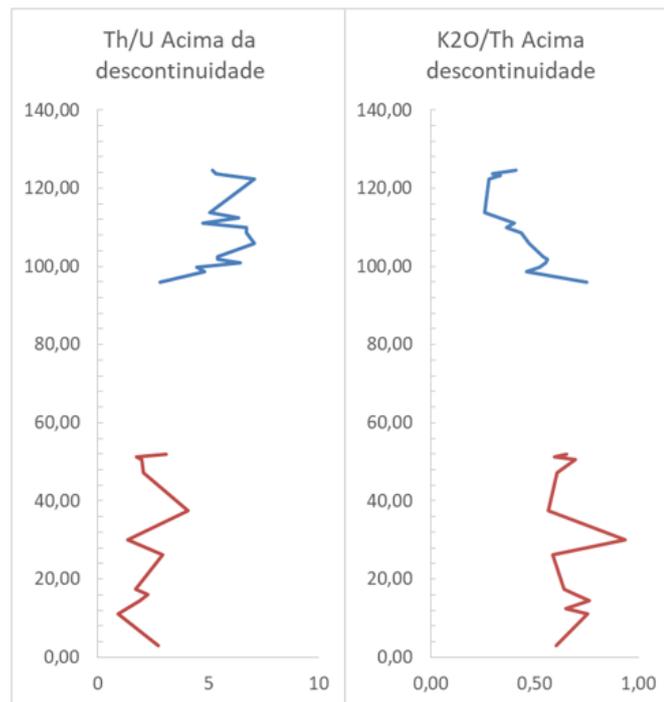


Figura 6.9. Ratios entre os elementos Th/U e K<sub>2</sub>O/Th para as formações de Salema (vermelho) e Luz (Azul).

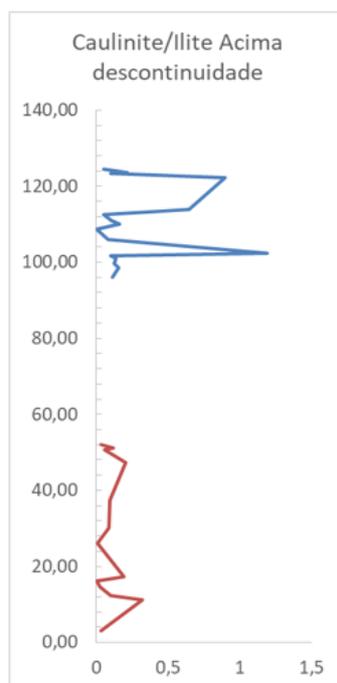


Figura 6.10. Ratios caulinite/ilite para as formações de Salema (vermelho) e Luz (Azul).

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

A relação caulinite/ilite (Fig.6.10) aumenta com a alteração química (Dinis *et al.*, 2015). Neste caso em específico é preciso ter em atenção que existem algumas amostras que apenas possuem mica-ilite, logo nessas amostras este ratio é igual a 0. Na Formação de Salema a relação caulinite/ilite é sempre inferior a 0,5, predominando valores da ordem de 0,2 ou inferiores. Na Formação de Luz também há algumas amostras com relações muito baixas, mas surgem duas incursões para valores mais altos.

O carácter mais ou menos oxidante ou redutor pode ser avaliado com base nos ratios V/Cr e Ni/Co (Madhavaraju, *et al.*, 2016). Para o V/Cr, ratios com valores superiores a 2 indicam ambientes tendencialmente anóxicos. Abaixo de 2 indicam ambientes oxigenados. Já para o ratio Ni/Co, valores acima de 5 indicam ambientes sub-óxidos a anóxicos. Sempre que é abaixo de 5 o ambiente é oxigenado.

Os ratios V/Cr e Ni/Co são relativamente baixos, indicando que as unidades se formaram em ambientes oxidantes. A projeção destes ratios em função da altura na coluna sedimentar (Fig.6.11) mostra grande diferença da gama de valores nas duas unidades. Eles são tendencialmente maiores na Formação de Salema do que na Formação de Luz, indicando que a segunda se formou sob condições mais oxigenadas.

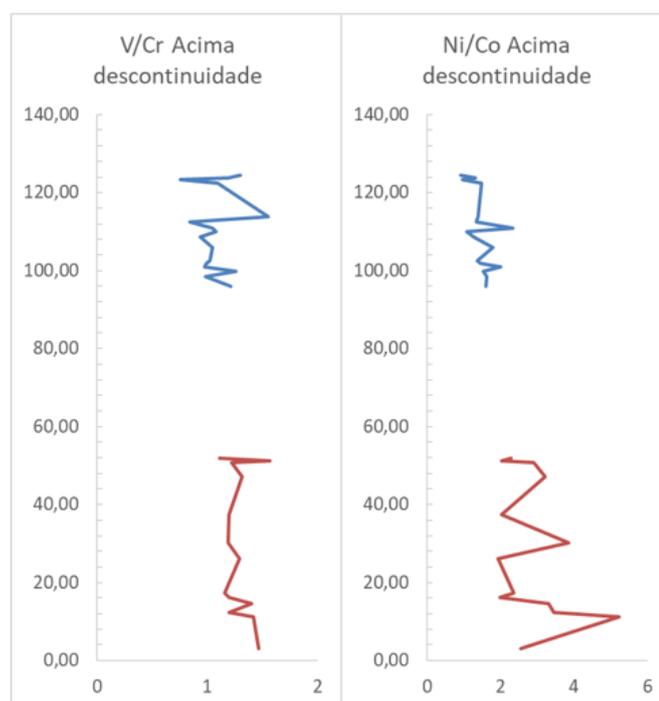


Figura 6.11. Ratios entre o V/Cr e Ni/Co para as formações da Salema (vermelho) e da Luz (Azul).

## Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve ocidental: as formações de Salema e da Luz

Em jeito de sumário, podemos afirmar que a alteração química afetou as unidades de maneira diferente. A Formação de Salema está associada a um sistema sedimentar caracterizado por uma menor intensidade dos processos de alteração química que a Formação de Luz. Inclusive é frequente ocorrerem amostras cujos índices de alteração química estão abaixo do limiar definidos para se adotar o ratio Th/U (Zhang, *et al.*, 2014). Uma menor intensidade da meteorização química associada à Formação de Salema também é patente nos índices WIP,  $K_2O/Th$ ,  $Rb/Ti$  e caulinite/ilite. Uma maior intensidade da alteração química para a Formação de Luz é particularmente evidentes se não se considerar a amostra PL0. Destaque ainda para o facto de os efeitos da meteorização química serem particularmente óbvios no topo do perfil estratigráfico da Formação de Luz.

### 6.3 Inferições paleogeográficas

A Formação de Salema depositou-se em condições marinhas a ambientes de transição. Ela apresenta vários níveis claramente marinhos, com vários fósseis característicos destas posições, bem como outros claramente salobros e, por vezes, subaéreos (testemunhados pelas pegadas de dinossáurios). Já a Formação de Luz deverá corresponder a um ambiente de transição, lagunar de águas salobras, por vezes influenciado por incursões marinhas, mas tendencialmente mais proximal e sempre mais oxigenado que a Formação de Salema. As unidades registam assim condições ambientais distintas. As alterações paleogeográficas que levaram aos diferentes ambientes sedimentares associados a estas unidades podem ter sido condicionadas por diferentes fatores climáticos, eustáticos, tectónicos ou outros.

No final do Aptiano, a bacia do Algarve estava localizada a paleolatitudes de aproximadamente 20° N. Trata-se de uma localização de charneira entre a parte Sul da província floral da Laurasia e a parte norte da província do Gondwana. A província da Laurasia seria caracterizada por clima subtropical quente e húmido, enquanto o norte do Gondwana, adjacente com a província da Laurasia, era caracterizado por vegetação do tipo savana, com condições áridas a semi-áridas (Heimhofer, *et al.*, 2008).

As condições climáticas na área de alimentação da bacia do Algarve durante o Cretácico constituem uma questão fundamental para o conhecimento da evolução paleogeográfica da margem sul da Península Ibérica e que merece aqui particular atenção. Abordam-se também outras características paleogeográficas – como por

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

exemplo, o relevo, geometria dos sistemas de drenagem, efeitos de reciclagem e a diagénese - que devemos ter em consideração quando se procede a uma análise do clima com base em índices geoquímicos e mineralógicos. Estas outras características também são de grande importância em reconstruções paleogeográficas.

Os dados composicionais obtidos neste trabalho, designadamente a associação de minerais de argila, as frequentemente baixas relações Th/U (por vezes mesmo inferiores ao valor limite para se poder este índice), bem como do índice CIX apontam para climas pouco húmidos que não favorecem a alteração química. As condições climáticas poderão ter evoluído, para o topo da sucessão analisada, já na Formação de Luz, no sentido de maior humidade. A generalidade dos índices climáticos, designadamente os CIX, WIP, Rb/Ti, Rb/K, Th/U e K<sub>2</sub>O/Th (Figs. 6.6, 6.8 e 6.9), apontam para esta tendência evolutiva. Condições mais húmidas tornar-se-iam particularmente evidentes na porção amostrada superior da Formação de Luz.

Todavia, há que ter presente que o estado de alteração química apresentada por um sedimento não depende exclusivamente das condições climáticas. A composição química e mineralógica de sedimentos e os índices usados para estabelecer a intensidade da meteorização química também são influenciados por outros fatores, como por exemplo:

- 1) Relevo da área de alimentação: é de esperar uma maior intensidade da meteorização em áreas com relevo suave e, em oposição, maior ação erosiva, limitando-se a progressão da meteorização, em áreas de relevo mais acentuado.
- 2) Reciclagem sedimentar: em casos de sedimentos alimentados de unidades sedimentares a composição é definida pelo somatório dos efeitos de meteorização gerados durante os vários ciclos sedimentares. Assim, a composição pode não refletir as condições ao tempo do último ciclo, mas ser herdada de histórias de alteração mais longas e complexas.
- 3) Natureza, mais ou menos félsica, da área de alimentação: materiais mais félsicos na origem tendem a apresentar maiores percentagens de muitos dos elementos químicos que acionam positivamente os índices de composição.

No que respeita ao último dos três pontos (natureza mais ou menos félsica da área de alimentação), os dados composicionais sugerem uma maior componente félsica nas camadas superiores do perfil da Formação de Luz. Todos os índices usados para estabelecer a contribuição félsica/máfica coincidem na defesa de uma alimentação similar na Formação de Salema e na parte mais baixa da Formação de Luz. Só posteriormente, nas partes intermédias e mais altas da Formação de Luz, é que se verifica de forma clara e consistente uma tendência para o aumento da componente félsica.

## Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve ocidental: as formações de Salema e da Luz

Como se viu acima, as unidades aqui estudadas foram alimentadas de outras formadas em contexto tectónico do tipo arco vulcânico (6.3 a 6.5). É de esperar que os materiais aqui estudados sejam derivados sobretudo das unidades do Carbonífero marinho da ZSP, cuja composição aponta para um contexto tectónico de arco vulcânico (Jorge *et al.*, 2012) e constituem o substrato da bacia do Algarve. De entre as unidades mais meridionais, que se dispõem na zona de fronteira da bacia do Algarve com o soco varisco, a Formação de Brejeira destaca-se das de Mira e de Mértola por apresentar maiores quantidades de quartzo, maiores percentagens de fragmentos líticos de rochas sedimentares e meta-sedimentares e valores maiores para os índices de alteração química, a par de maior conteúdo em Zr (Jorge *et al.*, 2012).

Respondendo ao empolamento crustal aquando do *rifting* do Cretácico, a zona SW da Península Ibérica terá sido soerguida (Whitmarsh e Wallace, 2001; Dinis *et al.*, 2008), sendo de prever que o soerguimento se inicie primeiro em zonas mais meridionais, progredindo depois para norte (Dinis *et al.*, 2016). Assim, no Aptiano é de prever que as áreas continentais fronteiras à bacia do Algarve estivessem tectonicamente elevadas, promovendo um relevo acentuado. Estas condições não serão favoráveis aos processos de meteorização. As áreas deposicionais, por sua vez, seriam caracterizadas por um reduzido relevo e pela presença de barreiras arenosas que protegiam os sistemas de transição dos agentes marinhos. Justifica-se assim a granulometria fina dos dois intervalos estratigráficos estudados neste trabalho.

Para averiguar o efeito da reciclagem dos sedimentos nos valores dos índices de alteração química foram efetuados diagramas em que se projetam as relações Zr/Sc vs Th/Sc e a intensidade de um índice de alteração química como uma terceira variável. Os gráficos Zr/Sc vs Th/Sc são usados de forma clássica para estabelecer o carácter mais ou menos félsico das áreas de alimentação e reconhecer o efeito de processos de reciclagem (McLennan *et al.*, 1993). A introdução de um índice de alteração química como uma terceira variável definida pelo diâmetro do símbolo (bolha proporcional ao índice de alteração química), permitirá perceber se os sedimentos com maior componente reciclada apresentam, ou não, sinais de maior meteorização química (Dinis *et al.*, 2017). Escolheram-se os índices CIX, K<sub>2</sub>O/Th, Rb/Ti e Th/U (Figs. 6.12- 6.14) por não serem redundantes e mostrarem uma tendência para o aumento da alteração química no topo da Formação de Luz. Para o tamanho das bolhas foi efetuada a transformada:

$$Z_{transf} = \frac{(Z - Z_{min})}{Z_{máx} - Z_{min}} + 0.01.$$

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

Com esta transformada os valores de todos os índices passam a variar entre 0,01 e 1,01.

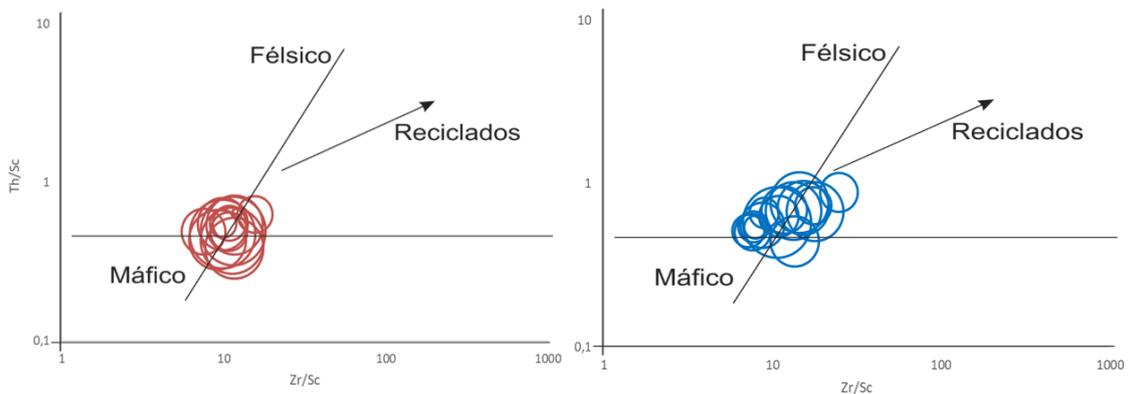


Figura 6.12. Diagramas de bolha para os valores da transformada do CIX para as formações de Salema (esquerda) e Luz (direita).

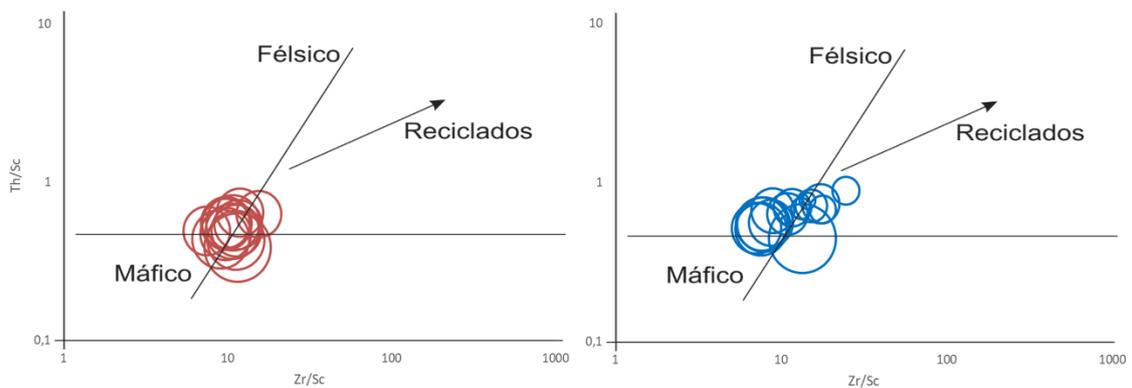


Figura 6.13. Diagramas de bolha para os valores da transformada do  $K_2O/Th$  para as formações de Salema (esquerda) e Luz (direita).

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

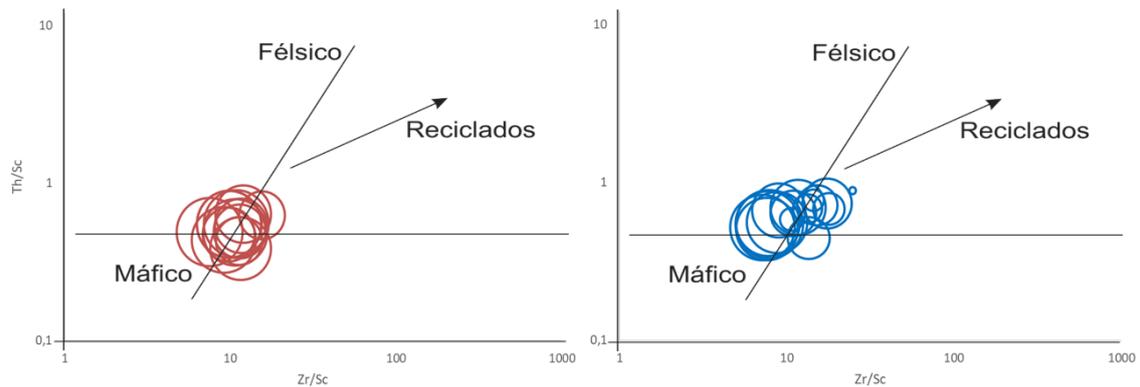


Figura 6.14. Diagramas de bolha para os valores da transformada do Rb/Ti para as formações de Salema (esquerda) e Luz (direita).

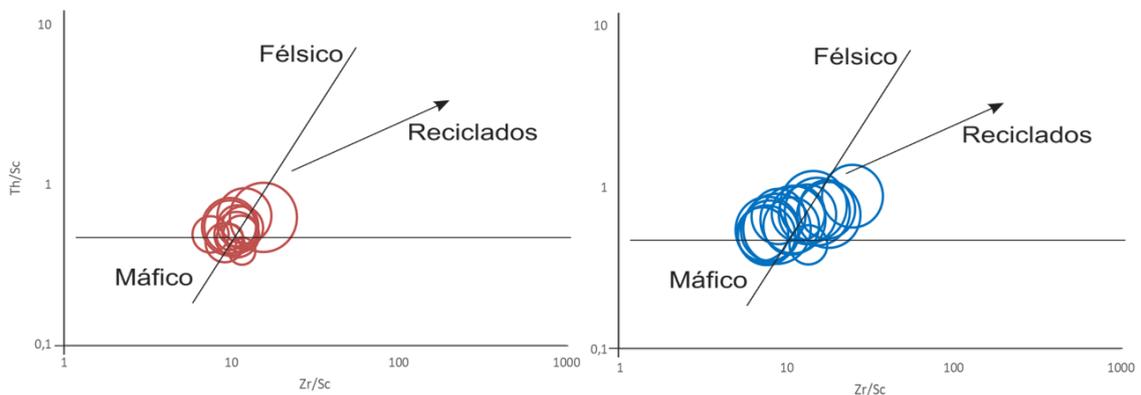


Figura 6.15. Diagramas de bolha para os valores da transformada do Th/U para as formações de Salema (esquerda) e Luz (direita).

Da construção dos gráficos de bolhas Zr/Sc-Th/Sc-índice de alteração química foi possível concluir que, em geral, a intensidade da meteorização química não está condicionada pela presença de sedimentos reciclados. De qualquer maneira, no caso da Formação de Luz nota-se alguma tendência para a diminuição das relações Rb/Ti e  $K_2O / Th$ , indicando, portanto, maior meteorização química, nos sedimentos que englobam maior componente reciclada. A diminuição da relação  $Al_2O_3 / SiO_2$  para o topo da Formação de Luz (Cap. 5) também pode estar relacionado com a presença de uma maior componente reciclada.

Das unidades geológicas que podem fornecer sedimentos para a bacia do Algarve, justificando uma alteração na composição das formações estudadas,

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

consideramos duas possibilidades. (1) conjuntos mesozoicos mais antigas da bacia do Algarve; (2) diferentes unidades da ZSP. No que respeita às unidades da ZSP, a Formação de Brejeira é a que está mais próxima da bacia do Algarve, constituindo o seu substrato Paleozoico na região onde foram amostradas as formações de Salema e Luz. Assim, é de admitir que a alteração composicional observada na Formação de Luz deverá refletir uma maior componente proximal. Se as diferenças na composição tivessem lugar em resposta a um maior afluxo de material da base do enchimento da bacia do Algarve, a hipótese de maior contribuição proximal também seria válida.

Parece, pois, provável que a deposição da Formação de Luz tenha tido lugar numa altura em que, respondendo a movimentações tectónicas ou oscilações eustáticas, as unidades mais proximais passaram a estar mais sujeitas à ação erosiva. A ser assim, não é provável que no Aptiano tenha havido uma alteração significativa nas condições climáticas. Se por um lado se verifica um aumento de alguns índices de alteração química, por outro, também se nota um aumento da componente félsica e, ainda que de forma menos clara, da componente reciclada. De qualquer maneira, como as formações se depositaram em ambientes distintos, com estados de oxidação/redução diferentes e tinham provavelmente áreas de alimentação com características fisiográficas e geológicas distintas, a sua comparação torna-se mais complicada.

## 7. Conclusão

A Formação de Salema depositou-se em condições marinhas a ambientes de transição. Possui vários níveis marinhos, com fósseis característicos, salobros e, por vezes, subaéreos (testemunhados pelas pegadas de dinossáurios). A Formação de Luz deverá corresponder a um ambiente de transição lagunar de águas salobras, por vezes influenciado por incursões marinhas. Além disso deverá ser mais proximal do que a Formação de Salema.

As amostras das duas formações apenas possuem dois tipos de minerais de argila: mica-ilite e a caulinite. Elas surgem em quantidades muito variáveis nas formações. Na Formação de Salema, a percentagem de ilite varia entre os 76 e os 100 %. Na Formação de Luz, observa-se uma maior percentagem de caulinite. A percentagem de ilite varia entre os 42 e 100 %.

Em termos geoquímicos, quando comparado com a Crosta Continental Superior, é de destacar o grande empobrecimento em  $\text{Na}_2\text{O}$  e um ligeiro empobrecimento em  $\text{SiO}_2$  nas duas formações, como é característico de unidades argilosas. Na Formação de Salema verifica-se um ligeiro enriquecimento do  $\text{MgO}$  que poderá estar relacionado com o maior conteúdo máfico ou maior influência marinha desta unidade. Em termos das REE, a Formação de Salema apresenta um empobrecimento destes elementos em relação à UCC, apesar de ser comum nas terras raras pesadas encontrar elementos com ligeiros enriquecimentos. Por outro lado, a Formação de Salema apresenta concentrações equiparáveis aos valores da UCC. No caso das terras raras pesadas é frequente observar-se um ligeiro enriquecimento nesta formação. Nas duas formações é observável uma anomalia negativa de Eu.

Não se observam diferenças geoquímicas ou mineralógicas claras entre fácies das duas formações. A semelhança composicional, em particular na Formação de Luz, sugere que os aspetos que conduziram a diferentes características macroscópicas que presidiram à diferenciação em fácies são essencialmente diagenéticas. Elas levaram a

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

particularidades cromáticas que não se refletem de forma clara na composição química e mineralógica dos sedimentos.

A Formação de Salema terá tido maior contribuição de material de origem máfica do que a Formação de Luz. Na Formação de Salema verificam-se variações bruscas nas relações usadas para estabelecer o carácter mais ou menos máfico/félsico, o que poderá indiciar que o enchimento à altura da deposição desta unidade estava mais condicionada por significativas alterações na natureza da área de alimentação. A Formação de Luz mostra variações regulares e suaves que apontam para um progressivo enriquecimento do conteúdo félsico ao longo do perfil. A deposição das duas formações ocorreu num ambiente tendencialmente oxidante, sendo a oxigenação particularmente elevada na Formação de Luz, refletindo uma menor altura da coluna de água.

Em termos de proveniência, os diagramas ternários apontam para um contexto tectónico do tipo arco vulcânico. Porém, sabe-se que durante o Cretácico a bacia do Algarve desenvolveu-se num contexto de margem continental afetada por processos de *rifting*. Logo, os resultados obtidos deverão refletir a natureza de unidades (meta) sedimentares da área fonte. Os dados composicionais mostram que as duas formações estudadas são alimentadas por unidades da Zona Sul Portuguesa.

Aparentemente, as duas formações estão associadas a diferentes intensidades dos processos de alteração química. A Formação de Salema apresenta geralmente evidências de menor meteorização que a Formação de Luz, sendo bastante evidente um aumento da intensidade para o topo da Formação de Luz. Esta tendência poderia estar ligada a um aumento da humidade para o topo da Formação de Luz.

Contudo, uma análise cuidada dos vários parâmetros geoquímicos, designadamente aqueles que sugerem alimentações mais ou menos félsicas e o efeito da reciclagem sedimentar, sugere que o aumento na intensidade da meteorização para o topo da Formação de Luz reflete diferenças na geologia da área de alimentação. Os níveis mais altos da sequência terão recebido um maior contributo de unidades proximais à bacia do Algarve, como a Formação de Brejeira do soco Carbonífero, ou conjuntos sedimentares mesozóicos depositados previamente na bacia do Algarve.

Assim, não é provável que no Aptiano tenha havido uma alteração significativa nas condições climáticas. Se por um lado se verifica um aumento de alguns índices de alteração química, por outro, também se nota um aumento da componente félsica e, ainda que de forma menos clara, da componente reciclada. De qualquer maneira, como as formações se depositaram em ambientes sedimentares distintos e com áreas de

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

alimentação de características fisiográficas e geológicas distintas, a dedução das condições climáticas é complicada.

Os dados composicionais, em particular os de geoquímica, permitem identificar uma rutura do registo sedimentar no seio da Formação de Luz que pode ser considerada equivalente da descontinuidade aptiana reconhecida na Bacia Lusitaniana. Esta descontinuidade não tem a mesma expressão na bacia do Algarve, não estando associada a qualquer alteração evidente nas características líticas.

Na presente investigação, o recurso a um conjunto diversificado de dados composicionais permitiu diferenciar diferentes fatores que podem condicionar a composição dos sedimentos. Mostra-se que os índices usados para estabelecer a meteorização química podem fornecer indicações enganadoras sobre o clima. Os dados geoquímicos funcionam como uma ferramenta auxiliar importante para o estabelecimento de correlações entre bacias quando as sucessões sedimentares se revelam homogéneas.

## 8. Referências bibliográficas

Alexandre, J., Gilst, R., Rodríguez-López, J. & De Boer, P. (2011), The sedimentary expression of oceanic anoxic event 1b in the North Atlantic, *Sedimentology*, 58, 1217-1246.

Antunes, M. & Pais, J., (1993), The Neogene of Portugal, *Ciencias Terra*, 12, 7-22.

Armstrong-Altrin, J.S. & Verma, S.P. (2005), Critical evaluation of six tectonic setting discrimination diagrams using geochemical data of Neogene sediments from known tectonic settings, *Sedimentary Geology*, 177, 115-129.

Azeredo, A.C.; Duarte, L.V.; Henriques, M.H. & Manupella, G. (2003) – Da dinâmica continental no Triásico aos mares do Jurássico Inferior e Médio. *Cadernos de Geologia de Portugal*. Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa, 43 p.

Berthou, P.Y.; Correia, F.; Prates, S. & Taugourdeau, J. (1983), Essai de synthèse du Crétacé de l'Algarve: biostratigraphie, paléogéographie, sédimentation argileuse. Première étude: biostratigraphie, paléogéographie, *Bulletin d'Information de Géologie du Bassin de Paris*, 20, 3-24.

Berthou, P.Y & Leereveld, H. (1990), Stratigraphic implications of palynological studies on Berriasian to Albian deposits from western and southern Portugal, *Review of Palaeobotany and Palynology*, 66, 591-594.

Bhatia, M. & Crook, K. (1986), Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins, *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 92, 181-193.

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

Bonnet, C. (1850), Algarve (Portugal). Description géographique et géologique de cette province, Acad. Roy. Scienc, Lisbonne, 186 p.

Borges, J., Huh, Y., Moon, Seulgi, M. & Noh, H. (2008), Provenance and weathering control on river bed sediments of the eastern Tibetan Plateau and the Russian Far East, *Chemical Geology*, 254, 52-74.

Buggle, B.; Glaser, B.; Hambach, U.; Gerasimenko, N. & Markovic, S. (2011), An evaluation of geochemical weathering indices in loess-paleosol studies, *Quaternary International*, 240, 11-21.

Burla, S., Heimhofer, U., Hochuli, P.A., Weissert, H. & Skelton, P. (2008), Changes in sedimentary patterns of coastal deep-sea successions from the North Atlantic (Portugal) linked to Early Cretaceous environmental change, *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 257, 38-57.

Cabral, M. (1995), Ostracodos do Cretácico inferior do Algarve e da região de Lisboa. Sistemática, biostratigrafia, aspectos paleontológicos e paleobiogeográficos, tese de doutoramento da Universidade de Lisboa, 442 p.

Cabral, M & Colin, J. (1998), Nouvelles especes de Limnocytheridae (Ostracodes Limniques) dans l'aptien du Portugal: systematique et paléoécologie, *Revue de Micropaléontologie*, 41, 269-279.

Caracciolo, L., Eynatten, H., Tolosana-Delgado, R., Critelli, S. & Manetti, P. (2012), Petrological, geochemical, and statistical analysis of Eocene-Oligocene sandstones of the western Thrace basin, Greece and Bulgaria, *Journal of Sedimentary Research*, 82, 482-498.

Chamley, H., (1989), *Clay Sedimentology*, Springer-Verlag, 623 p.

Choffat, P. (1887), Recherches sur les terrains secondaires au Sud du Sado, *Comm. Com. Trab. Geol. Portugal, Lisboa, t. I*, 222-312.

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

Choffat, P. (1950), *Geologie du Cenozoique du Portugal*. Comun. Serv. Geol. Portugal 30 (supl.), 128 p.

Critelli, S., Mongelli, G., Perri, F., Martín-Algarra, A., Martín-Martín, M., Perrone, V. & Domicini, R. (2008), Compositional and Geochemical Signatures for the Sedimentary Evolution of the Middle Triassic-Lower Jurassic Continental Redbeds from Western-Central Mediterranean Alpine Chains, *The Journal of Geology*, 116, 375-386.

Correia, F. (1989), *Estudo biostratigráfico e microfácies do Cretácico carbonatada da bacia sedimentar meridional portuguesa (Algarve)*, tese de doutoramento da Universidade de Lisboa, 377 p.

Damotte, R.; Ramalho, M. & Rey, J. (1988), Les Ostracodes aptiens de l'Algarve occidental (Portugal), *Rev. Micropal.*, 31, 38-48.

Deconinck, J.; Hesselbo, S.; Debuissier, N.; Averbuch, O.; Baudin, F. & Bessa, J. (2003), Environmental controls on clay mineralogy of an Early Jurassic mudrock (Blue Lias Formation, Southern England), *International Journal of Earth Sciences*, 92, 255-266.

Dinis, P. (2008), *Conjugação de técnicas em análise granulométrica de sedimentos. Algumas dificuldades e remedeios*, Terra: Conflitos e Ordem, Livro de Homenagem ao Professor Ferreira Soares, ed. Callapez, P; Rocha, R.; Marques, J.; Cunha, L. e Dinis, P. 25-30.

Dinis, P.; Tassinari, C. & Pinto, M. (2013), Geochemistry and detrital geochronology of stream sediments from East Timor: implications for the origin of source units, *Australian Journal of Earth Sciences*, 60, 509-519.

Dinis, P., Dinis, J., Mendes, M., Rey, J. & Pais, J. (2015), Geochemistry and mineralogy of the Lower Cretaceous of the Lusitanian Basin (western Portugal): Deciphering palaeoclimates from weathering indices and integrated vegetational data, *Comptes Rendus Geoscience*, 348, 139-149.

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

Dinis, P. & Oliveira, Á. (2016), Provenance of Pliocene clay deposits from Iberian Atlantic Margin and compositional changes during recycling, *Sedimentary Geology*, 336, 171-182.

Dinis, P.; Garzanti, E.; Vermeesch, P. & Huvi, J. (2017), Climatic zonation and weathering control on sediment composition (Angola), *Chemical Geology*, 467, 110-121.  
Dollfus, G., Cotter, J. & Gomes, J., (1903-04), Mollusques Tertiaires du Portugal. Planches de Cephalopodes, Gasteropodes et Pelecypodes laisses par F. A. Pereira da Costa. Comissão dos Serviços Geológicos de Portugal, vol.34.

Dunham, R. (1962), Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In Ham, W.E., *Classification of carbonate rocks*, Tulsa, American Association of Petroleum Geologists, 1, 108-122.

Dypvik, H. & Harris, N. (2001), Geochemical facies analysis of fine-grained siliciclastics using Th/U, Zr/Rb and (Zr+Rb)/Sr ratios, *Chemical geology*, 181, 131-146.

Gomes, C. (2003), *Argilas: O que são e para que servem*, Fundação Calouste Gulbenkian.

Feio, M. (1951), A evolução do relevo do baixo Alentejo e Algarve. *Comunicação dos Serviços Geológicos de Portugal*, 32, 303-477.

Galán, E., Fernández-Caliani, J.C., Miras, A., Aparicio, P. & Márquez, M.G., Residence and fractionation of rare earth elements during kaolinization of alkaline peraluminous granites in NW Spain, *Clay Minerals* 42, 341-352.

Gallet, S.; Jahn, B.-M.; Van Vliet Lanoe, B.; Dia, A. & Rossello, E. (1998), Loess geochemistry and its implications for particle origin and composition of the upper continental crust, *Earth and Planetary Science Letters*, 156, 157-172.

Garzanti, E. (2015), From static to dynamic provenance analysis-Sedimentary petrology upgraded, *Sedimentary Geology*, 336, 3-13.

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

Garzanti, E., Padoan, M., Peruta, L., Setti, M., Najman, Y. & Villa, I. (2013), Weathering geochemistry and Sr-Nd fingerprints of equatorial upper Nile and Congo muds, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 14, 292–316.

Grambast-Fessard, N. (1995), Quelques espèces de *Clypeator* Grambast (Clavatoracea) et les charophytes associées du Crétacé inférieur du Portugal, *Revue de Micropaleontologie*, 23, 37-47.

Gu,X.; Lui, J.; Zheng, M.; Tang, J. & Qi, L. (2002), Provenance and tectonic setting of the Proterozoic turbidites in Hunan, South China: geochemical evidence, *Journal of Sedimentary Research*, 72, 393-407.

Heimhofer, U.; Hochuli, P.; Burla, S.; Andersen, N. & Weissert, H. (2003), Terrestrial carbo-isotope records from coastal deposits (Algarve, Portugal): a tool for chemostratigraphic correlation on an intrabasinal and global scale, *Terra Nova*, 15, 8-13.

Heimhofer, U.; Hochuli, P.; Burla, S. & Weissert, H. (2006), New records of Early Cretaceous angiosperme pollens from portuguese coastal deposits: implications for the timing of the early angiosperm radiation, *Review of Palaeobotany and Palynology*, 144, 39-76.

Heimhofer, U., Adatte, T., Hochuli, P., Burla, S. & Weissert, H. (2008), Coastal sediments from the Algarve: low-latitude climate archive for the Aptian-Albian, *International Journal of Earth Sciences*, 97, 785-797.

Heimhofer, U., Hochuli, P., Burla, S., Oberli, F., Adatte, T., Dinis, J. & Weissert, H. (2012), Climate and vegetation history of western Portugal inferred from Albian near-shore deposits (Galé Formation, Lusitanian Basin), *Geological Magazine*, 149, 1046-1064.

Huber, B., Norris, R. & MacLeod, K. (2002), Deep-sea paleotemperature record of extreme warmth during Cretaceous, *The Geological Society of America*, 30, 123-126.

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

Huber, B., MacLeod, K., Grocke, D. & Kucera, M. (2011) Paleotemperature and paleosalinity inferences and chemostratigraphy across the Aptian/Albian boundary in the subtropical North Atlantic, *Paleoceanography*, 26.

Jorge, R.; Fernandes, P.; Rodrigues, B.; Pereira, Z. & Oliveira, J. (2013), Geochemistry and provenance of the Carboniferous Baixo Alentejo Flysch Group, South Portuguese Zone, *Sedimentary Geology*, 284-285, 133-148.

Lopes<sup>1</sup>, C. (2002), Análise e modelação da bacia do Algarve, Tese de Doutoramento da Universidade Nova de Lisboa, 173 p.

Lopes<sup>2</sup>, F. (2002), Análise tectono-sedimentar do Cenozóico da margem Algarvia, Tese de doutoramento – Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra.

Lopes, F. e Cunha, P. (2000), Estratigrafia sísmica do Cenozóico na plataforma continental algarvia: interpretação do controle tectónico da sedimentação", *Ciências da Terra (UNL)*, 14, 257-276.

Lopes, F.; Cunha, P. & Le Gall, B. (2006), Cenozoic seismic stratigraphy and tectonic evolution of the Algarve Margin (offshore Portugal, southwestern Iberian Peninsula), *Marine Geology*, 231, 1-36.

Medeiros-Gouvea, A. (1938), Algarve (Aspectos Fisiográficos), Tese de Doutoramento - Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, p. 157.

Marques, B. (1983), O Oxfordiano-Kimmeridgiano do Algarve oriental: estratigrafia, paleobiologia (Ammonoidea) e paleobiogeografia, Tese Doutoramento da Universidade Nova de Lisboa, 547 p.

Marques, M. (1997), As arribas do litoral do Algarve: dinâmicas, processos e mecanismos, Tese de Doutoramento – Departamento de Geologia, Universidade de Lisboa.

Madhavaraju, J.; Loser, H.; Lee, Y.; Santacruz, R. & Pi-Puig, T. (2016), Geochemistry of Lower Cretaceous limestones of the Alisitos Formation, Baja California, México:

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

Implications for REE source and paleo-redox conditions, *Journal of South American Earth Sciences*, 66, 149-165.

McLennan, S.; Hemming, S.; McDaniel, D. & Hanson, G. (1993), Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics. In: Johnsson, M. e Basu, A., *Processes controlling the composition of clastic sediments*, Geological Society of America, 21-40.

McLennan, S.; Hemming, S.; Taylor, S. & Eriksson, K. (1995), Early Proterozoic crustal evolution: Geochemical and Nb-Pb isotopic evidence from metasedimentary rocks, southwestern North America, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59, 1153-1177.

Mount, J. (1984), Mixing of siliciclastic and carbonate sediments in shallow shelf environments, *Geology*, 12, 432-435.

Nesbitt, H. & Young, G. (1982), Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites, *Nature*, 299, 715-717.

Ohta, T. & Arai, H. (2007), Statistical empirical index of chemical weathering in igneous rocks: A new tool for evaluating the degree of weathering, *Chemical Geology*, 240, 280-297.

Palain, C. (1976), Une serie detritique terrigene, les «Gres de Silves»: Trias et Lias Inferieur du Portugal, *Memórias dos Serviços Geológicos de Portugal*, N. S. 25, 377 p

Palain, C., (1979), Connaissances stratigraphiques sur la base du Mesozoique portugais, *Ciencias Terra*, 5, 11-28.

.Parker, A. (1970), An index of weathering for silicate rocks, *Geological Magazine*, 107, 501-504.

Pe-Piper, G., Triantafyllidis, S. & Piper, D. (2008), Geochemical identification of clastic sediment provenance from known sources of similar geology: the Cretaceous Scotian Basin, Canada, *Journal of Sedimentary Research*, 78, 595-607.

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

Perri, F. & Ohta, T. (2014), Paleoclimatic conditions and paleoweathering processes on Mesozoic continental redbeds from Western-Central Mediterranean Alpine Chains, *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 395, 144-157.

Potter, P.; Maynard, J. & Depetris, P. (2005), *Mud & Mudstones: introduction and overview*, Springer.

Price, J. & Velbel, M. (2003), Chemical weathering indices applied to weathering profiles developed on heterogeneous felsic metamorphic parent rocks, *Chemical Geology*, 202, 397-416.

Ramalho, M. & Rey, J. (1981), Reflexions sur la Formation cretacée de Porto de Mós (Algarve, Portugal), *Comunicações dos Serviços Geológicos Portugal*, 67, 35-39.

Rey, J., (1982), Le Cretace dans la region de Faro (Algarve, Portugal), *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, 68, 225-236.

Rey, J. (1983), Le Crétacé de l'Algarve: Essai de Synthèse, *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, 69, 87-101.

Rey, J. (1986), Micropaleontological assemblages, paleoenvironments and sedimentary evolution of the Cretaceous deposits in the Algarve (Southern Portugal), *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 55, 233-246.

Rey, J. (2006) Les Formations Cretacees de l'Algarve Occidental et Central, *Comunicações Geológicas*, 93, 39-80.

Rey, J. (2009), Les Formations Crétacées de l'Algarve Oriental, *Comunicações geológicas*, 96, 19-38.

Rey, J. (2010), La dynamique sédimentaire des Bassins Lusitanien et de l'Algarve au Crétacé Inférieur, *Ciências da Terra*, 17, 45-52.

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

Rey, J., Dinis, J., Callapez, P. & Cunha, P. (2006), Da rotura continental à margem passiva. Composição e evolução do Cretácico de Portugal, INETI<sup>1</sup>.

Rey, J. e Ramalho, M. (1973-74), Le Cretace de l'Algarve occidental, Comunicação dos Serviços Geológicos de Portugal, 57, 155-181.

Rocha, R., (1976), Estudo estratigráfico e paleontológico do Jurássico do Algarve ocidental, Ciências Terra 2, 178 p.

Rocha, R., Ramalho, M., Antunes, M. & Coelho, A. (1983), Notícia explicativa da folha 52-A Portimão, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Rodríguez-López, J., Meléndez, N., De Boer, P. & Soria, A. (2012), Controls on marine-erg margin cycle variability: aeolian-marine interaction in mid-Cretaceous Iberian Desert System, Spain, *Sedimentology*, 59, 466-501.

Roy, P.; Caballero, M.; Lozano, R. & Smykatz-Kloss, W. (2008), Geochemistry of late Quaternary sediments from Tecocomulco lake, central Mexico: Implication to chemical weathering and provenance, *Chemie der Erde*, 68, 383-393.

Ryan, K. & Williams, D. (2007), Testing the reliability of discrimination diagrams for determining the tectonic depositional environment of ancient sedimentary basins, *Chemical Geology*, 242, 103-125.

Santos, V., Callapez, P. & Rodrigues, N. (2013), Dinosaur footprints from the Lower Cretaceous of the Algarve Basin (Portugal): New data on the ornithopod palaeoecology and palaeobiogeography of the Iberian Peninsula, *Cretaceous Research*, 40, 158-169.

Sousa, P. & Sousa, A.J., (2000), Sistema ANDAD. CVRM-Centro de Geosistemas, IST, Lisboa.

Soares, A.; Kullberg, J.; Marques, J.; Rocha, R. & Callapez, P. (2012), Tectono-sedimentary model for the evolution of the Silves Group (Triassic Lusitanian basin, Portugal), *Bulletin de la Société Géologique de France*, 183, 203-216.

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

Taylor, S.R., & McLennan, S.M. (1985). The continental crust: Its composition and evolution. United States: Blackwell Scientific Pub., Palo Alto, CA.

Terrinha, P. (1998), Structural geology and tectonic evolution of the Algarve Basin, South Portugal, PhD Thesis, Imperial College, Univ. London, 430 p.

Terrinha, P.; Rocha, R.; Rey, J.; Cachão, M.; Moura, D.; Roque, C.; Martins, L.; Valadares, V.; Cabral, J.; Azevedo, M. R.; Barbero, L.; Clavijo, E.; Dias, R.; Matias, H.; Madeira, J.; Silva, C. M.; Munha, J.; Rebelo, L.; Ribeiro, C.; Vicente, J.; Noiva, J.; Youbi, N. & Bensalah, M. (2012), A bacia do Algarve: Estratigrafia, Paleogeografia e a Tectónica. In Dias, R.; Araújo, A.; Terrinha, P. & Kullberg, J.; Geologia de Portugal, Escolar Editora.

Terrinha, P., Ribeiro, C., Kullberg, J.C., Lopes, C., Rocha, R. & Ribeiro, A. (2002), Compressive Episodes and Faunal Isolation during Rifting, Southwest Iberia, The Journal of Geology, 110, 101-113.

Thiry, M. (2000), Palaeoclimatic interpretation of clay minerals in marine deposits: an outlook from the continental origin, Earth Science Reviews, 49, 201-223.

Velde, B. (1995), Origin and mineralogy of clays: clays and the environment, Springer-Verlag, Berlin.

Verma, S. & Armstrong-Altrin, J. (2013), New multi-dimensional diagrams for tectonic discrimination of siliciclastic sediments and their application to Precambrian basins, Chemical Geology, 355, 117-133.

Warren, J. & Kendall, C. (1985), Comparison of Sequences Formed in Marine Sabkha (Subaerial) and Salina (Subaqueous) Settings-Modern and Ancient, The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 69, 1013-1023.

White, A. & Brantley, S. (2003), The effect of time on weathering of silicate minerals: why do weathering rates differ in the laboratory and field?, Chemical Geology, 202, 479-506.

Estudo mineralógico, geoquímico e paleoambiental do Cretácico Inferior do Algarve  
ocidental: as formações de Salema e da Luz

Whitmarsh, R. B., & P. J. Wallace (2001), The rift-to-drift development of the West Iberia nonvolcanic continental margin: A summary and review of the contribution of Ocean Drilling Program Leg 173, Proc. Ocean Drill. Program Sci. Results, 173, 1–36.

Yan, Y., Xia, B., Lin, G., Cui, X., Hu, X., Yan, P. & Zhang, F. (2007), Geochemistry of the sedimentary rocks from the Nanxiong Basin, South China and implications for provenance, paleoenvironment and paleoclimate at the K/T boundary, Sedimentary Geology, 197, 127-140.

Zhang, Y., Pe-Piper, G. & Piper, D. (2014), Sediment geochemistry as a provenance indicator: Unravelling the cryptic signatures of polycyclic sources, climate change, tectonism and volcanism, Sedimentology, 61, 383-410.

**Web-sites:**

<https://earthref.org/GERM RD/11/>

## Anexos

