



**Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia**

**Mestrado em Engenharia Geológica**

Dissertação

**Caracterização mineralógica e isotópica das rochas  
carbonatadas no setor de Alter do Chão - Elvas (Zona de  
Ossa Morena)**

**Laura Isabel Seco Andrade**

Orientador(es) | Jorge Manuel Pedro  
Noel Alexandre Fontes Moreira

Évora 2022





**Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia**

**Mestrado em Engenharia Geológica**

Dissertação

**Caracterização mineralógica e isotópica das rochas  
carbonatadas no setor de Alter do Chão - Elvas (Zona de  
Ossa Morena)**

**Laura Isabel Seco Andrade**

Orientador(es) | Jorge Manuel Pedro

Noel Alexandre Fontes Moreira

Évora 2022

---

---

---

---

---



A dissertação foi objeto de apreciação e discussão pública pelo seguinte júri nomeado pelo Diretor da Escola de Ciências e Tecnologia:

Presidente | António Bastos de Pinho (Universidade de Évora)

Vogais | Maria dos Anjos Marques Ribeiro (Universidade do Porto) (Arguente)  
Noel Alexandre Fontes Moreira () (Orientador)

*“All great changes are preceded by chaos”*

Deepak Chopra



## Agradecimentos

Nas seguintes linhas gostaria de agradecer formalmente a todos o que por este percurso contribuíram para a minha motivação, sucesso e finalização.

Em primeiro lugar um agradecimento muito importante ao orientador Professor Doutor Jorge Pedro e co-orientador Doutor Noel Moreira pela confiança em mim depositada para desenvolver este tema, por toda a ajuda e orientação prestada ao longo deste ano, e acima de tudo por todos os conhecimentos transmitidos com a realização do mesmo.

Agradecer ao Laboratório de Geologia Isotópica da Universidade de Aveiro, particularmente à Sara Ribeiro e José Francisco Santos pelo apoio na realização da análise isotópica. Ao Laboratório HERCULES, particularmente ao Professor Doutor José Mirão e Professora Doutora Patrícia Moita pelo apoio prestado na interpretação e análise de difração de raios-X. Também agradecer ao Professor Doutor Carlos Ribeiro por todos os conhecimentos transmitidos e palavras de incentivo.

Agradecer à Tia Sandra, assistente técnica do laboratório de Geologia da Universidade de Évora, por todo apoio prestado na elaboração das lâminas e restantes tratamentos das amostras. Mais pessoalmente, agradecer por todos os bolos e cafés e pelo carinho com que trata todos os que pelo 023 vão passando. Foram muitos dias a dar força e sempre com as palavras certas, obrigado Tia!

Agradecer às amigadas que se criam durante estes percursos, amigadas essas que dão todo o apoio e incentivo, amigos de estudo, de diversões, de geologia, de conversas de café, de saídas de campo. Obrigada a cada um de vocês, e peço desculpa se me esqueço de alguém, mana Daniela, Acácio, Rúben, Mariana, Lídia, Vítor, Barradas, Gonçalo, Carolina, Zé, Rui...

Um agradecimento especial ao Rúben Vicente por todo o conhecimento e ajuda prestada na realização dos mapas de amostragem. E à Mariana muito obrigado por toda a ajuda ao longo de todo este caminho que fizemos juntas e por todas os dias em que nos motivamos uma à outra para continuar.

Um agradecimento muito especial, a quem tudo devo, à minha família que são o meu pilar, que apoiam as minhas conquistas e suportam as minhas quedas desde o início. Obrigado mãe e pai por tudo o que me ensinaram e me ensinam todos os dias.

Por fim, mas não menos importante, alguém a quem tento agradecer todos os dias, a ti Paulo, um obrigado enorme, por todos os dias me dizeres aquilo que sou capaz e me ajudares a continuar, pelo apoio incondicional e à distância que todos os dias me faz acreditar.

Esta dissertação foi financiada por fundos nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito do programa de financiamento do Instituto de Ciências da Terra (Ref<sup>as</sup> UIDB/04683/2020 e UIDP/04683/2020).



## Resumo

A Formação Carbonatada de Elvas (Setor de Alter do Chão - Elvas, Zona de Ossa Morena) caracteriza-se por uma espessa sucessão de rochas carbonatadas de idade Câmbrica, intruída por um conjunto de complexos plutónicos variscos, nomeadamente o Complexo Máfico-Ultramáfico Alter do Chão, Complexo Plutónico de Alter Pedroso e Vaiamonte, ambos de idade câmbrico-ordovícica, e Complexo Plutónico de Santa Eulália de idade carbónica. Através da análise petrográfica, complementada pela caracterização mineralógica por DRX e isotópica ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) das rochas carbonatadas é possível identificar um conjunto de variações mineralógicas e isotópicas que ocorrem devido à intrusão destes complexos. Diferencia-se um grupo de amostras que não apresenta modificações petrográficas e isotópicas (grupo distante dos complexos plutónicos), sendo que os restantes grupos apresentam modificações com a intrusão dos complexos referidos. Reportam-se diferentes modificações mineralógicas e texturais com o aparecimento de uma mineralogia calcossilicatada diversificada (diópsido, vesuvianite, escapolite, granada, epídoto e plagioclase) nos grupos amostrais proximais aos corpos plutónicos. Por outro lado, a razão isotópica ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) apresenta um comportamento heterogéneo, quando comparada com a assinatura isotópica primária, variando significativamente devido ao processo de dolomitização secundária, mas também nas rochas carbonatadas proximais aos complexos plutónicos câmbricos-ordovícicos. Os restantes grupos amostrais apresentam uma variação da razão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  pouco significativa. Os resultados demonstram importantes modificações mineralógica, texturais e isotópicas nas rochas carbonatadas em resultado da interação entre os complexos plutónicos intrusivos na sucessão carbonatada.

**Palavras-chaves:** Formação Carbonatada de Elvas; Zona de Ossa Morena;  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , Complexos Plutónicos Variscos;

## **Mineralogic and isotopic characterization of carbonate rocks from Alter do Chão – Elvas sector (Ossa Morena Zone)**

### **Abstract**

The Elvas Carbonate Formation (Alter do Chão - Elvas Sector, Ossa Morena Zone) is characterized by a thick succession of carbonate rocks with Cambrian age, intruded by set of variscan plutonic complexes, namely the Alter do Chão Mafic-Ultramafic Complex, Alter Pedroso e Vaiamonte Plutonic Complex, both of Cambrian-Ordovician age, and the Santa Eulália Plutonic Complex of Carboniferous age. Through petrographic, supported by XRD mineralogical characterization, and isotopic ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) analysis of the carbonate rocks, it is possible to identify a set of mineralogical and isotopic changes that occur due to the intrusion of those complexes. It is possible to differentiate a group of samples that does not undergo any petrographic and isotopic modifications (far from the plutonic complexes), while the remaining groups suffered modifications with the intrusion of the mentioned complexes. Different mineralogical and textural modifications are reported with genesis of diversified calcosilicate mineralogy (diopside, vesuvianite, scapolite, garnet, epidote and plagioclase) in the sample groups proximal to the mentioned plutonic bodies. On the other hand, the isotopic ratio ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) shows a heterogeneous behavior when compared to the primary isotopic signature, with significant variation due to the secondary dolomitization process, but also in the carbonate rocks proximal to the Cambrian-Ordovician plutonic complexes. The remaining sample groups show little significant  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratio variation. The results demonstrate the important of mineralogical, textural and isotopic modifications in the carbonate rocks as a result of the interaction between the intrusive plutonic complexes in the carbonate succession.

**Keyword:** Elvas Carbonate Formation; Ossa Morena Zone;  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ; Variscan Plutonic Complexes;

## Índice

<b>Agradecimentos</b> .....	III
<b>Resumo</b> .....	VI
<b>Abstract</b> .....	VII
<b>Índice</b> .....	VIII
<b>Índice de Figuras</b> .....	IX
<b>Índice de Tabelas</b> .....	XIII
<b>Lista de Abreviaturas</b> .....	XIV
1. Introdução .....	1
2. Enquadramento Geológico .....	3
2.1. Sedimentação carbonatada na Zona de Ossa Morena .....	5
2.2. Magmatismo do Setor de Alter do Chão - Elvas .....	6
3. Amostragem e métodos .....	7
3.1. Amostragem .....	7
3.2. Métodos laboratoriais .....	10
3.2.1. Pulverização de amostras .....	10
3.2.2. Manufatura de lâminas .....	11
3.3. Métodos analíticos .....	12
3.3.1. Análise petrográfica .....	12
3.3.2. Análise por difração de raios-X.....	13
3.3.3. Análise Isotópica.....	13
4. Resultados .....	15
4.1. Análise petrográfica .....	15
4.2. Análise por difração de raios-X.....	29
4.3. Geoquímica de isótopos de estrôncio $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ .....	39
5. Discussão dos resultados .....	47
5.1. Síntese das características mineralógica, texturais e isotópicas...	47
5.2. Significado das características petrográficas .....	52
5.3. Classificação da natureza das amostras.....	55
5.4. Os processos que afetam a razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ primária.....	61
5.4.1. Teor relativo em carbonatos .....	62
5.4.2. Dolomitização secundária .....	63
5.4.3. Instalação de corpos magmáticos e metassomatismo ....	64
5.5. Condicionamentos térmicos .....	67
6. Conclusões .....	73
6.1. Trabalhos Futuros .....	74
Referências Bibliográficas .....	77
Anexos .....	83

## Índice de Figuras

Figura 1 - Setores da Zona de Ossa Morena (adaptado de Oliveira <i>et al.</i> , 1991 e Araújo <i>et al.</i> , 2013).....	3
Figura 2 - Coluna estratigráfica do sector de Alter do Chão - Elvas (adaptado de Oliveira <i>et al.</i> , 1991; Pereira e Silva, 2006; Sánchez-García <i>et al.</i> , 2010).....	4
Figura 3 - Diagrama do esquema de trabalhos realizado para a preparação de amostras.....	7
Figura 4 - Localização dos locais de amostragem (base geográfica Google Earth).....	8
Figura 5 - Mapa Geológico do Setor de Alter do Chão - Elvas (adaptado da carta geológica de Portugal à escala 1:50 000, folhas de Portalegre (32-B), Sousel (32-D), Campo Maior (33-C) e Elvas (37-A)) com a localização das amostras recolhidas..	10
Figura 6 – Fotomicrografias das rochas do Grupo 1. A) Aspeto geral da amostra MONF-1 com textura granoblástica inequigranular e cristal de escapolite (NX); B) Aspeto geral da amostra MONF-4 com textura granoblástica de grão médio, cristais de calcite maclados (tipo I e II) e ocorrência de microcristais de epidoto (NX); C) Aspeto geral da amostra MONF-5 com textura granoblástica inequigranular e cristais de escapolite (0,5-2mm) (NX); D) Pormenor da amostra MONF-5 com cristal de escapolite fraturado numa matriz constituída por calcite (vermelho de alizarina) com quartzo e micas (N//); E) Aspeto textural da amostra BARB-14 com textura granoblástica média a grosseira, com calcite e dolomite e ocorrência de calcite tardia nas fraturas de dolomite (NX); F) Aspeto textural da amostra BARB-18 de granularidade fina com cristais de escapolite (NX).....	17
Figura 7 - Fotografias em amostra de mão das rochas não carbonatadas do Grupo 2. A) Aspeto textural da amostra BARB-16 com textura granoblástica inequigranular e presença de veios com calcite e diópsido. B) Aspeto textural da amostra BARB-15 de textura granoblástica equigranular fina com alternância de bandas ricas em escapolite e quartzo (cor clara) e bandas ricas em diópsido (cor escura). .....	18
Figura 8 - Fotomicrografias das rochas do Grupo 2. A) Aspeto textural da amostra MON-1 de granularidade média, calcite com maclas do tipo II e IV e epidoto (NX); B) Aspeto textural da amostra MONF-2, calcite com maclas do tipo I e IV, zonas com pontos triplos no contacto da calcite e granada com inclusões de epidoto (NX); C) Aspeto textural da amostra MONF-3 calcite com maclas do tipo II e IV e veio de vesuvianite (NX); D) Aspeto textural da amostra BARB-17 com dimensão grosseira de calcite com maclas do tipo I e II e epidoto submilimétrico (NX); E) Aspeto geral da textura granoblástica da amostra calcossilicatada s.l. BARB-15 com diópsido e escapolite (N//); F) Aspeto textural da amostra calcossilicatada s.l. BARB-16 de uma zona mais grosseira com escapolite, diópsido e pouca calcite (NX).....	21

Figura 9 - Fotomicrografias das rochas do Grupo 3. A) Amostra BARB-10, com o pormenor de um grão de calcite numa zona porosa (N//); B) Evidência de grãos de dolomite euédrica da amostra BARB-11 (NX); C) Aspeto textural da amostra BARB-12 com quartzo e fases opacas numa matriz de dolomite muito fina (N//); D) Aspeto textural da amostra MONF-6, calcite com maclas do tipo I e II e micas (NX); E) Aspeto textural da amostra BARB-19, dimensão do grão média e grãos de calcite com maclas do tipo I e II e quartzo (NX); F) Aspeto geral da textura fina da amostra BARB-13 (N//).....	24
Figura 10 - Fotomicrografias das rochas do Grupo 4. A) Aspeto textural da amostra MONF-7 com cristais de calcite, escapolite e quartzo com rebordos irregulares (NX); B) Aspeto textural da amostra MONF-9 de uma zona com micas e fases mineralógicas opacas associadas (N//); C) Aspeto textural da amostra MONF-8, matriz composta por calcite, quartzo e biotite com cristais de escapolite (N//); D) Pormenor da amostra MONF-8 dos grãos de escapolite numa matriz fina (NX). .....	27
Figura 11 - Fotomicrografias das rochas do Grupo 5. A) Aspeto geral da amostra BAT-1 de granularidade muito fina com calcite pontual (evidenciada pelo vermelho de alizarina) (NX); B) Veio de epídoto e de calcite mais tardio na amostra BAT-1 (NX); C) Aspeto geral da amostra BAT-2 com grãos de calcite pontuais (solução vermelho de alizarina) e clorite (N//). D) Pormenor da textura submilimétrica da amostra BAT-2 (NX) .....	29
Figura 12 - Resultados da análise de DRX da amostra MON-1 utilizando: A) fração crivada B) fração global. ....	30
Figura 13 - Composição mineralógica carbonatada (calcite e dolomite) e não carbonatada analisada por DRX. ....	31
Figura 14 - Composição mineralógica não carbonatada analisada por DRX. ....	32
Figura 15 - Projeção dos dados da difração de raios-X das amostras do Grupo 1 - proporção mineralogia carbonatada e não carbonatada. ....	33
Figura 16 - Projeção dos dados da difração de raios-X das amostras do Grupo 2 - proporção mineralogia carbonatada e não carbonatada. ....	35
Figura 17 - Projeção dos dados da difração de raios-X das amostras do Grupo 3 - proporção mineralogia carbonatada e não carbonatada. ....	36
Figura 18 - Projeção dos dados da difração de raios-X das amostras do Grupo 4 - proporção mineralogia carbonatada e não carbonatada. ....	38
Figura 19 - Projeção dos dados da difração de raios-X das amostras do Grupo 5 - proporção mineralogia carbonatada e não carbonatada. ....	39
Figura 20 - Projeção das razões ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) obtidas nas fases carbonatadas das amostras em estudo. A sombreado encontra-se o campo proposto por Moreira <i>et al.</i> (2019) para a assinatura primária dos carbonatos do Câmbrico da ZOM. ....	41

Figura 21 - Projeção dos resultados da razão isotópica de estrôncio ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) relativo ao Grupo 1 (a sombreado marca-se o campo proposto por Moreira <i>et al.</i> (2019) para a assinatura primária dos carbonatos câmbricos da ZOM). .....	42
Figura 22 - Projeção dos resultados da razão isotópica de Estrôncio ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) relativos ao Grupo 2 (a sombreado marca-se o campo proposto por Moreira <i>et al.</i> (2019) para a assinatura primária dos carbonatos do Câmbrio da ZOM). .....	43
Figura 23 - Projeção dos resultados da razão isotópica de Estrôncio ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) relativos ao Grupo 3 (a sombreado marca-se o campo proposto por Moreira <i>et al.</i> (2019) para a assinatura primária dos carbonatos do Câmbrio da ZOM). .....	44
Figura 24 - Projeção dos resultados da razão isotópica de estrôncio ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) relativos ao Grupo 4 (a sombreado marca-se o campo proposto por Moreira <i>et al.</i> (2019) para a assinatura primária dos carbonatos do Câmbrio da ZOM). .....	45
Figura 25 - Projeção dos resultados da razão isotópica de estrôncio ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) relativos ao Grupo 5 (a sombreado marca-se o campo proposto por Moreira <i>et al.</i> (2019) para a assinatura primária dos carbonatos do Câmbrio da ZOM). .....	46
Figura 26 - Quadro paragenético dos diferentes grupos com base na análise petrográfica e mineralógica por DRX. ....	48
Figura 27 - A) Aspeto textural da amostras BARB-19 com rebordos irregulares dos grãos de calcite (NX); B) Pormenor da amostras BARB-11 com dolomite euédrica em zona porosa (NX); C) Aspeto textural da amostra BARB17, com tendência para a poligonização dos grãos de calcite (NX); D) Contacto entre vesuvianite e calcite, calcite com maclas do tipo II e IV da amostra MONF-3 (NX); E) Granada com inclusões de epidoto e contacto com calcite da amostra MONF-2 (NX); F) Aspeto textural da amostra MONF-5 com blastos de escapolite numa matriz mais fina (NX). ....	54
Figura 28 - Projeção da composição mineralógica das rochas em estudo no diagrama adaptado de Giannini (2000). ....	57
Figura 29 - Projeção da composição mineralógica das rochas em estudo no diagrama adaptado de Gamero-Díaz <i>et al.</i> (2012) e Massaro <i>et al.</i> (2017). ....	58
Figura 30 - Projeção da composição mineralógica das rochas em estudo no diagrama adaptado de Davis & Ferry (1993) e Mathieus <i>et al.</i> (2015). ....	59
Figura 31 - Projeção das razões minerais carbonatados/ (minerais carbonatados + minerais calcossilicatados) vs. Minerais carbonatados/ (minerais carbonatados + quartzo + biotite + moscovite + clorite + feldspato alcalino + talco + argila). ....	61
Figura 32 - Projeção das percentagens de calcite + dolomite vs. razão isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (a sombreado marca-se o campo proposto por Moreira <i>et al.</i> (2019) para a assinatura primária dos carbonatos câmbricos da ZOM). ....	62

- Figura 33 - Projeção da razão dolomite/ (dolomite + calcite) vs. a razão isotópica  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , para as amostras do Grupo 3 (A e B). Neste gráfico estão também incluídas as amostras de Moreira *et al.* (2019), vide cap. 5 (a sombreado marca-se o campo proposto por Moreira *et al.* (2019) para a assinatura primária dos carbonatos câmbricos da ZOM). .....64
- Figura 34 - Projeção da razão Minerais carbonatados/ (Minerais carbonatados + minerais calcossilicatados) vs. Razão isotópica  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (a sombreado marca-se o campo proposto por Moreira *et al.* (2019) para a assinatura primária dos carbonatos câmbricos da ZOM e a tracejado representa-se a linha de tendência dos grupos amostrais). .....66
- Figura 35 - Relação da proximidade das rochas carbonatadas do Grupo 4 com os corpos magmáticos de natureza percalcalina: mapa simplificado com a projeção da proximidade das amostras do Grupo 4 e auréola de metamorfismo de contacto. (Adaptado da Carta geológica 32-D Sousel à escala 1/50 000). .....67
- Figura 36 - Esquema da temperatura e das fases minerais observada com a localização de cada grupo (adaptado de Passchier & Trouw, 2005; Bucher & Grapes, 2011; Sharma & Sharma, 2020). .....70
- Figura 37 - Corte geral interpretativo com as principais características texturais, mineralógicas e isotópicas dos diversos grupos e subgrupos amostrais, bem como a relação espacial com os corpos intrusivos do Setor Alter do Chão - Elvas. ....71

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Localização (Latitude e Longitude) da amostragem efetuada. ....	8
Tabela 2 - Subdivisão de amostragem de acordo com a proximidade aos corpos magmáticos intrusivos no Setor de Alter do Chão - Elvas. ....	9
Tabela 3 - Síntese das características petrográficas das amostras do Grupo 1. (Abreviaturas: Qz-quartzo; Bt-biotite; Ep-epídoto; Scp-escapolite; Ms-moscovite; Di-diópsido e Opq-minerais opacos). ....	15
Tabela 3.1 - Síntese das maclas observadas nas amostras do Grupo 1. ....	16
Tabela 4 - Síntese das características petrográficas das amostras do Grupo 2. (Abreviaturas: Vs-vesuvianite; Grt-granada; Chl-clorite; Fsp-feldspato; Pl-plagioclase; e restantes abreviaturas idênticas às anteriores). ....	19
Tabela 4.1 - Síntese das maclas observadas nas amostras do Grupo 2. ....	19
Tabela 5 - Síntese das características petrográficas das amostras do Grupo 3. (Abreviaturas: Ser-sericite; restantes abreviaturas idênticas às figuras anteriores). ....	22
Tabela 5.1 - Síntese das maclas observadas nas amostras do Grupo 3. ....	23
Tabela 6 - Síntese das características petrográficas das amostras do Grupo 4. (Abreviaturas: idênticas às anteriores). ....	25
Tabela 6.1 - Síntese das maclas observadas nas amostras do Grupo 4. ....	26
Tabela 7 - Síntese das características petrográficas das amostras do Grupo 5. (Abreviaturas: Py-pirite e restantes abreviaturas idênticas às figuras anteriores). ....	28
Tabela 7.1 - Síntese das maclas observadas nas amostras do Grupo 5. ....	28
Tabela 8 - Razão isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ obtidas por Espectrometria de Massa de Ionização Térmica. ....	40
Tabela 9 - Síntese das características petrográficas e isotópicas dos grupos amostrais em estudo com base nos dados petrográficos e da análise de difração de raios-X. ....	51

**Lista de Abreviaturas**

A abreviatura do nome dos minerais com base no artigo do Whitney e Evans (2010).

Qz - Quartzo	Scp - Escapolite
Bt - Biotite	Tlc - Talco
Cal - Calcite	Pl - Plagioclase
Dol - Dolomite	Fsp - Feldspato
Di - Diópsido	Grt - Granada
Ms - Moscovite	Wo - Wolastonite
Chl - Clorite	Ep - Epídoto
Ves - Vesuvianite	Ser - Sericite
Opq - Minerais opacos	Py - Pirite
Mnt - Montemorilonite	

ZOM – Zona de Ossa Morena

DRX – Difração de raios-X

TIMS – Espectrometria de Massa de Ionização Térmica

CPSE – Complexo Plutónico de Santa Eulália

MPAPV – Maciço Peralcalino de Alter Pedroso e Vaiamonte

CMUAC – Complexo Máfico - Ultramáfico de Alter do Chão

Cal-I – Calcite com maclas do tipo I

Cal-II – Calcite com maclas do tipo II

Cal-III – Calcite com maclas do tipo III

Cal-IV – Calcite com maclas do tipo IV

N// – Nicóis paralelos

NX – Nicóis cruzados



## 1. Introdução

A presente dissertação de cariz técnico-científico, incide no estudo das rochas carbonatadas do Setor de Alter do Chão - Elvas, localizado na Zona de Ossa Morena (ZOM). As rochas da Formação Carbonatada de Elvas do Setor de Alter do Chão - Elvas resultam de um episódio de sedimentação marinha durante o Câmbrico Inferior (Oliveira *et al.*, 1991). Este episódio é interpretado como resultante dos processos de *rifting* intra-continental, associado ao estiramento do bordo norte do Gondwana (Oliveira *et al.*, 1991; Moreira *et al.*, 2019). Durante a sedimentação carbonatada marinha (calcítica ou dolomítica), o estrôncio presente na água do mar entra na estrutura cristalina dos minerais carbonatados, substituindo o cálcio ou o magnésio na estrutura dos carbonatos precipitados. Assim, assume-se que a razão isotópica de estrôncio presente na água do mar, fica preservada nos carbonatos marinhos, à qual se dá o nome de razão isotópica primária.

A assinatura  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  para as águas do mar é considerada uniforme para um mesmo oceano, num determinado momento temporal (McArthur *et al.*, 2012), permitindo a definição de curvas de variação de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  para a água do mar (e.g. Derry *et al.*, 1994; Brasier *et al.*, 1996; Denison *et al.*, 1998). Este princípio permite confirmar se a assinatura da razão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  nas rochas carbonatadas da Formação Carbonatada de Elvas do Setor de Alter do Chão - Elvas é semelhante à assinatura considerada como representativa do Câmbrico Inferior.

Estudos preliminares, obtidos num reduzido número de amostras (Moreira *et al.*, 2019), mostram semelhança entre a assinatura isotópica de estrôncio em mármore calcíticos de grão fino do Setor de Alter do Chão - Elvas com a assinatura  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  indicada para o Câmbrico inferior. Contudo, diversos processos geológicos parecem influenciar as características mineralógicas das rochas carbonatadas e consequentemente alterar a assinatura isotópica primária de estrôncio.

Moreira *et al.* (2018a; 2019) propõem que processos de dolomitização e de metamorfismo/metassomatismo, com interação de fluídos de alta temperatura, são capazes de influenciar a razão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  primária presente nas rochas carbonatadas.

Neste contexto, a Formação Carbonatada de Elvas do Setor de Alter do Chão - Elvas, afetada por metamorfismo regional na fácies dos xistos verdes e pelo metamorfismo de contato associado à intrusão dos corpos plutónicos, nomeadamente o Complexo Máfico - Ultramáfico de Alter do Chão, Maciço Peralcalino de Alter Pedroso e Vaiamonte e o Complexo Plutónico de Santa Eulália, permite estudar de que forma a

razão primária  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  é afetada pela ação do metamorfismo de contato e do metassomatismo associado à instalação de corpos plutônicos.

Para o efeito foram selecionadas amostras de rochas carbonatadas do Câmbrio Inferior de todo o Setor de Alter do Chão - Elvas com o intuito de caracterizar adequadamente:

**1)** As características mineralógicas e isotópicas ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) nos mármore resultantes de metamorfismo regional de baixo grau (fáceis dos xistos verdes; Moreira *et al.*, 2014a); e

**2)** As características mineralógicas e isotópicas nas rochas carbonatadas e calcossilicatadas *s.l.* resultantes do metamorfismo de contato associado à intrusão de corpos plutônicos.

O plano de trabalho, consistiu em trabalho de campo e numa importante componente técnica/laboratorial, que proporcionou aplicar um conjunto de metodologias laboratoriais e adquirir competências técnicas para a caracterização de materiais geológicos, nomeadamente na preparação e pulverização de amostras para a obtenção de pós para caracterização mineralógica por difração de raios-X (DRX) e para a caracterização isotópica em estrôncio por espectrometria de massa de ionização térmica (TIMS), bem como na manufatura de lâminas delgadas para análise petrográfica.

A dissertação encontra-se dividida num conjunto de secções, desde o enquadramento geológico, amostragem e métodos, resultados obtidos por DRX, TIMS e análise petrográfica, sendo que os capítulos finais são dedicados à discussão, interpretação dos resultados e conclusões, sendo, também, incluída um breve subcapítulo com possíveis trabalhos futuros.

## 2. Enquadramento Geológico

As amostras em estudo são provenientes da Formação Carbonatada de Elvas do Setor de Alter do Chão - Elvas. Este setor, como o nome indica, corresponde a uma faixa de orientação geral NW-SE que se estende desde Alter do Chão a Elvas (Fig. 1), estando incluso nas folhas de Portalegre (32-B), Sousel (32-D), Campo Maior (33-C) e Elvas (37-A) da Carta Geológica de Portugal à escala 1/50.000.

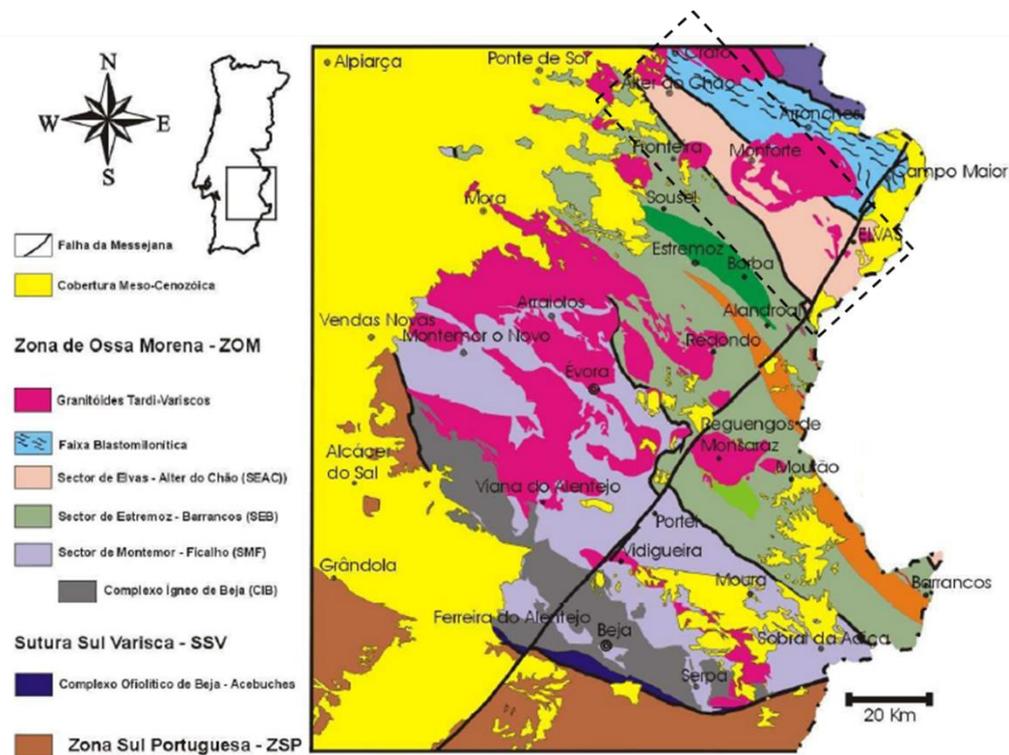


Figura 1 - Setores da Zona de Ossa Morena (adaptado de Oliveira *et al.*, 1991 e Araújo *et al.*, 2013).

O Setor de Alter do Chão - Elvas encontra-se limitado a nordeste pela Faixa Blastomilonítica e a Sudoeste pelo Setor de Estremoz-Barrancos. O contacto a nordeste faz-se através do cavalgamento de Alter do Chão (Oliveira *et al.*, 1991), enquanto o contacto a sudoeste não é consensual sendo que alguns autores (Oliveira *et al.*, 1991) defendem que o limite se faz através da discordância Câmbrico-Ordovícico, enquanto outros defendem que o limite é efetuado através do Cavalgamento da Juromenha (Araújo *et al.*, 1994).

A sequência estratigráfica do Setor de Alter do Chão - Elvas (Fig. 2) inicia-se, da base para o topo, pela Formação de Mosteiros, também conhecida como “Série Negra”, composta por xistos negros e grauvaques com intercalações de chertes negros. Discordante sobre a Formação de Mosteiros ocorre uma sucessão constituída por

conglomerados, arcoses e passagens de vulcanitos ácidos, com espessura variável, de alguns metros a várias dezenas de metros. Nos conglomerados há clastos do soco proterozóico (Araújo *et al.*, 2013). Segue-se, também discordante, a Formação Carbonatada de Elvas, com cerca de 500m de espessura, constituída por bancadas de carbonatos, por vezes dolomíticos, de cor clara e maciços, onde se pode observar localmente laminação paralela atribuída a estruturas estromatólitas (Oliveira *et al.*, 1991; Araújo *et al.*, 2013). Esta unidade, até ao momento, não forneceu qualquer tipo de fósseis, sendo a idade atribuída através da correlação com as Formações de Alconera e Pedroche, muito rica em fósseis, principalmente de arqueociatos e de trilobites do Câmbrio Inferior (Ovetiano e Marianiano; Araújo *et al.*, 2013 e referências inclusas).

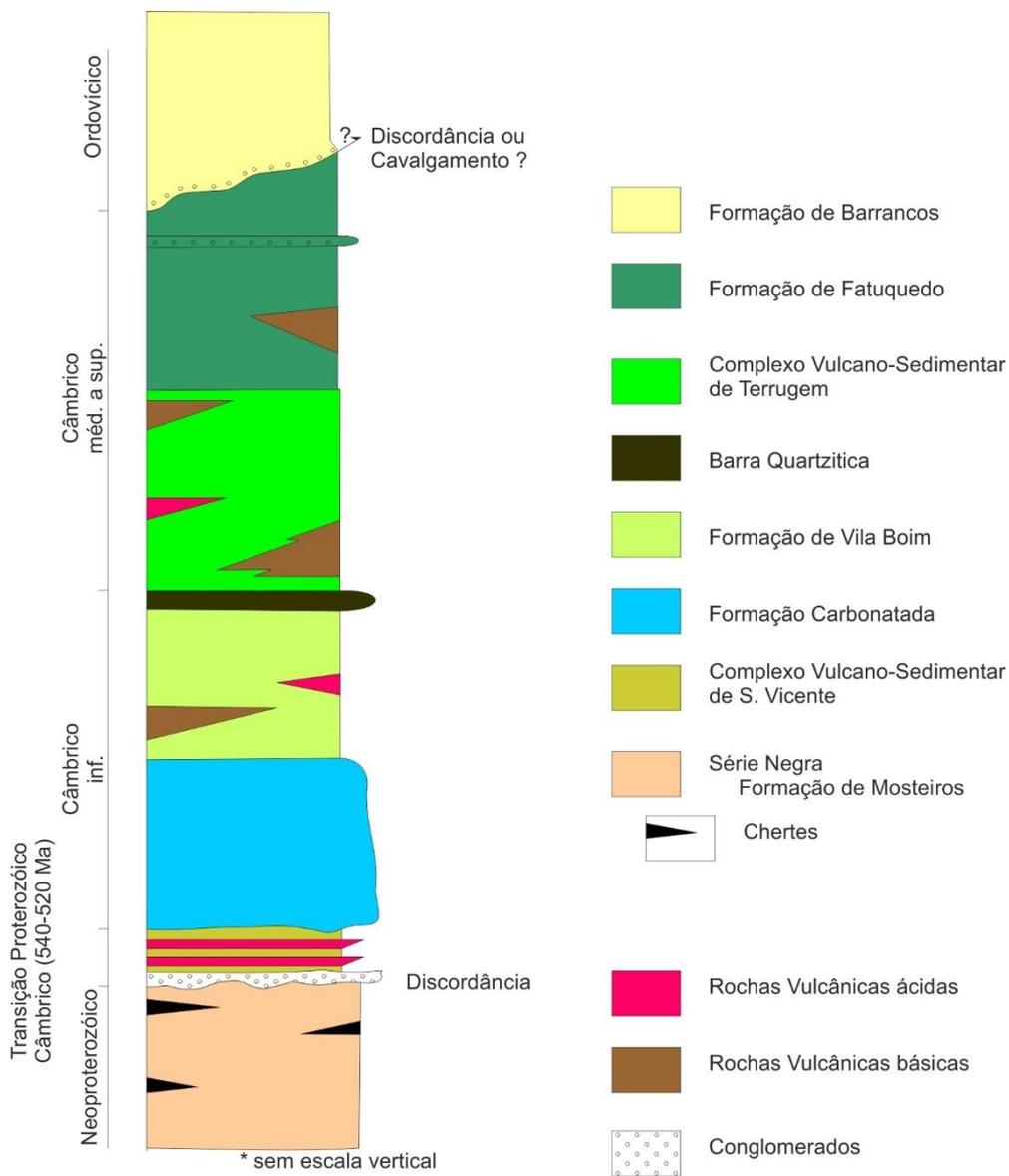


Figura 2 - Coluna estratigráfica do sector de Alter do Chão - Elvas (adaptado de Oliveira *et al.*, 1991; Pereira e Silva, 2006; Sánchez-García *et al.*, 2010).

Em seguida, em concordância, observa-se a formação de Vila Boim, constituída pela alternância de arenitos e grauvaques com intercalações de rochas félsicas e máficas que culminam num termo quartzítico-conglomerático, denominado por “Barra Quartzíticas” (Oliveira *et al.*, 1991; Araújo *et al.*, 2013) cuja espessura pode atingir 100m. Sobre a Formação de Vila Boim, depositou-se a o Complexo Vulcano-Sedimentar da Terragem, constituído por xistos e arenitos grauvacóides e intercalações de vulcanitos félsicos, basaltos alcalinos e rochas peralcalinas extrusivas (Araújo *et al.*, 2013). É atribuída a idade de Câmbrio médio, à Formação de Vila Boim, admitindo-se que seja equivalente da parte inferior das Camadas de Playon, que ocorrem na região de Badajoz, onde foram identificados fósseis de braquiópodes, trilobites e acritarcas do Câmbrio médio (Liñán *et al.*, 2004).

A sucessão estratigráfica deste setor termina com a Formação de Fatuquedo, composta pela alternância de xistos cinzentos, psamitos e grauvaques, com intercalações de microconglomerados na parte superior, seguindo-se no topo da sequência, a Formação de Barrancos composta por xistos cinzentos e psamitos, arenitos ferruginosos e conglomerados na base (Araújo *et al.*, 2013).

## **2.1. Sedimentação carbonatada na Zona de Ossa Morena**

Segundo Moreira *et al.* (2018b), a ZOM regista quatro episódios de sedimentação carbonatada marinha: Câmbrio inferior; Ordovícico Superior; Silúrico superior e Devónico Inferior a Médio. A sedimentação carbonatada resultante do Câmbrio, ocorre maioritariamente em ambiente de plataforma continental. Esta sedimentação, resulta tanto de fragmentos de esqueletos e conchas carbonatadas como da precipitação direta de carbonatados na água do mar (Moreira *et al.*, 2018b). Neste estudo apenas será abordado o episódio do Câmbrio inferior, pois é o episódio que está representado no Setor Alter do Chão - Elvas. Até à data a sedimentação carbonatada no Setor Alter do Chão - Elvas não apresenta qualquer conteúdo fossilífero identificável, o que dificulta a sua datação. Contudo, a idade deste episódio está bem caracterizada em Espanha devido à existência de fósseis na Formação de Alcornera e Pedroche (Liñán, 1984). Os fósseis aí encontrados correspondem a importantes faunas de trilobites e arqueociatos (Liñán, 1996). Gozalo *et al.* (2003) indicam por correlação que a idade da Formação Carbonatada de Elvas está compreendida entre o Ovetiano e o Marianiano (Série 2).

A sedimentação carbonatada durante o Câmbrio inferior, traduz a ocorrência de uma extensa plataforma carbonatada em toda a ZOM, resultante de processos de *rifting* intra-continental, associados ao estiramento do bordo norte do Gondwana. No Câmbrio

inferior (Marianiano) ocorre distensão crustal que provocou a rutura da plataforma, com geração de vários depocentros ou bacias oceânicas (Oliveira *et al.*, 1991 e referências inclusas), sendo neste contexto que se forma a Formação Carbonatada de Elvas do Setor Alter do Chão - Elvas. Moreira *et al.* (2019) indica para a Formação Carbonatada de Elvas do Setor Alter do Chão - Elvas razões de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  entre 0,708777 e 0,709227, compatíveis com sedimentação durante o Câmbrio inferior.

## 2.2. Magmatismo do Setor Alter do Chão - Elvas

A ZOM apresenta importante atividade magmática dispersa pelos diferentes setores. Contudo, existem três importantes episódios magmáticos que estão presentes no Setor de Alter do Chão - Elvas: no Câmbrio inferior-médio; na transição Câmbrio superior-Ordovícico; e no Carbónico.

Os estados iniciais de *rifting* no setor Alter do Chão - Elvas ocorrem durante o Câmbrio Inferior e estão representados por vulcanismo toleítico bimodal na Formação de Vila Boim (Mata & Munhá, 1990) que evolui até ao Câmbrio médio para vulcanismo básico alcalino, associado a vulcanismo ácido a peralcalino - Complexo Vulcano Sedimentar da Terrugem (Araújo *et al.*, 2013 e referências inclusas).

Relativamente ao magmatismo intrusivo da transição Câmbrio-Ordovícico no Setor de Alter do Chão - Elvas, destaque para os complexos plutónicos máficos - ultramáficos de Alter do Chão e de Elvas e para os complexos peralcalinos do nordeste alentejano entre os quais Alter Pedroso e Vaiamonte que definem um alinhamento NW-SE concordante com a orientação genérica das estruturas hercínicas regionais, intruindo a sucessão Neoproterozóica a Câmbria do Setor Alter do Chão - Elvas (Carrilho Lopes *et al.*, 2006; 2020). Estes complexos plutónicos (máficos - ultramáficos e peralcalinos) tem idade compreendida entre 480-470 Ma (Díez Fernández *et al.*, 2014). A génese destes complexos está relacionada com a evolução magmática associada ao processo de *rifting* durante as primeiras fases do Ciclo Varisco (Díez Fernández *et al.*, 2014).

O terceiro episódio magmático corresponde à instalação do Complexo Plutónico de Santa Eulália. Trata-se de um complexo calco-alcalino anelar onde se identificam, da periferia para o centro, as seguintes fácies (Sant'Ovaia *et al.*, 2012; 2015): (i) uma fácies de granito cor rosa com grão médio a grosseiro que envolve corpos de composição gabróica a granodiorítica; e (ii) uma fácies central de granito cinzento de grão médio. O Complexo Plutónico de Santa Eulália tem idade carbónica (300-305 Ma; Pereira *et al.*, 2017; Roseiro *et al.*, 2019), incluindo-se nos eventos magmáticos tardios e colisionais do Ciclo Varisco na ZOM (Moreira *et al.*, 2014b).

### 3. Amostragem e métodos

Este capítulo descreve o processo desde a recolha das amostras, até à preparação das mesmas para análise laboratorial por difração de raios-X (DRX), por Espectrometria de Massa de Ionização Térmica (TIMS) e para análise petrográfica. Toda a componente de preparação laboratorial foi realizada nos Laboratórios do Departamento de Geociências da Universidade de Évora, segundo o esquema ilustrado na Figura 3.

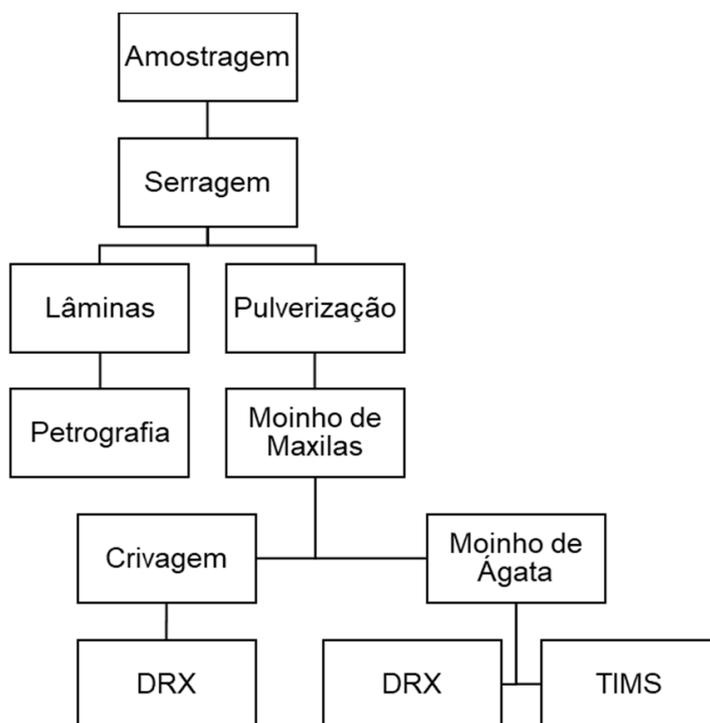


Figura 3 - Diagrama do esquema de trabalhos realizado para a preparação de amostras.

#### 3.1. Amostragem

Para o processo de amostragem foi necessário efetuar um trabalho prévio de gabinete, com a identificação de potenciais locais de amostragem ao longo de todo o Setor de Alter do Chão - Elvas. O levantamento de locais para amostragem foi realizado com auxílio de mapas geológicos da região e plataformas geográficas como Google Earth ou Google Maps (Fig. 4).

A amostragem foi realizada em dois momentos: (1) 12 amostras colhidas a NW do Maciço de Santa Eulália, na região compreendida entre Monforte e Alter do Chão (referências BAT, MON e MONF) e (2) 10 amostras colhidas a SE do Maciço de Santa Eulália, na região entre Barbacena e Vila Boim (referências BARB). Na Tabela 1 apresenta-se a localização das amostras recolhidas. Em anexo encontra-se uma tabela síntese com os dados macroscópicos das amostras recolhidas e o mapa da amostragem realizada no Setor de Alter do Chão - Elvas (Anexo I e Anexo II).

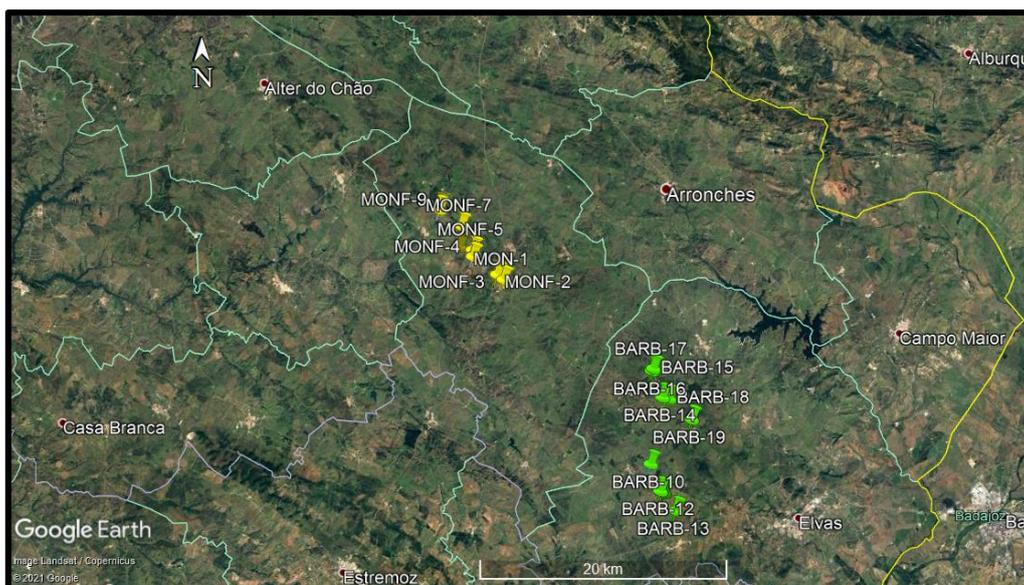


Figura 4 - Localização dos locais de amostragem (base geográfica Google Earth).

Tabela 1 - Localização (Latitude e Longitude) da amostragem efetuada.

Referências	Latitude	Longitude
MON-1	39,04754	-7,44053
MONF-1	39,06479	-7,46918
MONF-2	39,05132	-7,44656
MONF-3	39,05132	-7,44656
MONF-4	39,06457	-7,46915
MONF-5	39,06932	-7,46953
MONF-6	39,07194	-7,4816
MONF-7	39,08702	-7,47992
MONF-8	39,10119	-7,50084
MONF-9	39,0992	-7,50024
BARB-10	38,91193	-7,30448
BARB-11	38,89063	-7,29207
BARB-12	38,89063	-7,29207
BARB-13	38,87766	-7,28156
BARB-14	38,96083	-7,29318
BARB-15	38,98175	-7,30134
BARB-16	38,98175	-7,30134
BARB-17	38,98175	-7,30134
BARB-18	38,95487	-7,28685
BARB-19	38,94441	-7,26605
BAT-1	39,16478	-7,56221
BAT-2	39,16415	-7,56158

Posteriormente a amostragem foi dividida em cinco grupos de acordo com a proximidade aos corpos magmáticos intrusivos no Setor de Alter do Chão - Elvas, nomeadamente ao Complexo Plutónico de Santa Eulália (CPSE), Maciços Peralcalinos de Alter Pedroso e Vaiamonte (MPAPV) e ao Complexo Máfico - Ultramáfico de Alter do Chão (CMUAC). Na Tabela 2 apresenta-se a constituição dos diferentes grupos de amostras e na Figura 6 o enquadramento geológico das amostras recolhidas no Setor de Alter do Chão - Elvas.

Tabela 2 - Subdivisão de amostragem de acordo com a proximidade aos corpos magmáticos intrusivos no Setor de Alter do Chão - Elvas.

<b>Grupo</b>	<b>Contexto Geológico</b>	<b>Amostras</b>
<b>Grupo 1</b> Formação Carbonatada de Elvas próximo do contato com o Complexo Plutónico de Santa Eulália	Auréola de metamorfismo	MONF-1 MONF-4    MONF-5 BARB-14    BARB-18
<b>Grupo 2</b> Formação Carbonatada de Elvas no interior do Complexo Plutónico de Santa Eulália	<i>Roof Pendant</i>	MON-1    MONF-3 MONF-2    BARB-16 BARB-17    BARB-15
<b>Grupo 3</b> Formação Carbonatada de Elvas afastada de corpos intrusivos	Domínios afastados de maciços ígneos	MONF-6    BARB-12 BARB-10    BARB-13 BARB-11    BARB-19
<b>Grupo 4</b> Formação Carbonatada de Elvas próxima do contato com o Maciço de Alter Pedroso e Vaiamonte	Proximidade com maciços ígneos de natureza peralcalina	MONF-7 MONF-8 MONF-9
<b>Grupo 5</b> Formação Carbonatada de Elvas próxima do contato com Complexo Máfico - Ultramáfico de Alter do Chão	Proximidade com maciços ígneos de natureza máfica e ultramáfica	BAT-1 BAT-2

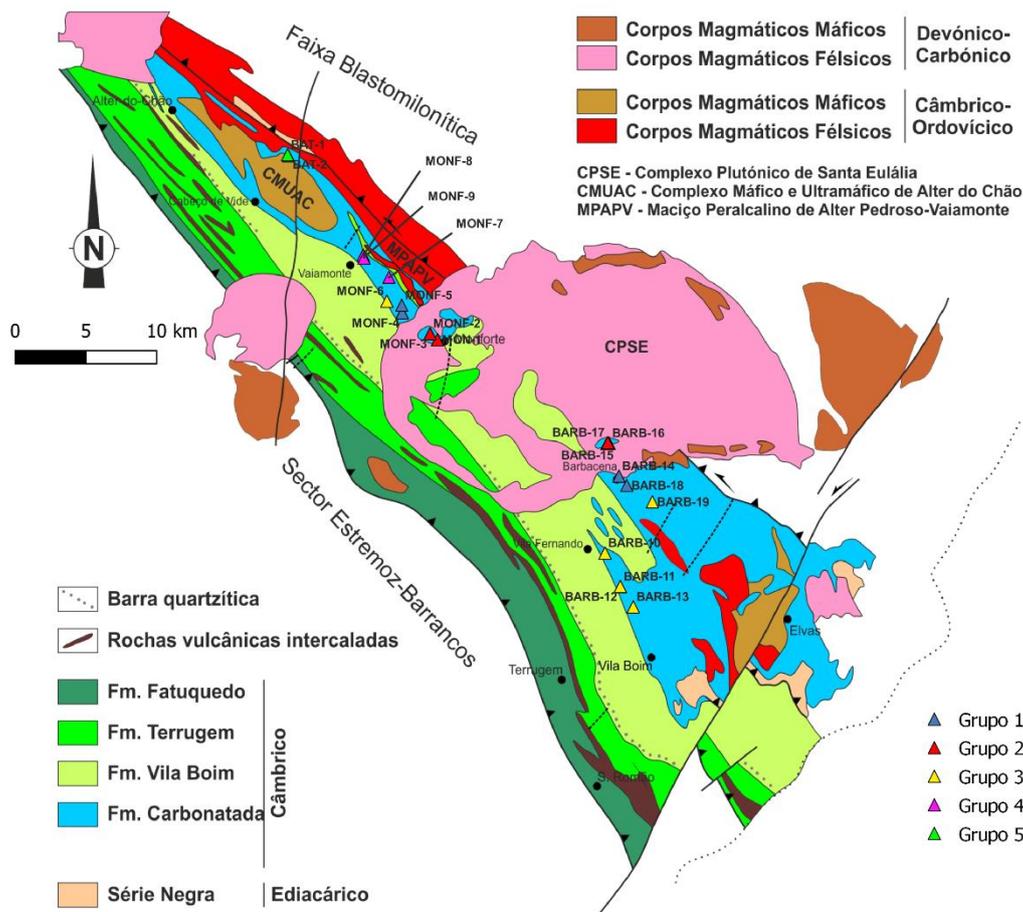


Figura 5 - Mapa Geológico do Setor de Alter do Chão - Elvas (adaptado da carta geológica de Portugal à escala 1:50 000, folhas de Portalegre (32-B), Sousel (32-D), Campo Maior (33-C) e Elvas (37-A)) com a localização das amostras recolhidas.

## 3.2. Métodos laboratoriais

### 3.2.1. Pulverização de amostras

A pulverização de amostras para a produção de pós, iniciou-se com a limpeza e serragem, para eliminar impurezas, capas de alteração e redução das suas dimensões. Seguidamente as amostras foram lavadas com água corrente para retirar o pó resultante do corte e colocadas em tabuleiros, para secagem em estufa a 105°C durante aproximadamente 24 horas.

A prensa manual foi utilizada antes da fase de moagem das amostras, para garantir que estas sejam reduzidas ao tamanho indicado para moagem no moinho de maxilas. Entre cada amostra, foi necessário limpar o equipamento utilizado, com acetona e ar comprimido, para que não haja contaminação de amostras. A moagem iniciou-se num moinho de maxilas Retsch, com duas maxilas de tungsténio que vão moer as amostras

por fases e reduzi-las a pó. Entre cada amostra o equipamento foi limpo de maneira a não existir nenhum pó que contamine a amostra seguinte. Para a limpeza do equipamento, foi utilizada acetona e o ar comprimido. A utilização do moinho, requer a utilização de EPIS (Equipamentos de Proteção Individual): protetores de ouvidos, óculos protetores e máscara.

Após a moagem no moinho de maxilas, as amostras foram quarteadas e separadas em duas partes iguais: (1) uma parte para a crivagem (fração crivada), para posterior análise por DRX; e (2) uma parte nova moagem no moinho de ágata (fração global) e posterior análise por DRX e por TIMS. A fração crivada resultou da crivagem através da utilização de três crivos para obtenção de pós com dimensão inferior 0,0063mm, os quais foram quarteados e colocados em tubos de Eppendorf, para serem analisados por DRX, segundo o modelo utilizado por Moreira *et al.* (2019). Os pós acima de 0,0063mm foram reservados em sacos identificados.

A fração global resultou do quarteamento, até se obter uma quantidade de amostra entre 70-80 gramas para moagem no moinho de ágata. Inicialmente o tempo de moagem no moinho de ágata foi de 15 minutos para moer totalmente as amostras, reduzindo-as a pós de dimensão fina (equivalente à dimensão das argilas). Contudo, em algumas amostras foi necessário mais tempo para se atingir a dimensão pretendida. Após a moagem, as amostras foram novamente quarteadas até se obterem as quantidades necessárias para a caracterização mineralógica por DRX e isotópica de estrôncio por TIMS.

Entre os procedimentos de amostras, o equipamento foi limpo com água e acetona e seco com o ar comprimido, a fim de evitar contaminação entre amostras. A utilização destes dois métodos de preparação de amostras (fração crivada abaixo de 0,0063mm; e fração global com dimensão da classe das argilas) tem como objetivo comparar a influencia destas duas metodologias na obtenção de resultados por análise de DRX.

### **3.2.2. Manufatura de lâminas**

Após a secagem na estufa, foram escolhidas as amostras para a realização das lâminas delgadas. O processo iniciou-se com a redução do tamanho das amostras e produção de taliscas através da utilização da serra de bancada, Discoplan TS. O desgaste das taliscas, o desgaste dos vidros e o desgaste das lâminas, no equipamento Logitech, realizou-se com base no procedimento desenvolvido durante o projeto ZOM-3D, e que se encontra em Anexo III.

Utilizou-se a serra da Logitech CS10, que cortou o excesso das taliscas até ao tamanho pretendido para o desgaste. Colocaram-se as lâminas na serra e com a força que é exercida pelo braço da serra, esta cortou o resto da talisca de maneira a ficar apenas uma camada fina. Procedeu-se à calibração da Logitech PM5, utilizando o procedimento desenvolvido no projeto ZOM-3D (Anexo III). Utilizou-se a craveira digital para acompanhar o processo de desgaste.

O polimento das lâminas delgadas foi realizado na Planopol, com utilização de uma suspensão de pasta diamantada para o polimento. As lâminas ficaram em rotação durante cerca de 15 minutos para atingir o polimento pretendido.

Após a produção das laminas delgadas, uma parte das mesmas foram tingidas com solução de alizarina. A solução de alizarina é utilizada como corante em rochas carbonatadas para distinguir a calcite das restantes fases dos minerais, nomeadamente dos carbonatos que não reagem ao ataque. Esta técnica permitiu distinguir a calcite da restante componente carbonatada nas lâminas efetuadas. Num suporte próprio foi colocado um pouco da solução de alizarina em cada lâmina, fazendo com que a calcite se torne vermelha. Este procedimento é rápido, sendo apenas necessários 15 segundos no contacto da lâmina com a solução de alizarina. Após os 15 segundos, colocou-se a lâmina em água corrente para eliminar excessos de solução de alizarina.

### **3.3. Métodos Analíticos**

Como referido anteriormente, os métodos analíticos envolveram análise petrográfica, difração de raios-X (DRX) e espectrometria de massa de ionização térmica (TIMS).

#### **3.3.1. Análise petrográfica**

A petrografia foi realizada na sala de microscopia do Departamento de Geociências da Universidade de Évora com recurso a um microscópio petrográfico Nikon Eclipse E600 Pol com Digital Camara Dxm 1200 acoplada. A análise baseou-se na observação detalhada dos aspetos texturais e das composições mineralógicas das amostras, as quais foram classificadas petrograficamente em função das proporções relativas entre minerais carbonatados e não carbonatados. Os aspetos mais importantes das amostras, foram registados em suporte digital. Para cada amostra foi realizada uma ficha petrográfica, as quais se apresentam no Anexo IV.

### 3.3.2. Análise por difração de raios-X

A análise por DRX, efetuada nos pós da fração crivada e da fração global, foi realizada no laboratório HERCULES (Universidade de Évora). O método de análise por DRX, permite a identificação de fases cristalinas em amostras poli- ou mono-cristalinas. Cada mineral possui uma estrutura cristalina singular, permitindo a identificação da sua estrutura através da difração dos raios-X. Nesta metodologia, foi utilizado um difratómetro Bruker™ D8 Discover equipado com uma fonte de Cu Ka a 40 kV e 40 mA. Os difratogramas foram obtidos num intervalo 2 TETA (inserir símbolo) entre os 3° e 75° com um incremento de 0.05° e 1 segundo por ponto de aquisição. O detetor unidimensional de energia dispersiva Bruker LynxEye permite o aumento de sinal. A identificação dos minerais foi realizada através do software DIFFRAC.SUITE EVA e da base de dados ICDD PDF-2. A determinação semi-quantitativa da abundância mineral nas amostras, obtida pelo método da Razão de Intensidade de Referência (RIR) (neste estudo, o padrão de referência é o corindo), é dada como uma percentagem em relação à matriz assumindo 100% de fases cristalinas.

### 3.3.3. Análise Isotópica

A análise isotópica por espectrometria de massa de ionização térmica (TIMS), efetuada nos pós da fração global, foi realizada no Laboratório de Geologia Isotópica da Universidade de Aveiro (LGI-UA).

Para garantir que apenas a fração carbonatada é analisada os pós das amostras analisadas foram sujeitas à extração seletiva com ácido fraco para determinação da razão isotópica  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  apenas na fase carbonatada. Cerca de 0.1-0.2g de amostra foi dissolvida com 10mL ácido acético 1N num copo de teflon fechado (Savillex<sup>®</sup>) sobre placa de aquecimento 150°C. Após cerca de 3h, a suspensão resultante foi transferida para um tubo de centrífuga a fim de isolar o resíduo não dissolvido. O sobrenadante foi recuperado, seco e dissolvido com HCL 6M a quente durante 1 noite em sistema fechado. A solução foi novamente seca e redissolvida no HNO<sub>3</sub> 7M para extração do Sr por cromatografia iónica com colunas preenchidas com resina *Sr-resin* (Triskem International). De seguida a amostra de Sr foi depositada em filamento central de Ta com H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (0,5N), e as suas razões isotópicas medidas num espectrómetro de massa de ionização térmica VG Sector 54. A análise foi realizada no modo dinâmico com intensidades de feixe de 1-2V para o  $^{88}\text{Sr}$  e as razões isotópicas foram corrigidas segundo a lei de fraccionamento exponencial para o valor  $^{88}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,1194$ .

A análise regular do padrão SRM-987 resultou no seguinte valor,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0,710257 \pm 17$  (N=; 95% lim. conf.). Todos os reagentes utilizados na preparação das amostras foram purificados por bi-destilação e a água ultra pura (18,2 MW cm) foi obtida por um sistema Milli-Q Element (Millipore).

## 4. Resultados

Nas próximas secções serão apresentados separadamente os resultados da análise petrográfica, da análise por DRX e da análise isotópica de estrôncio por TIMS, tendo sempre como base a organização das amostras nos grupos descritos no capítulo 3.1.

### 4.1. Análise Petrográfica

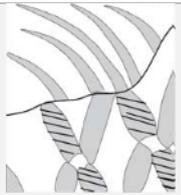
- **Grupo 1 - Formação Carbonatada de Elvas próximo do contato com o Complexo Plutónico de Santa Eulália**

Este grupo é constituído por cinco amostras, um mármore dolomítico (BARB-14), três mármore calcíticos impuros (MONF-1, MONF-4 e MONF-5) e uma rocha calcossilicatada *s.l.* (BARB-18), recolhidas na auréola de metamorfismo do CPSE. As cores das rochas variam entre o cinzento, castanho, verde e rosa. As características petrográficas das rochas do Grupo 1 encontram-se sintetizadas nas Tabelas 3 e 3.1.

Tabela 3 - Síntese das características petrográficas das amostras do Grupo 1. (Abreviaturas: Qz-quartzo; Bt-biotite; Ep-epídoto; Scp-escapolite; Ms-moscovite; Di-diópsido e Opq-minerais opacos).

Amostra	Litologia	Textura	Cor	Composição Mineralógica	
				Carbonatada	Não Carbonatada
MONF-1	Mármore impuro	Granoblástica inequigranular [0,2-1mm]	Cinza escuro	Calcite	Bt + Qz + Ep + Scp
MONF-4	Mármore impuro	Granoblástica inequigranular [0,2-0,5mm]	Rosa com bandas cinzentas	Calcite	Ms + Qz + Ep ± Opq
MONF-5	Mármore muito impuro	Granoblástica submilimétrica com cristais grosseiros [0,5-2mm]	Cinza escuro	Calcite	Bt + Qz + Scp ± Opq
BARB-14	Mármore dolomítico	Granoblástica [0,5-1mm]	Castanho com níveis brancos	Dolomite + Calcite	Raramente Ep ± Opq
BARB-18	Calcossilicatada <i>s.l.</i>	Granoblástica inequigranular [0,2-0,5mm]	Verde escuro	Calcite	Di + Scp + Qz ± Opq

Tabela 3.1 - Síntese das maclas observadas nas amostras do Grupo 1.

Amostra	Tipo de Maclas (Passchier & Trouw, 2005)			
	 Tipo I	 Tipo II	 Tipo III	 Tipo IV
<b>MONF-1</b>	Sim	Sim	-	Raramente
<b>MONF-4</b>	Sim	Sim	-	Raramente
<b>MONF-5</b>	Sim	Sim	-	-
<b>BARB-14</b>	Sim	Sim	-	Raramente
<b>BARB-18</b>	Sim	Sim	-	-

As amostras MONF-1 e MONF-4 são dois mármores calcíticos impuros que se caracterizam por apresentarem texturas granoblásticas inequigranulares entre os 0,2-1mm. Em ambas as amostras, a calcite apresenta maclas do tipo I, II e raramente do tipo IV, com bordos irregulares, evidenciando, por vezes, fenómenos de recristalização metamórfica. Em alguns casos a calcite apresenta tendência para texturas poligonais. Quanto à mineralogia não carbonatada a amostra MONF-1 é constituída por biotite, quartzo, epídoto e cristais de escapolite com dimensões entre os 0,5-1mm. A escapolite é claramente posterior à calcite, sendo visível o seu crescimento sobre os cristais de calcite (Fig. 6A). Na amostra MONF-4 a mineralogia não carbonatada é constituída por moscovite, quartzo, epídoto e minerais opacos (Fig. 6B).

A amostra MONF-5 também é um mármore calcítico, mas muito impuro, com textura granoblástica heterogénea de grão submilimétrico com duas granularidades diferentes, uma grosseira e uma mais fina (Fig. 6C). Mineralogicamente é composta por calcite, biotite e quartzo com cristais de escapolite com dimensões entre 0,5-2mm. A escapolite em alguns casos aparece fraturada (Fig. 6D). Observa-se ainda, raros cristais de minerais opacos.

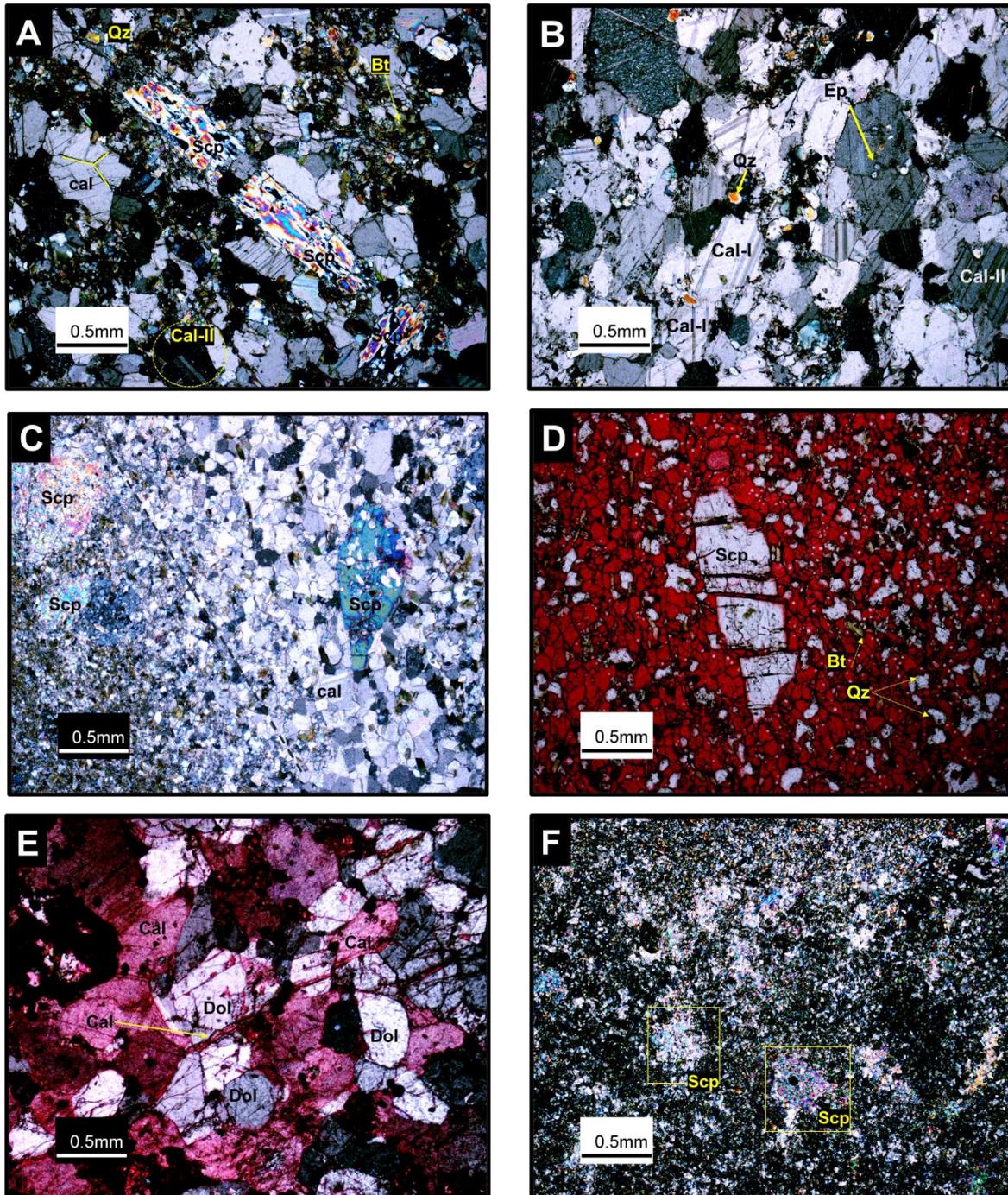


Figura 6 – Fotomicrografias das rochas do Grupo 1. A) Aspeto geral da amostra MONF-1 com textura granoblástica inequigranular e cristal de escapolite (NX); B) Aspeto geral da amostra MONF-4 com textura granoblástica de grão médio, cristais de calcite maclados (tipo I e II) e ocorrência de microcristais de epidoto (NX); C) Aspeto geral da amostra MONF-5 com textura granoblástica inequigranular e cristais de escapolite (0,5-2mm) (NX); D) Pormenor da amostra MONF-5 com cristal de escapolite fraturado numa matriz constituída por calcite (vermelho de alizarina) com quartzo e micas (N//); E) Aspeto textural da amostra BARB-14 com textura granoblástica média a grosseira, com calcite e dolomite e ocorrência de calcite tardia nas fraturas de dolomite (NX); F) Aspeto textural da amostra BARB-18 de granularidade fina com cristais de escapolite (NX).

Abreviaturas: Cal-I calcite com maclas tipo I; Cal-II calcite com maclas do tipo II; Dol- dolomite; Scp- escapolite; QZ- quartzo; Ep- epidoto.

A amostra BARB-14 é um mármore dolomítico com textura granoblástica entre 0,5-1mm. A mineralogia carbonatada é constituída por dolomite e por duas gerações de calcite. A dolomite encontra-se recristalizada por vezes com textura poligonal bem desenvolvida e fraturada (Fig. 6E). A calcite apresenta maclas do tipo I, II e raramente IV, sugerido recristalização metamórfica. A segunda geração de calcite ocorre tardiamente, preenchendo as fraturas da dolomite. A mineralogia não carbonatada é vestigial constituída por epidoto e minerais opacos.

A amostra BARB-18 (Fig. 6F) apresenta uma textura granoblástica de grão fino, submilimétrico. A mineralogia carbonatada é constituída por calcite com maclas do tipo I (quando visíveis), diópsido, escapolite, quartzo e alguns minerais opacos. A ocorrência de diópsido nesta rocha confere-lhe uma cor verde em amostra de mão.

#### • Grupo 2 – Formação Carbonatada de Elvas no interior do Complexo Plutónico de Santa Eulália

Este grupo é constituído por seis amostras, recolhidas no *Roof Pendant* do CPSE, definindo-se dois subgrupos litológicos. Um subgrupo constituído por quatro mármores calcíticos impuros (MON-1, MONF-2, MONF-3 e BARB-17), e outro subgrupo constituído por duas rochas calcossilicatadas *s.l.* (BARB-15 e BARB-16). Em termos gerais, as amostras apresentam cores entre o cinzento e o verde e texturas por vezes exóticas, com bandados entre tons claros e tons escuros (Fig. 7A e B). As características petrográficas das amostras do Grupo 2 encontram-se sintetizadas nas Tabelas 4 e 4.1.

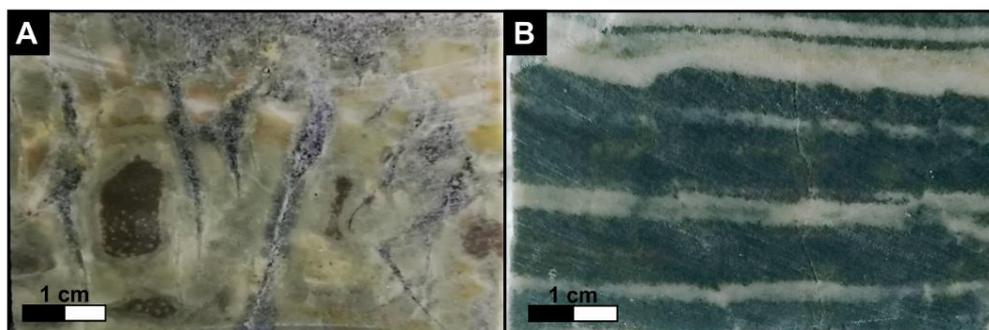
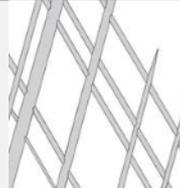


Figura 7 - Fotografias em amostra de mão das rochas não carbonatadas do Grupo 2. A) Aspeto textural da amostra BARB-16 com textura granoblástica inequigranular e presença de veios com calcite e diópsido. B) Aspeto textural da amostra BARB-15 de textura granoblástica equigranular fina com alternância de bandas ricas em escapolite e quartzo (cor clara) e bandas ricas em diópsido (cor escura).

Tabela 4 - Síntese das características petrográficas das amostras do Grupo 2. (Abreviaturas: Vs-vesuvianite; Grt-granada; Chl-clorite; Fsp-feldspato; Pl-plagioclase; e restantes abreviaturas idênticas às anteriores).

Amostra	Litologia	Textura	Cor	Composição Mineralógica	
				Carbonatada	Não Carbonatada
MON-1	Mármore impuro	Granoblástica inequigranular [0,3-0,5mm]	Cinzento esverdeado	Calcite	Ep + Di + Scp + Qz ± Opq
MONF-2	Mármore impuro	Granoblástica inequigranular [0,1-0,5mm]	Cinzento esverdeado	Calcite	Vs + Ep + Grt ± Opq
MONF-3	Mármore impuro	Granoblástica inequigranular [0,2-1mm]	Cinzento esverdeado	Calcite	Vs + Ep ± Opq
BARB-17	Mármore impuro	Granoblástica inequigranular [0,5-1mm]	Verde claro	Calcite	Ep + Di + Qz ± Opq
BARB-15	Calcossilicatada <i>s.l.</i>	Granoblástica bandada [0,2-0,4mm]	Domínios verde azulado e domínio branco	-	Di + Scp + Qz ± Opq
BARB-16	Calcossilicatada <i>s.l.</i>	Granoblástica bandada [0,2-0,5mm]	Verde escuro	Calcite	Fsp + Pl + Di + Scp

Tabela 4.1 - Síntese das maclas observadas nas amostras do Grupo 2.

Amostra	Tipo de Maclas (Passchier & Trouw, 2005)			
	 Tipo I	 Tipo II	 Tipo III	 Tipo IV
MON-1	Sim	Sim	Raramente	Sim
MONF-2	Sim	Sim	-	Raramente
MONF-3	Sim	Sim	-	Raramente
BARB-15	-	-	-	-
BARB-16	Sim	-	-	Raramente
BARB-17	Sim	Sim	-	Raramente

As amostras MON-1, MONF-2 e MONF-3 são mármore calcíticos impuros com texturas granoblásticas inequigranulares heterogêneas. A dimensão do grão varia de 0,1-0,5mm (MONF-2), 0,3-0,5mm (MON-1) a 0,2-1mm (MONF-3). A composição mineralógica é essencialmente constituída por calcite, que apresenta rebordos irregulares, alguma tendência para a poligonização do grão e maclas do tipo I, II, IV e raras maclas do tipo III (MON-1), evidenciando fenômenos de recristalização. Na amostra MON-1 a mineralogia não carbonatada é essencialmente constituída por epídoto, diópsido, escapolite e algum quartzo e minerais opacos (Fig. 8A). A mineralogia não carbonatada das amostras MONF-2 (Fig. 8B) e MONF-3 (Fig. 8C) é essencialmente constituída por vesuvianite e epídoto, sendo que a amostra MONF-2 apresenta granada preenchida por epídoto. A ocorrências de fases silicatadas de cálcio, nestas amostras, também sugerem fenômenos de blastese.

A amostra BARB-17 é um mármore impuro que apresenta textura granoblástica inequigranular grosseira com grãos de calcite de dimensão entre 0,5-2mm, textura poligonal e maioritariamente maclas do tipo I e II e raramente maclas do tipo IV. A mineralogia não carbonatada apresenta epídoto submilimétrico, que por vezes está incluso nos grãos de calcite, diópsido e quartzo (Fig. 8D).

A amostra BARB-15 é uma rocha calcossilicatada *s.l.*, essencialmente constituída por diópsido, escapolite e subordinadamente quartzo. Apresenta uma textura granoblástica equigranular de dimensão média (0,2mm), com domínios ricos em escapolite e algum quartzo e domínios ricos em diópsido (Fig. 8E). Também a amostra BARB-16 é uma rocha calcossilicatada *s.l.* com textura granoblástica bandada de granularidade fina essencialmente constituída por feldspatos e plagioclase, com frequentes veios de granularidade grosseira constituídos por diópsido, escapolite e calcite (Fig. 8F). A calcite apresenta maclas do tipo I e raras do tipo IV, e tendência para desenvolver texturas poligonais nas zonas onde o grão da calcite é mais grosseiro.

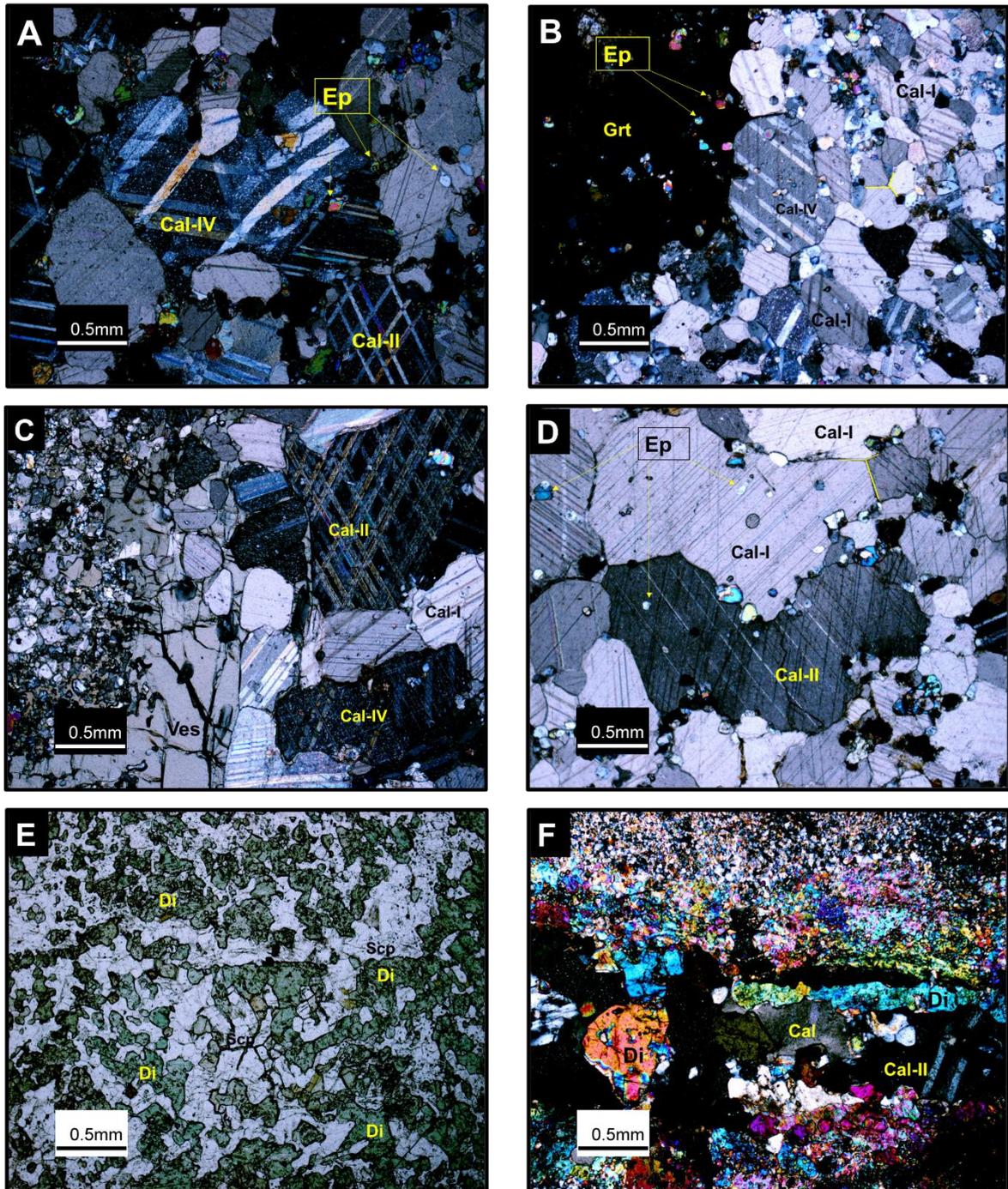


Figura 8 – Fotomicrografias das rochas do Grupo 2. A) Aspecto textural da amostra MON-1 de granularidade média, calcite com maclas do tipo II e IV e epidoto (NX); B) Aspecto textural da amostra MONF-2, calcite com maclas do tipo I e IV, zonas com pontos triplos no contacto da calcite e granada com inclusões de epidoto (NX); C) Aspecto textural da amostra MONF-3 calcite com maclas do tipo II e IV e veio de vesuvianite (NX); D) Aspecto textural da amostra BARB-17 com dimensão grosseira de calcite com maclas do tipo I e II e epidoto submilimétrico (NX); E) Aspecto geral da textura granoblástica da amostra calcossilicatada *s.l.* BARB-15 com diópsido e escapolite (N//); F) Aspecto textural da amostra calcossilicatada *s.l.* BARB-16 de uma zona mais grosseira com escapolite, diópsido e pouca calcite (NX).

Abreviaturas: Cal-IV - calcite com maclas do tipo IV; Ves - vesuvianite; Di - diópsido; Grt - granada e restantes abreviaturas idênticas à figura anterior.

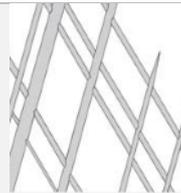
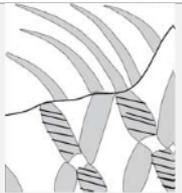
- **Grupo 3 – Formação Carbonatada de Elvas afastada de corpos intrusivos**

Este grupo representa as amostras recolhidas em locais onde não se fizeram sentir os efeitos da instalação de corpos ígneos. O grupo é constituído por dolomias e calcários, sem evidências de metamorfismo de contacto e apenas afetados por metamorfismo regional. As características petrográficas do Grupo 3 estão sintetizadas nas Tabelas 5 e 5.1.

Tabela 5 - Síntese das características petrográficas das amostras do Grupo 3. (Abreviaturas: Ser-Sericite; restantes abreviaturas idênticas às figuras anteriores)

Amostra	Litologia	Textura	Cor	Composição Mineralógica	
				Carbonatada	Não Carbonatada
<b>BARB-10</b>	Dolomia	Maciça a granular submilimétrica	Cinzento rosa	Dolomite (Calcite)	Ser/Ms
<b>BARB-11</b>	Dolomia	Maciça a granular submilimétrica	Cinzento azulado	Dolomite	Qz + Ms/Ser
<b>BARB-12</b>	Dolomia	Maciça a granular submilimétrica	Rosa claro	Dolomite	Chl + Qz ± Opq
<b>MONF-6</b>	Calcário	Granoblástica [0,2-0,5mm]	Rosa claro	Calcite	Qz + Ser + Chl ± Opq
<b>BARB-13</b>	Calcário	Granoblástica Inequigranular submilétrica	Cinzento escuro	Calcite	Qz + Chl + Opq
<b>BARB-19</b>	Calcário	Granoblástica inequigranular [0,2-0,5mm]	Branco rosado	Calcite	Qz + Ms/Ser + Chl ± Opq

Tabela 5.1 - Síntese das maclas observadas nas amostras do Grupo 3.

Amostra	Tipo de Maclas (Passchier & Trouw, 2005)			
	 Tipo I	 Tipo II	 Tipo III	 Tipo IV
<b>BARB-10</b>	Sim	-	-	-
<b>BARB-11</b>	-	-	-	-
<b>BARB-12</b>	-	-	-	-
<b>MONF-6</b>	Sim	Sim	-	-
<b>BARB-13</b>	Sim	-	-	-
<b>BARB-19</b>	Sim	Sim	-	-

As amostras BARB-10, BARB-11 e BARB-12 correspondem a dolomias com textura maciça a granular submilimétrica e cores que variam entre o cinzento e o rosa claro, observando-se, por vezes, veios com tonalidades mais escuras. A mineralogia não carbonatada é essencialmente constituída por sericite, quartzo e clorite. A amostra BARB-10 apresenta granularidade submilimétrica, e pontualmente cristais isolados de calcite associados a uma elevada porosidade secundária (Fig. 9A). Na amostra BARB-11 o grão é ligeiramente mais grosseiro, com dimensões próximas dos 0,2mm, sendo possível identificar numerosos cristais de dolomite euédrica junto às zonas porosas (Fig. 9B). A amostra BARB-12, também de dimensão submilimétrica, caracteriza-se por apresentar domínios mineralogicamente impuros, com clorite, quartzo e minerais opacos, no seio da matriz dolomítica de textura nebulosa (Fig. 9C).

As amostras MONF-6, BARB-13 e BARB-19 correspondem a calcários calcíticos. Apresentam grão médio a fino e cores entre o rosa e o cinzento. As amostras MONF-6 e BARB-19 são semelhantes e apresentam texturas granoblásticas inequigranulares, de grão fino a médio (entre 0,2-0,5mm) (Fig. 9D e 9E). Possuem calcite com maclas do tipo I e II, com rebordos mais ou menos irregulares. A mineralogia não carbonatada é residual e constituída, em ambas as amostras, por quartzo, sericite, clorite e pontualmente mineralogia opaca.

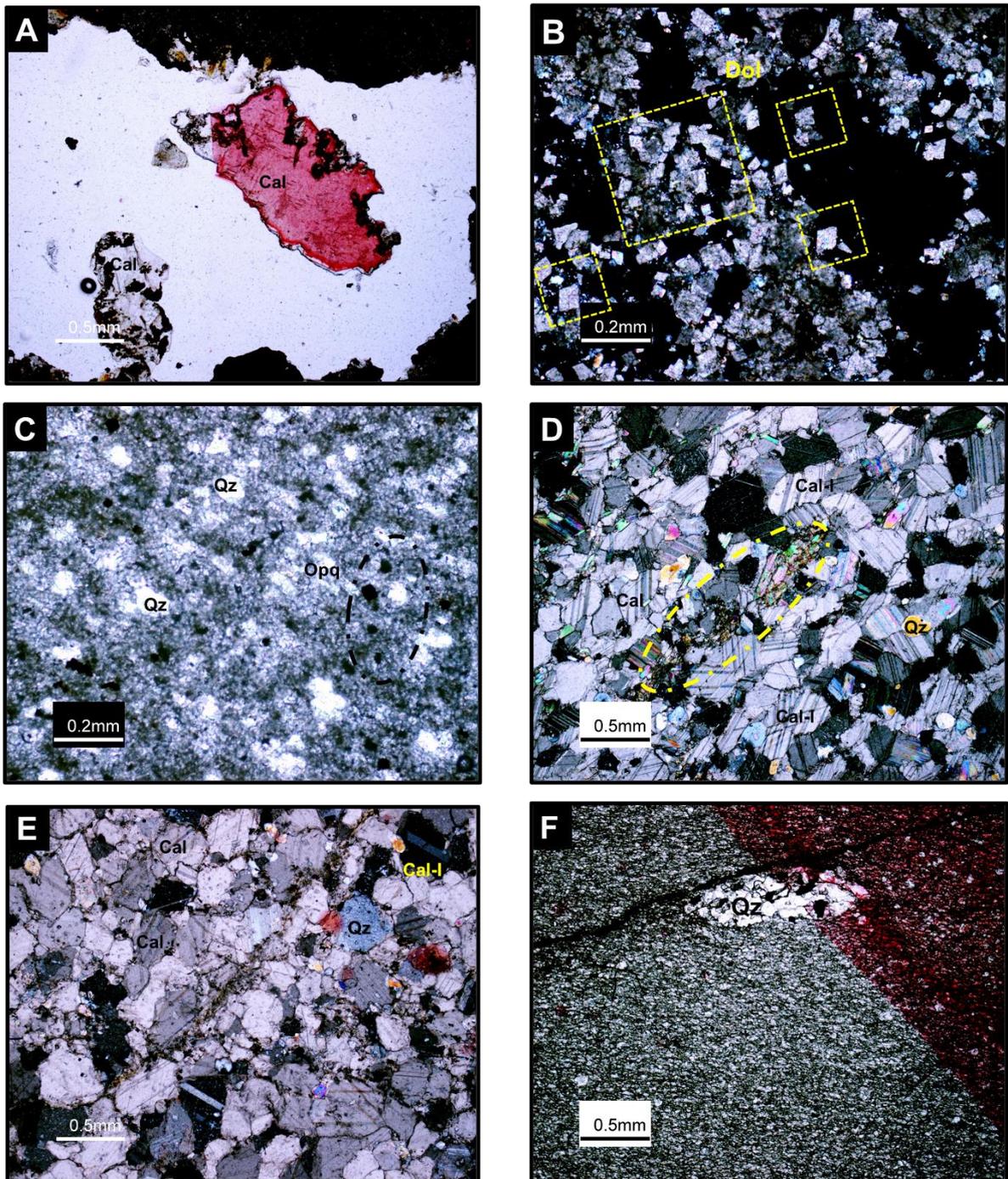


Figura 9 – Fotomicrografias das rochas do Grupo 3. A) Amostra BARB-10, com o pormenor de um grão de calcite numa zona porosa (N//); B) Evidência de grãos de dolomite euédrica da amostra BARB-11 (NX); C) Aspeto textural da amostra BARB-12 com quartzo e fases opacas numa matriz de dolomite muito fina (N//); D) Aspeto textural da amostra MONF-6, calcite com maclas do tipo I e II e micas (NX); E) Aspeto textural da amostra BARB-19, dimensão do grão média e grãos de calcite com maclas do tipo I e II e quartzo (NX); F) Aspeto geral da textura fina da amostra BARB-13 (N//).

Abreviaturas: Opq – fases opacas e restantes abreviaturas idênticas às figuras anteriores.

A amostra BARB-19 também apresenta raros cristais de plagioclase. A amostra BARB-13 é a mais impura e apresenta textura mais fina, com dimensão do grão inferior a 0,1mm (Fig. 9F). A mineralogia não carbonatada constituída por quartzo, clorite e biotite. Destaque para a presença de alguns cristais de quartzo com dimensão superior a 0,1mm.

- **Grupo 4 – Formação Carbonatada de Elvas próxima do contato com o Maciço de Alter Pedroso e Vaiamonte**

O grupo é composto por dois mármore calcíticos impuros (MONF-7 e MONF-9) e uma rocha calcossilicatada *s.l.* (MONF-8) recolhidas nas proximidades do Maciço Ígneo Peralcalino de Alter Pedroso e Vaiamonte. As cores destas rochas variam entre o rosa e o cinzento-escuro. As características petrográficas estão sintetizadas nas Tabelas 6 e 6.1.

Tabela 6 - Síntese das características petrográficas das amostras do Grupo 4. (Abreviaturas: idênticas às anteriores).

Amostra	Litologia	Textura	Cor	Composição Mineralógica	
				Carbonatada	Não Carbonatada
<b>MONF-7</b>	Mármore impuro	Granoblástica inequigranular [0,1-0,3mm]	Rosa e cinzento escuro	Calcite	Bt + Scp + Qz ± Ep ± Opq
<b>MONF-8</b>	Calcossilicatada <i>s.l.</i>	Granoblástica submilimétrica com cristais grosseiros [0,2-1mm]	Cinzento escuro	Calcite	Scp + Bt + Qz ± Opq
<b>MONF-9</b>	Mármore impuro	Granoblástica inequigranular [0,2-0,5mm]	Cinzento claro	Calcite + Dolomite	Bt/ Ms + Qz + Ep ± Opq

Tabela 6.1 - Síntese das maclas observadas nas amostras do Grupo 4.

Amostra	Tipo de Maclas (Passchier & Trouw, 2005)			
	 Tipo I	 Tipo II	 Tipo III	 Tipo IV
MONF-7	Sim	Sim	-	-
MONF-8	-	-	-	-
MONF-9	Sim	-	-	-

A amostra MONF-7 (Fig. 10A) é um mármore calcítico impuro com textura granoblástica inequigranular com grão médio, inferior a 0,3mm. A calcite apresenta maclas do tipo I e II, e rebordos irregulares. A mineralogia não carbonatada é constituída por biotite, escapolite, quartzo, minerais opacos e raramente epídoto. Uma particularidade desta amostra é a presença de litoclastos siliciosos recristalizados. A amostra MONF-9 também é um mármore muito impuro, com dolomite subordinada, e com textura granoblástica fina, de grão inferior a 0,2mm e com um veio de calcite de grão grosseiro compreendido entre 0,2-0,5mm. A calcite apresenta maclas do tipo I. A mineralogia não carbonatada é essencialmente constituída por biotite, moscovite, fases opacas, epídoto e quartzo (Fig. 10B). As micas definem uma orientação preferencial sugerindo o envolvimento desta litologia em processos de deformação.

A amostra MONF-8 é uma rocha calcossilicatada *s.l.* de cor cinzenta escura e textura granular submilimétrica. É essencialmente constituída por calcite, escapolite e biotite, com quartzo e epídoto subordinadamente (Fig. 10C). A escapolite tem particularidade de apresentar grãos de com dimensão superior a 0,5mm (Fig. 10C e 10D). Esta rocha também demonstra uma orientação preferencial das fases minerais que afeta a paragénese principal (calcite, escapolite e biotite).

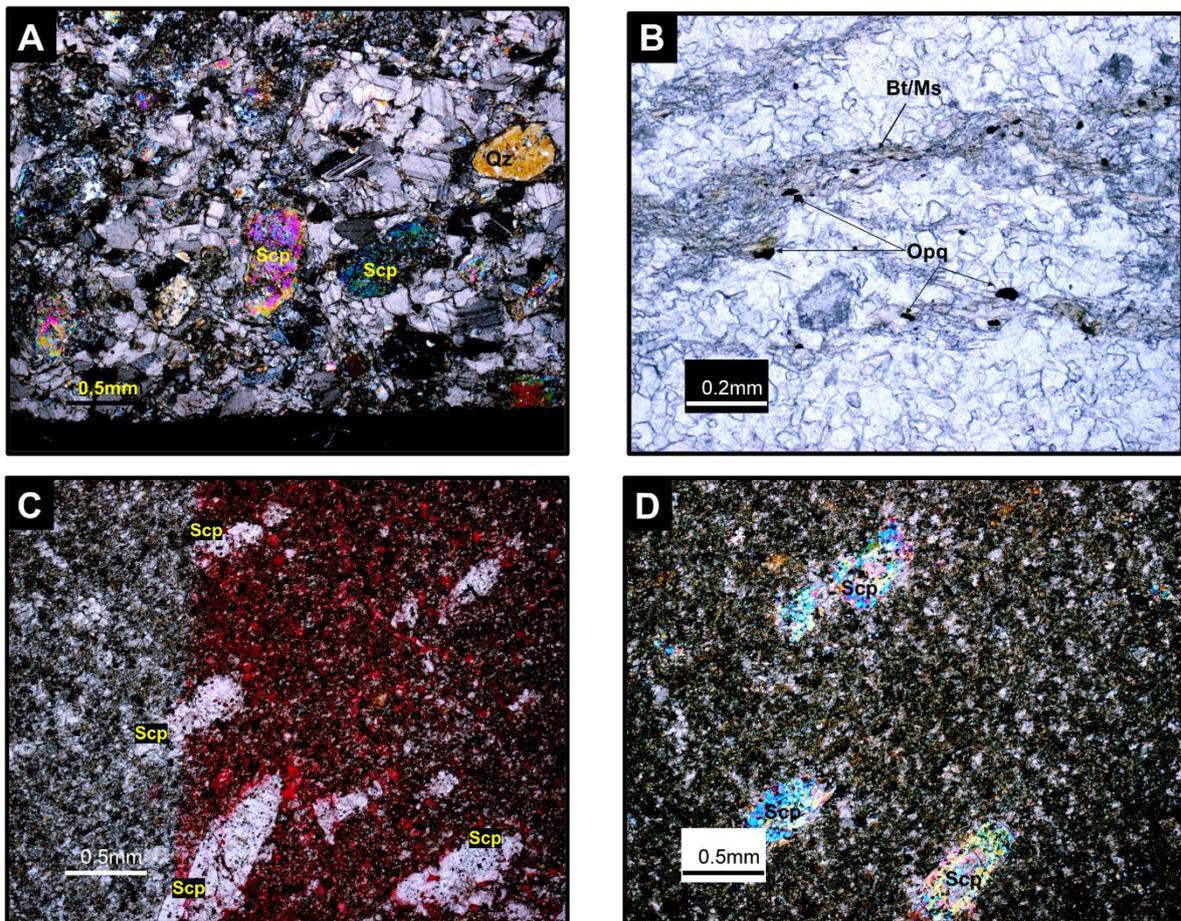


Figura 10 – Fotomicrografias das rochas do Grupo 4. A) Aspeto textural da amostra MONF-7 com cristais de calcite, escapolite e quartzo com rebordos irregulares (NX); B) Aspeto textural da amostra MONF-9 de uma zona com micas e fases mineralógicas opacas associadas (N//); C) Aspeto textural da amostra MONF-8, matriz composta por calcite, quartzo e biotite com cristais de escapolite (N//); D) Pormenor da amostra MONF-8 dos grãos de escapolite numa matriz fina (NX).

Abreviaturas: idênticas às figuras anteriores.

- **Grupo 5 – Formação Carbonatada de Elvas próxima do contato com Complexo Máfico - Ultramáfico de Alter do Chão**

Este grupo é constituído por duas amostras, BAT-1 e BAT-2 que correspondem a duas rochas calcossilicatadas *s.l.* recolhida junto ao bordo norte do CMUAC. Apresentam cores cinzentas. As características petrográficas estão sintetizadas nas Tabelas 7 e 7.1.

Tabela 7 - Síntese das características petrográficas das amostras do Grupo 5. (Abreviaturas: Py-pirite e restantes abreviaturas idênticas às figuras anteriores).

Amostra	Litologia	Textura	Cor	Composição Mineralógica	
				Carbonatada	Não Carbonatada
BAT-1	Calcossilicatada <i>s.l.</i>	Granoblástica inequigranular submilimétrica	Cinzento escuro	Calcite	Di + Fsp + Pl + Scp + Bt + Qz + Ep ± Py
BAT-2	Calcossilicatada <i>s.l.</i>	Granoblástica inequigranular submilimétrica	Cinzento escuro azulado	Calcite	Di + Fsp + Pl + Scp + Qz + Chl ± Py

Tabela 7.1 - Síntese das maclas observadas nas amostras do Grupo 5.

Amostra	Tipo de Maclas (Passchier & Trouw, 2005)			
				
	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV
BAT-1	Sim	Sim	-	-
BAT-2	-	Sim	-	-

A amostra BAT-1 é essencialmente constituída por diópsido, epídoto, quartzo, feldspato alcalino, plagioclase, escapolite e biotite, apresentando domínios de calcite dispersos na matriz ou em bandas (Fig. 11A). Uma particularidade desta rocha é a presença de veios ricos em epídoto e calcite.

A amostra BAT-2 é essencialmente constituída por diópsido, feldspatos alcalinos, plagioclase, escapolite, quartzo, clorite associada à alteração da biotite e alguns cristais de calcite dispersos na matriz (Fig. 11B). Ambas as amostras apresentam pirite cubica a crescer sobre a matriz e com os bordos alterados para óxidos de ferro.

A ocorrência de feldspato em equilíbrio com o diópsido, de clorite a alterar a biotite e calcite em veios ou a envolver a paragénese de silicatos de cálcio, sugere que estas rochas tenham passado por um importante processo de metassomatismo durante o metamorfismo de contacto.

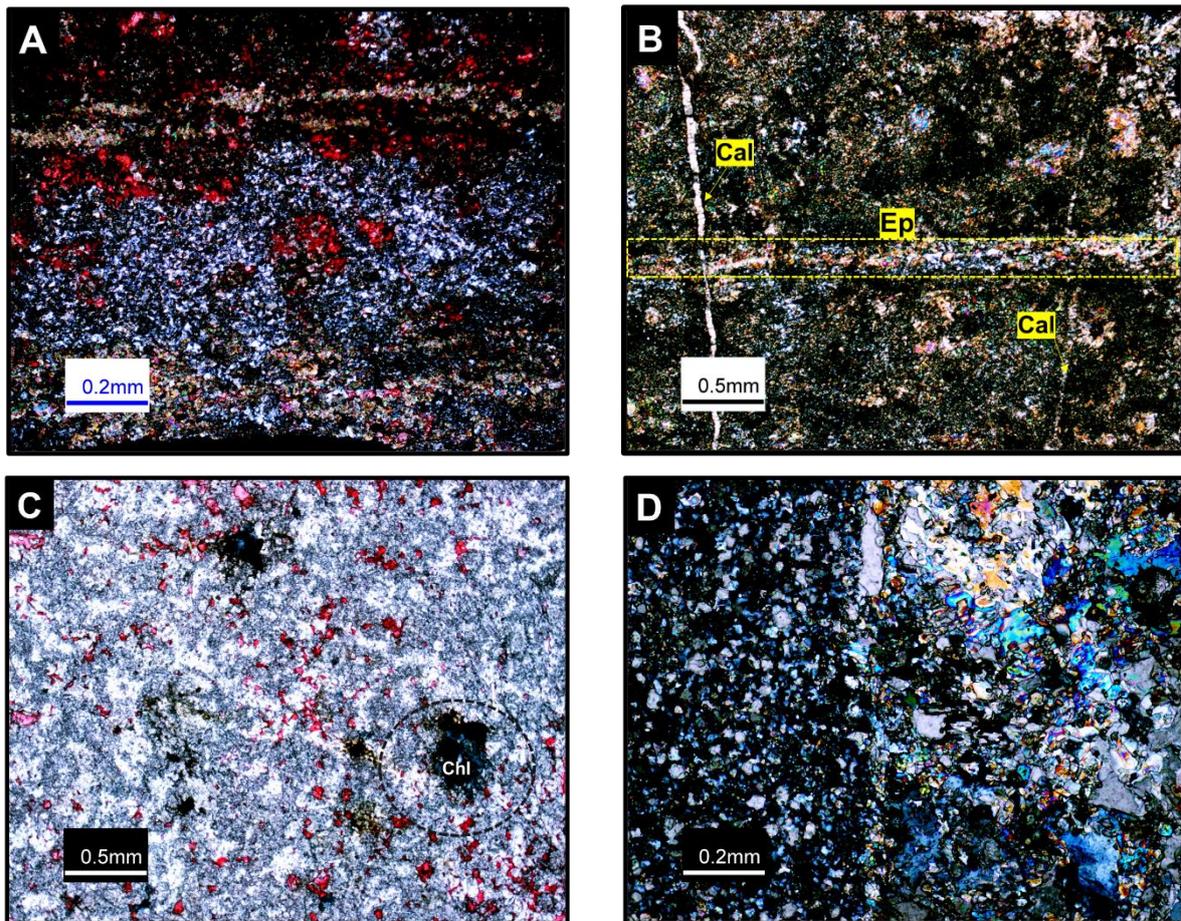


Figura 11 – Fotomicrografias das rochas do Grupo 5. A) Aspeto geral da amostra BAT-1 de granularidade muito fina com calcite pontual (evidenciada pelo vermelho de alizarina) (NX); B) Veio de epidoto e de calcite mais tardio na amostra BAT-1 (NX); C) Aspeto geral da amostra BAT-2 com grãos de calcite pontuais (solução vermelho de alizarina) e clorite (N//). D) Pormenor da textura submilimétrica da amostra BAT-2 (NX).

Abreviaturas: Chl- Clorite e restantes abreviaturas idênticas às figuras anteriores.

#### 4.2. Análise por difração de raios-X

Os resultados da análise mineralógica semiquantitativa, realizada através da difração de raios-X no laboratório HERCULES da Universidade de Évora (ver capítulo 3.3.2.), estão sintetizados nas Figuras 13 e 14, bem como no Anexo V.

Neste método analítico, antes da caracterização generalizada de todas as amostras, analisaram-se dois pós provenientes dos dois métodos de pulverização e redução de amostra (ver capítulo 3.2.1): (1) fração crivada abaixo de 0,0063mm; e (2) fração global com dimensão da classe das argilas. Moreira *et al.* (2019), num estudo similar, utilizaram apenas as frações abaixo os 0,0063mm admitindo que a metodologia carbonatada se

concentrava preferencialmente nesta fração. A utilização das duas frações pretende averiguar se a metodologia utilizada por Moreira *et al.* (2019) influencia a caracterização mineralógica por análise de DRX nas rochas carbonatadas da ZOM.

Os resultados obtidos mostram que não existe diferenças significativas nas análises realizadas independentemente do pó utilizado, ou seja, a fração total proveniente do moinho de ágata (Fig.12A) ou através da fração parcial proveniente da crivagem (Fig.12B).

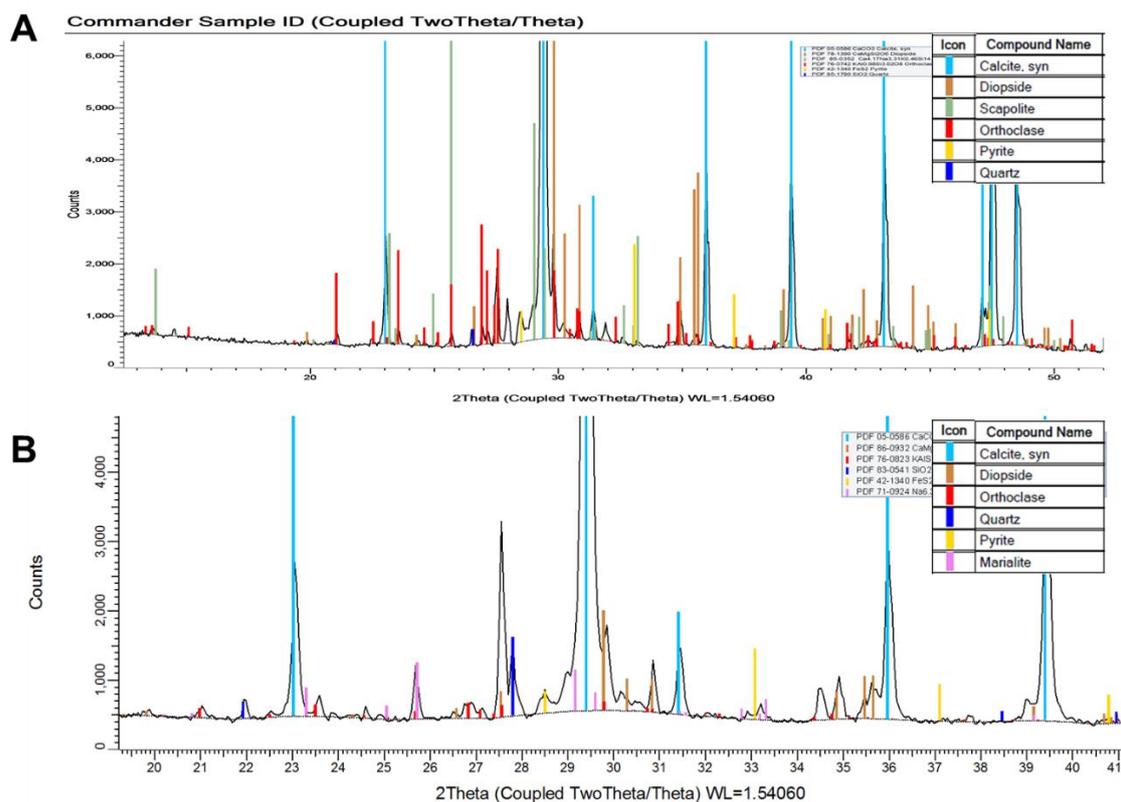


Figura 12 - Resultados da análise de DRX da amostra MON-1 utilizando: A) fração crivada B) fração global.

Assim sendo todas as análises para a caracterização mineralógica por DRX foram realizadas nos pós da fração total (moinho de ágata). Em termos gerais os resultados obtidos por análise de DRX confirmam as observações efetuadas durante a análise petrográfica, mas há casos que a quantificação das fases mineralógicas é substancialmente diferente das percentagens estimadas em lâmina delgada aparecendo também algumas fases minerais não identificadas em lâmina delgada. Tal facto pode resultar de erros no processo de quarteamento das amostras, heterogeneidade das amostras, erro analítico ou da análise de dados provenientes do DRX. A limitação temporal inerente à entrega deste trabalho impediu a realização de novas análises nessas amostras, situação que será revista num futuro próximo.

Na Figura 13 apresenta-se a relação percentual entre fases carbonatadas (calcite e/ou dolomite) e as fases não carbonatadas para todas as amostras em estudo. A amostra BARB-14 apresenta a maior percentagem em carbonatados (99,6%). Sete amostras (BARB-14; MON-1; MONF-3; BARB-17; BARB-11; BARB-12 e BARB-19) apresentam percentagens de carbonatos (calcite + dolomite) igual ou superior a 70%. Sete amostras (MONF-2; MONF-4; MONF-6; MONF-7; MONF-9; BARB-10 e BARB-13) têm fração de carbonatos entre os 50 e 70%. Oito amostras (MONF-1; MONF-5; MONF-8; BARB-18; BARB-15; BARB-16; BAT-1 e BAT-2) apresentam percentagens em carbonatos inferiores a 50%, a amostra BARB-15 com cerca de 3% apresenta o teor mínimo em carbonatos.

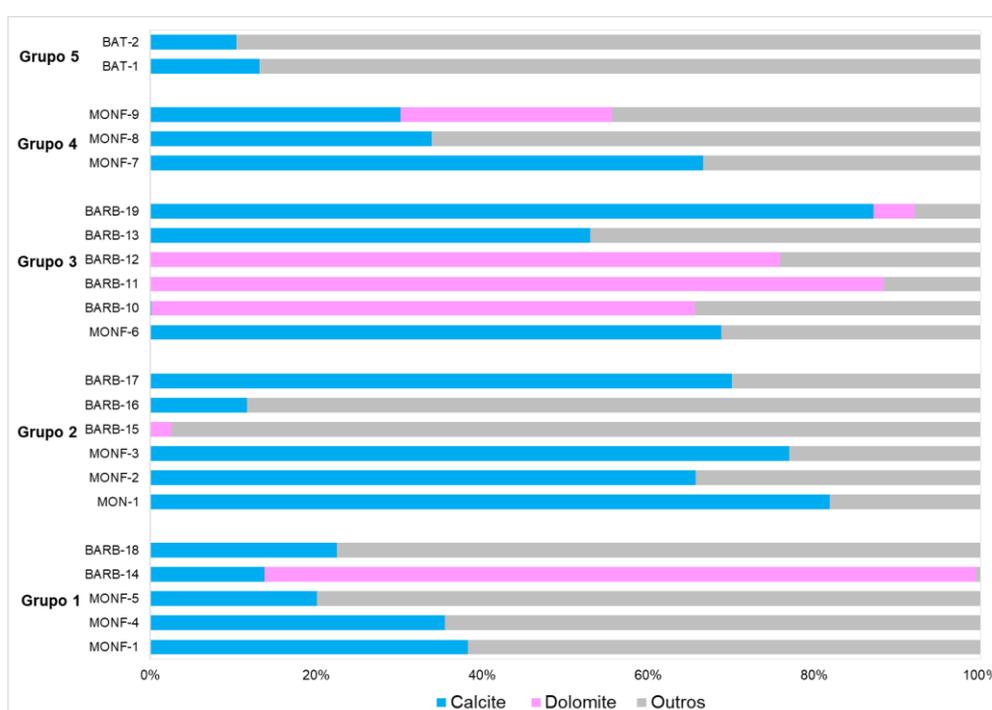


Figura 13 - Composição mineralógica carbonatada (calcite e dolomite) e não carbonatada analisada por DRX.

Na Figura 14 apresenta-se a percentagem relativa das fases não carbonatadas. Desde logo enfatiza-se a grande variabilidade de fases minerais presentes nas amostras, bem como a variável percentagem relativa entre estas fases, em todo concordante com os dados petrográficos previamente apresentados. As amostras apresentam como fases minerais não carbonatadas o quartzo, micas (biotite e moscovite), clorite, diópsido (piroxena), feldspato, plagioclase, escapolite e epidoto como elementos mineralógicos dominantes. Pontualmente surgem ainda talco, pirite, minerais de argila, vesuvianite e granada wollastonite (?) em algumas das amostras analisadas.

Na análise dos resultados das frações não carbonatadas obtidos para as diferentes amostras, os valores das componentes não carbonatadas foram recalculados para 100% na descrição das fases mineralógicas presentes.



Figura 14 - Composição mineralógica não carbonatada analisada por DRX.

- **Grupo 1 - Formação Carbonatada de Elvas próximo do contato com o Complexo Plutônico de Santa Eulália**

Os resultados da análise da composição mineralógica por DRX das amostras do Grupo 1 (Fig. 15) demonstram uma heterogeneidade considerável dentro deste grupo. A percentagem relativa de minerais carbonatados varia entre 99-20,1%. Com exceção do mármore puro (amostra BARB-14) com 85,8% de dolomite e 13,8% de calcite, a componente carbonatada dos mármore calcíticos impuros (MONF-1, 38,3%; MONF-4, 35,5% e MONF-5, 20,1%) e da rocha calcossilicatada *s.l.* (BARB-18, 22,5%) é exclusivamente calcítica. Os resultados da componente calcítica obtidos os mármore impuros MONF-1 (38,3%), MONF-4 (35,5%) e MONF-5 (20,1%) são substancialmente inferior aos valores estimados pela análise petrográfica (>50%) e que permitiu classificar estas amostras como mármore. Consequentemente os resultados obtidos para a componente não carbonatada nestas amostras, apesar de qualitativamente concordantes, estão sobrelevados, relativamente ao observado petrograficamente.

A composição mineralógica não carbonatada do Grupo 1 é essencialmente constituída por plagioclase, feldspato alcalino, epídoto, escapolite, diópsido, quartzo, clorite, micas (biotite e/ou moscovite) e vesuvianite.

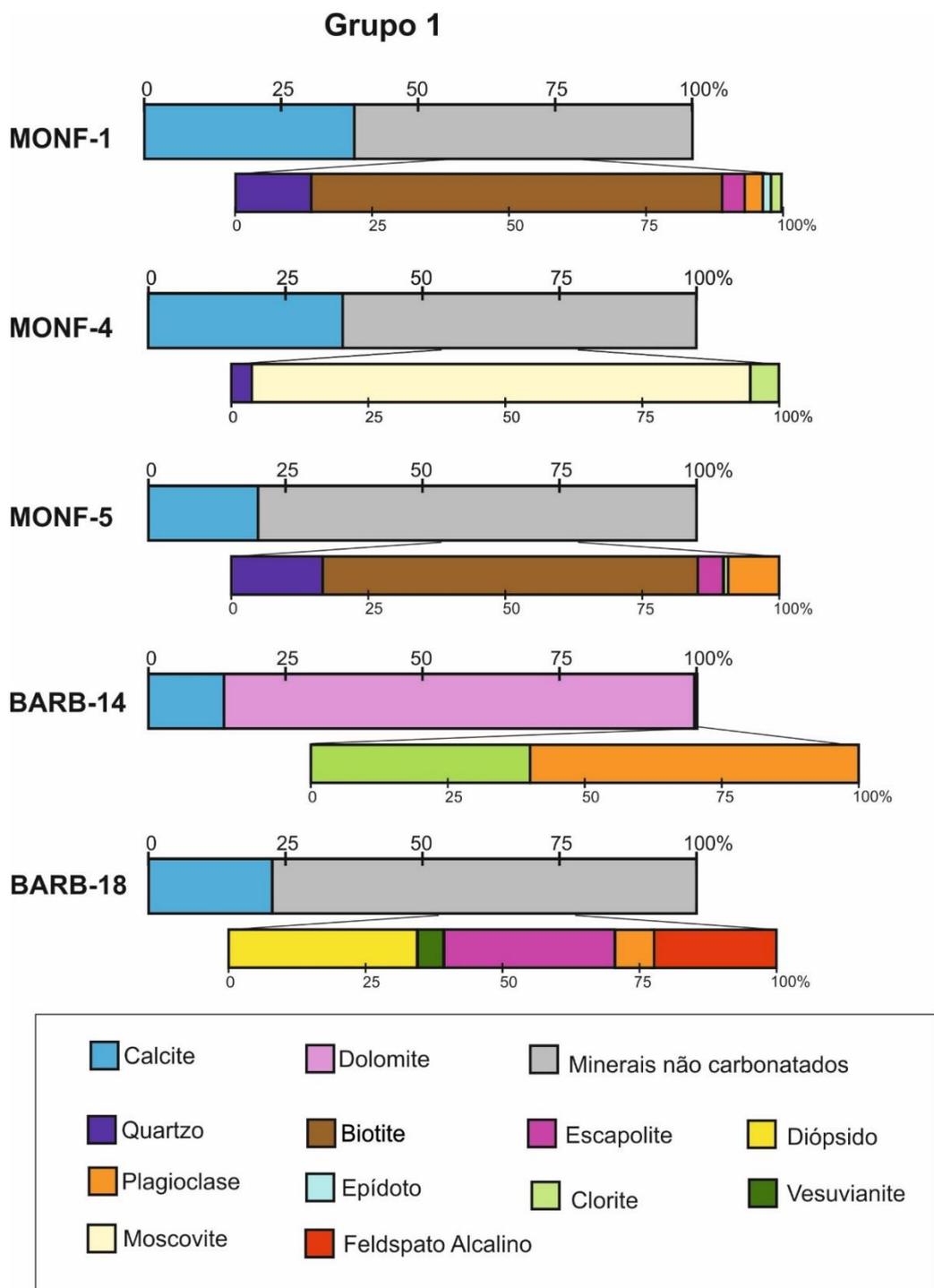


Figura 15 - Projeção dos dados da difração de raios-X das amostras do Grupo 1 - proporção mineralogia carbonatada e não carbonatada.

A fração não carbonatada das amostras MONF-1 (61,7%) e MONF-5 (80%) é essencialmente constituída por biotite (68,6-75%) e quartzo (13,8-16,6%) com quantidades menores de escapolite, clorite, plagioclase e epídoto.

A fração não carbonatada da amostra MONF-4 (64,4%) recalculados para 100% corresponde a 91,0% de moscovite à qual se associa clorite, quartzo e epídoto em quantidades menores. Na amostra BARB-14 os 0,5% de fração não carbonatada correspondem a plagioclase e clorite. A amostra BARB-18 a fração não carbonatada (77,4%) corresponde a diópsido (34,4%), escapolite (31%), feldspato alcalino (22,7%), vesuvianite (4,7%) e plagioclase (7,1%).

- **Grupo 2 – Formação Carbonatada de Elvas no interior do Complexo Plutónico de Santa Eulália**

Os mármore impuros (MON-1, MONF-2, MONF-3 e BARB-17) apresentam percentagens de calcite entre os 65,8-81,8%. As rochas calcossilicatadas s.l. BARB-15 e BARB-16 apresentam, respetivamente 2,6% de dolomite e 11,7% de calcite.

Dentro da fração não carbonatada observa-se a presença de uma mineralogia diversificada com diópsido, plagioclase, escapolite, vesuvianite, feldspato alcalino, epídoto, micas (moscovite e/ou biotite), quartzo, granada, wollastonite (?) e montmorilonite.

A amostra MON-1 apresenta a menor percentagem em mineralogia não carbonatada com cerca de 18%. Da maior para menor quantidade (valores recalculados para 100%) aparece moscovite (24,3%), diópsido (22,7%), epídoto (16,6%), escapolite e pirite em igual percentagem (11,6%), quartzo (7,2%) e ainda feldspato alcalino (6,1%).

A amostra MONF-2 apresenta cerca de 34,3% de fração não carbonatada. Esta percentagem corresponde a plagioclase (74,9%), vesuvianite (10,5%), epídoto (6,7%), diópsido (6,1%) e menor quantidade de granada e montemorilonite.

A amostra MONF-3 apresenta 23% de mineralogia não carbonatada, essencialmente composta por vesuvianite (72%), diópsido (17%) e epídoto (10,4%).

A fração não carbonatada (29,9%) da amostra BARB-17 é dominada por plagioclase (78,6%) e em menor quantidade diópsido (12%) e epídoto (9,4%).

As amostras BARB-15 e BARB-16 apresentam grande percentagem de mineralogia não carbonatada (97,4% e 88,3%, respetivamente). A amostra BARB-15 apresenta

escapolite (47,1%), diópsido (25,9%), feldspato alcalino (15,5%), wollastonite (10,4%) e menor quantidade de quartzo e biotite. Contudo, na petrografia não se observa a wollastonite. A amostra BARB-16 apresenta diópsido (28,1%), escapolite (26,5%), epídoto (16,1%), plagioclase (14,3%), feldspato alcalino (9,5%) e menor quantidade de biotite. Em virtude da sua elevada percentagem de fração não carbonatada (97%) a amostra BARB-15 não seguiu para análise isotópica de estrôncio.

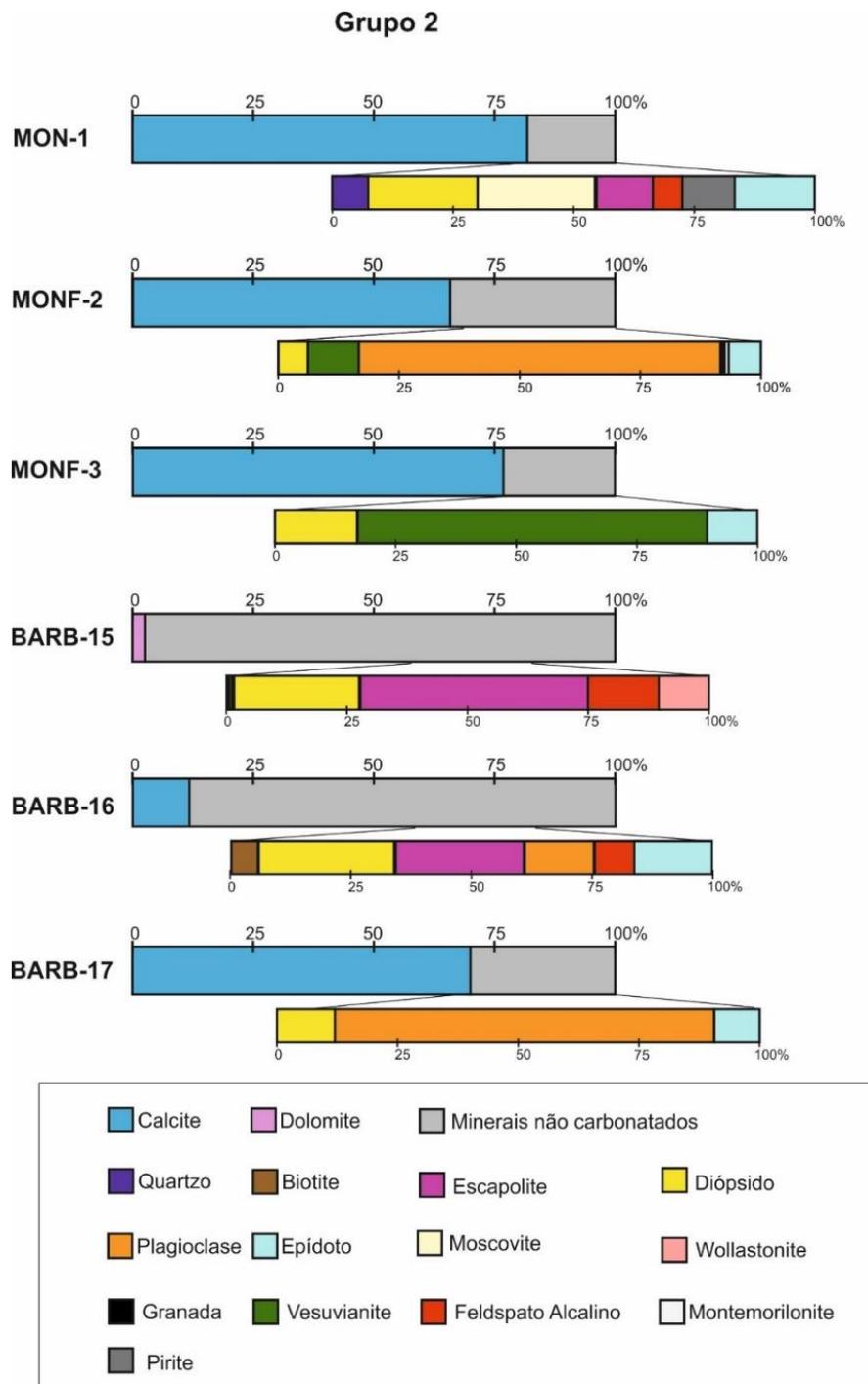


Figura 16 - Projeção dos dados da difração de raios-X das amostras do Grupo 2 - proporção mineralogia carbonatada e não carbonatada.

- **Grupo 3 - Formação Carbonatada de Elvas afastada de corpos intrusivos**

Este grupo caracteriza-se pela elevada percentagem (>50%) de mineralogia carbonatada (calcite e/ou dolomite) (Fig. 17). O grupo, como na petrografia, divide-se em dolomias (BARB-10, BARB-11 e BARB-12) e calcários (MONF-6, BARB-13 e BARB-19).

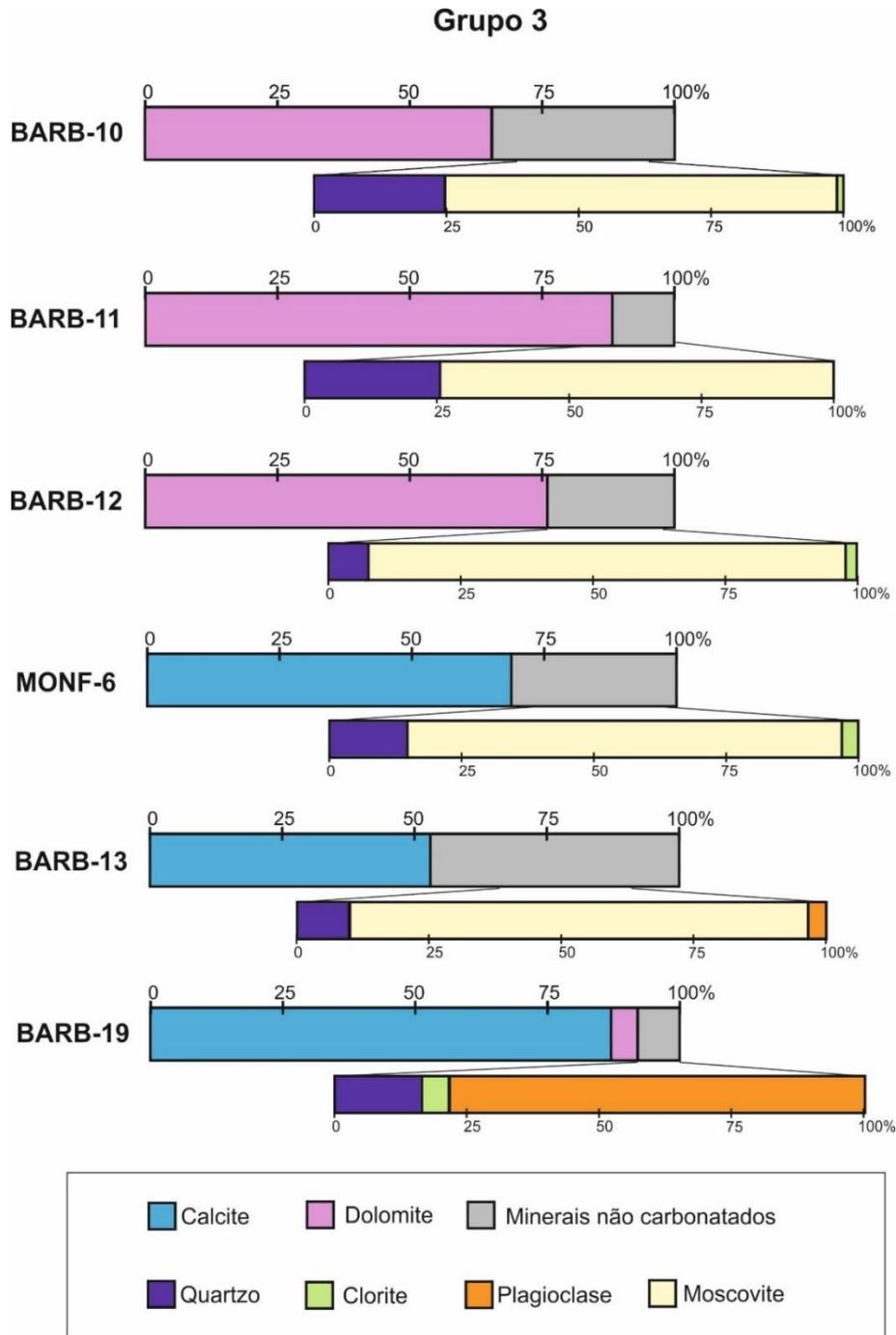


Figura 17 - Projeção dos dados da difração de raios-X das amostras do Grupo 3 - proporção mineralogia carbonatada e não carbonatada.

As dolomias apresentam entre 65,5-88,3% de dolomite. A mineralogia não carbonatada é muito simples, como observado na petrografia, com quartzo, moscovite e clorite. A amostra BARB-10 também apresenta 0,2% de calcite, valor que é bastante inferior ao valor estimado na análise petrográfica.

A fração não carbonatada (34,4%) da amostra BARB-10 é composta por moscovite (74,1%), quartzo (24,7%) e clorite (1,2%). Na amostra BARB-11 a fração não carbonatada (11,7%) corresponde a moscovite (74,4%) e quartzo (25,6%). A amostra BARB-12 apresenta fração não carbonatada (24,1%) que corresponde a moscovite (90,5%), quartzo (7,5%) e clorite (2,1%).

Os calcários apresentam valores de calcite entre 53-87,1%. A amostra BARB-19, para além dos 87,1% de calcite, também apresenta 5% de dolomite. A mineralogia não carbonatada com quartzo, plagioclase, clorite e moscovite é muito idêntica à observada nos calcários dolomíticos.

A fração não carbonatada (31,2%) da amostra MONF-6 corresponde a moscovite (82,1%), quartzo (14,7%) e clorite (3,2%). Na amostra BARB-13 a fração não carbonatada (47%) corresponde a moscovite (86,8%), quartzo (9,8%) e plagioclase (3,4%) enquanto a amostra BARB-19 com 7,9% de fração não carbonatada, corresponde a plagioclase (78,5%), quartzo (16,5%) e clorite (5,1%).

- **Grupo 4 – Formação Carbonatada de Elvas próximo do contato com o Maciço de Alter Pedroso e Vaiamonte**

Este grupo composto dois mármore impuros (MONF-7 e MONF-9) e uma rocha calcossilicatada *s.l.* (MONF-8). MONF-7 apresenta 66,7% de calcite, MONF-8 apresenta 33,9% de calcite e a amostra MONF-9 apresenta 30% de calcite e 25,5% de dolomite.

A fração não carbonatada (33,4%) da amostra MONF-7 corresponde a biotite (50,3%), escapolite (14,1%), clorite (13,8%), quartzo (12,9%) e em menor quantidade plagioclase. Na amostra MONF-8 (66%) corresponde a biotite (40%), clorite (25,8%), quartzo (15,6%), plagioclase (12,1%) e escapolite (6,5%). Nesta amostra o valor obtido 6,5% de escapolite é substancialmente inferior ao valor estimado na análise petrográfica. A fração não carbonatada da amostra MONF-9 (44,4%) corresponde a moscovite (70,3%), talco (19,8%) e em menor quantidade (<4%) epídoto, clorite e quartzo. O talco presente nesta amostra, não observado na petrografia pois pode estar associada as zonas mais finas da rocha que dificulta a sua observação.

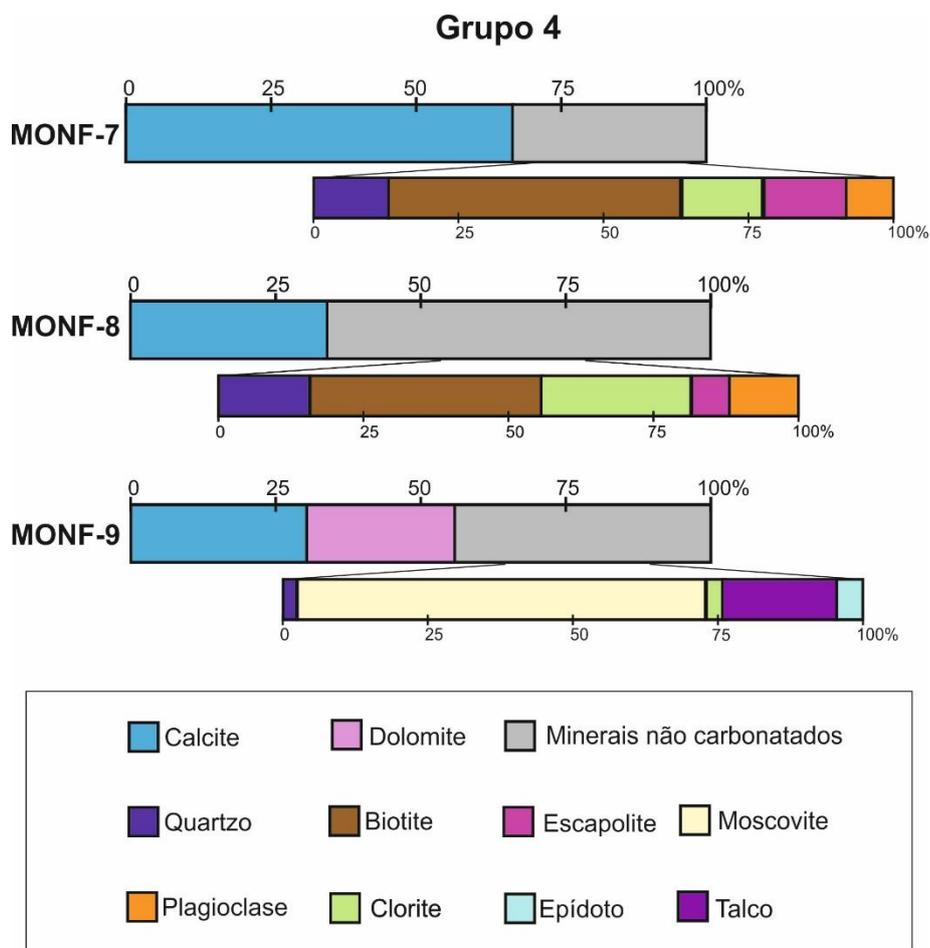


Figura 18 - Projeção dos dados da difração de raios-X das amostras do Grupo 4 - proporção mineralogia carbonatada e não carbonatada.

- **Grupo 5 – Formação Carbonatada de Elvas próxima do contato com Complexo Máfico - Ultramáfico de Alter do Chão**

Este grupo, constituído por duas rochas calcossilicatadas *s.l.* (BAT-1 e BAT-2) com fração carbonatada (calcite) inferior a 15%. A amostra BAT-1 apresenta 87% de fração não carbonatada que corresponde a feldspato alcalino (29,1%), plagioclase (22,8%), diópsido (piroxena) (21,5%), epidoto (15,9%), e menor quantidade em escapolite, clorite, pirite e biotite. A amostra BAT-2 tem 89,6% de fração não carbonatada que corresponde a feldspato alcalino (44,3%), escapolite (26%), diópsido (piroxena) (13,6%), epidoto (9,6%) e em menor quantidade plagioclase.

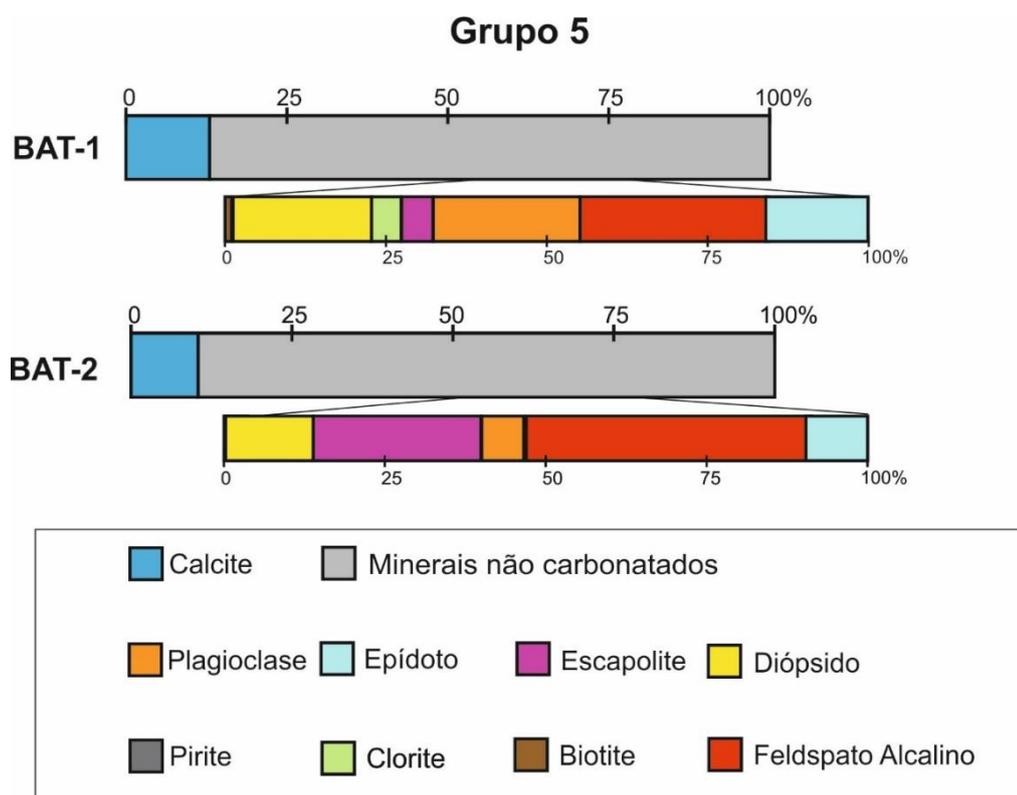


Figura 19 - Projeção dos dados da difração de raios-X das amostras do Grupo 5 - proporção mineralogia carbonatada e não carbonatada.

### 4.3. Geoquímica de isótopos de estrôncio ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )

A análise isotópica da razão de estrôncio ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) foi obtida no Laboratório de Geologia Isotópica da Universidade de Aveiro (LGI-UA; ver capítulo 3.3.3). Os resultados obtidos de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  nas fases carbonatadas das amostras em estudo são apresentados na Tabela 8. Na Figura 20 projetam-se os valores de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  obtidos em todas as amostras analisadas. Apesar da heterogeneidade dos dados, a sua análise e interpretação será efetuada com base no modelo de razões isotópicas primárias proposto por Moreira *et al.* (2019).

Em primeira análise verifica-se que grande parte das amostras possuem valores de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  coincidentes com os valores primários propostos por Moreira *et al.* (2019), enquanto as amostras, cuja fase carbonatada dominante é a dolomite, apresentam valores de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  superiores. Observa-se, também, em alguns casos amostras com calcite como fase carbonatada dominante, em que os valores da razão ultrapassam o campo proposto por Moreira *et al.* (2019).

Tabela 8 - Razão isotópica  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  obtidas por Espectrometria de Massa de Ionização Térmica.

<b>Grupo</b>	<b>Referências</b>	<b><math>^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}</math></b>	<b>Erro (2s)</b>
<b>1</b>	MONF-1	0,708692	0,000018
	MONF-4	0,708526	0,000027
	MONF-5	0,708764	0,000023
	BARB-14	0,708359	0,000018
	BARB-18	0,709434	0,000017
<b>2</b>	MON-1	0,708498	0,000021
	MONF-2	0,708515	0,000024
	MONF-3	0,708573	0,000021
	BARB-16	0,708781	0,000024
	BARB-17	0,708459	0,000023
<b>3</b>	MONF-6	0,708493	0,000021
	BARB-10	0,709478	0,000021
	BARB-11	0,709546	0,000023
	BARB-12	0,708964	0,000018
	BARB-13	0,708480	0,000027
	BARB-19	0,708481	0,000023
<b>4</b>	MONF-7	0,708944	0,000020
	MONF-8	0,709586	0,000018
	MONF-9	0,708542	0,000020
<b>5</b>	BAT-1	0,709393	0,000021
	BAT-2	0,709061	0,000020

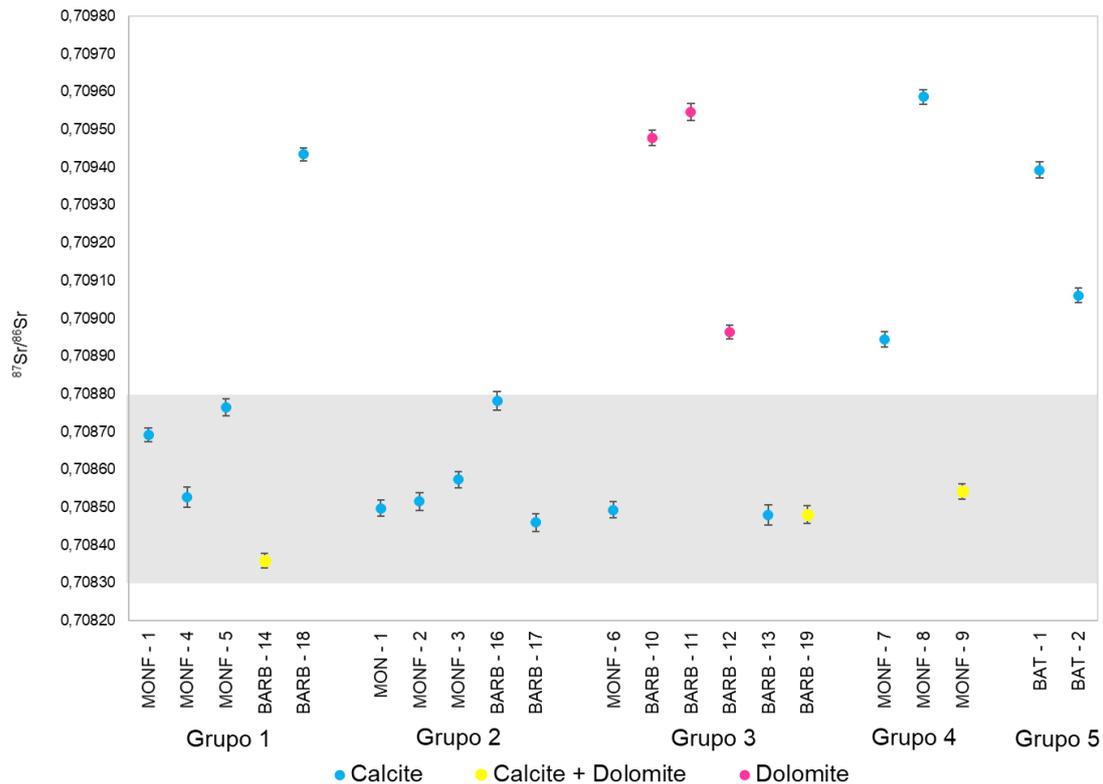


Figura 20 - Projeção das razões ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) obtidas nas fases carbonatadas das amostras em estudo. A sombreado encontra-se o campo proposto por Moreira *et al.* (2019) para a assinatura primária dos carbonatos do Câmbrio da ZOM.

- **Grupo 1 – Formação Carbonatada de Elvas próximo do contato com o Complexo Plutónico de Santa Eulália**

Na Figura 21 projetam-se os valores da razão isotópica  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  relativos às amostras do Grupo 1. Como referido as amostras deste grupo apresentam como carbonato dominante quer a calcite (amostras MONF-1, MONF-4, MONF-5 e BARB-18) quer a dolomite (BARB-14).

Os dados das amostras de natureza calcítica apresentam valores de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  compreendidos entre 0,708526 (amostra MONF-4) e 0,709434 (amostra BARB-18). A amostra BARB-14, a única de composição dolomítica apresenta o mínimo relativo deste grupo (0,708359). Importa referir que a amostra BARB-18 destaca-se substancialmente, com valores mais elevados que as restantes amostras do grupo. Faz-se notar que a amostra em questão apresenta elevado teor de fases minerais não carbonatadas, destacando-se o aparecimento de várias fases ricas em Ca, nomeadamente o diópsido, a vesuvianite e a escapolite, para além do aparecimento de feldspatos. É também esta amostra a única que se projeta acima do limite superior definido por Moreira *et al.* (2019)

para a assinatura primária de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  dos carbonatos câmbricos da ZOM, sendo que as restantes amostras apresentam valores da razão isotópica em tudo semelhantes ao intervalo de assinaturas isotópicas propostas.

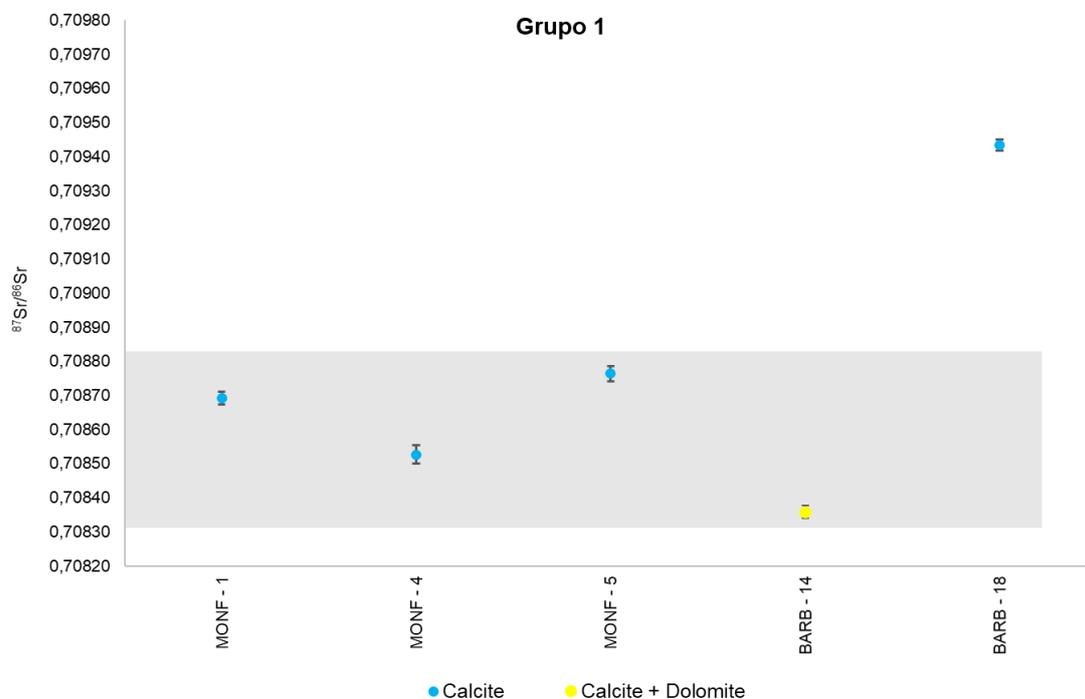


Figura 21 - Projeção dos resultados da razão isotópica de estrôncio ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) relativo ao Grupo 1 (a sombreado marca-se o campo proposto por Moreira *et al.* 2019 para a assinatura primária dos carbonatos câmbricos da ZOM).

- Grupo 2 – Formação Carbonatada de Elvas no interior do Complexo Plutónico de Santa Eulália**

Este grupo, como descrito anteriormente, é constituído por mármore impuros e rochas calcossilicatadas *s.l.* que apresenta como carbonato principal a calcite. Como foi referido previamente a amostra BARB-15 dada a sua percentagem em fração carbonatada (0,2% de dolomite) não foi analisada isotopicamente.

Assim, os valores da razão isotópica  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  para este conjunto de amostras, mostra baixa variação (Fig. 22), com valor máximo representado pela razão isotópica da amostra BARB-16 (0,708781) e mínimo correspondente ao valor da razão obtida para a amostra BARB-17 (0,708459). Tendo em conta os dados obtidos na análise de DRX, a amostra BARB-16 é a que apresenta menor percentagem de calcite (11,7%) e a amostra BARB-17 por sua vez, apresenta valores de 70% em calcite.

Importa mencionar que todas as amostras apresentam valores da razão de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  em tudo semelhantes à assinatura primária proposta por Moreira *et al.* (2019) para os carbonatos do Câmbrico da ZOM.

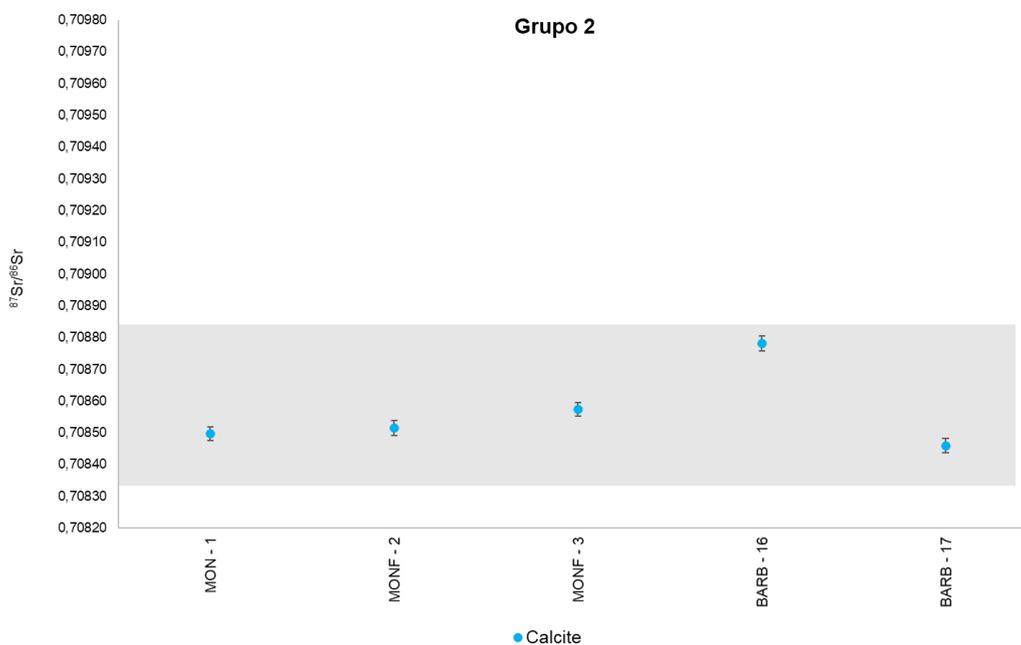


Figura 22 - Projeção dos resultados da razão isotópica de Estrôncio ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) relativos ao Grupo 2 (a sombreado marca-se o campo proposto por Moreira *et al.* 2019 para a assinatura primária dos carbonatos do Câmbrico da ZOM).

- Grupo 3 – Formação Carbonatada de Elvas afastada de corpos intrusivos**

A análise dos dados (Fig. 23) mostra a presença de dois grupos distintos: dolomias e calcários calcíticos. Os calcários calcíticos ocorrem dentro do campo definido como a assinatura primária dos carbonatos do câmbrico da ZOM (MONF-6, BARB-13 e BARB-19). Este grupo de amostras apresenta um máximo relativo de 0,708493 e um mínimo de 0,708480 no que respeita à razão isotópica em estudo. As dolomias apresentam-se todos acima do limite superior definido para a assinatura primária da razão isotópica em estudo. Aqui, incluem-se as amostras BARB-10, BARB-11 e BARB-12. Considerando o conjunto das seis amostras, o valor máximo da razão isotópica  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  é de 0,709546 e o valor mínimo é 0,708964.

Importa salientar que as dolomias apresentam-se acima da assinatura primária proposta por Moreira *et al.* (2019) para os carbonatos do Câmbrico da ZOM.

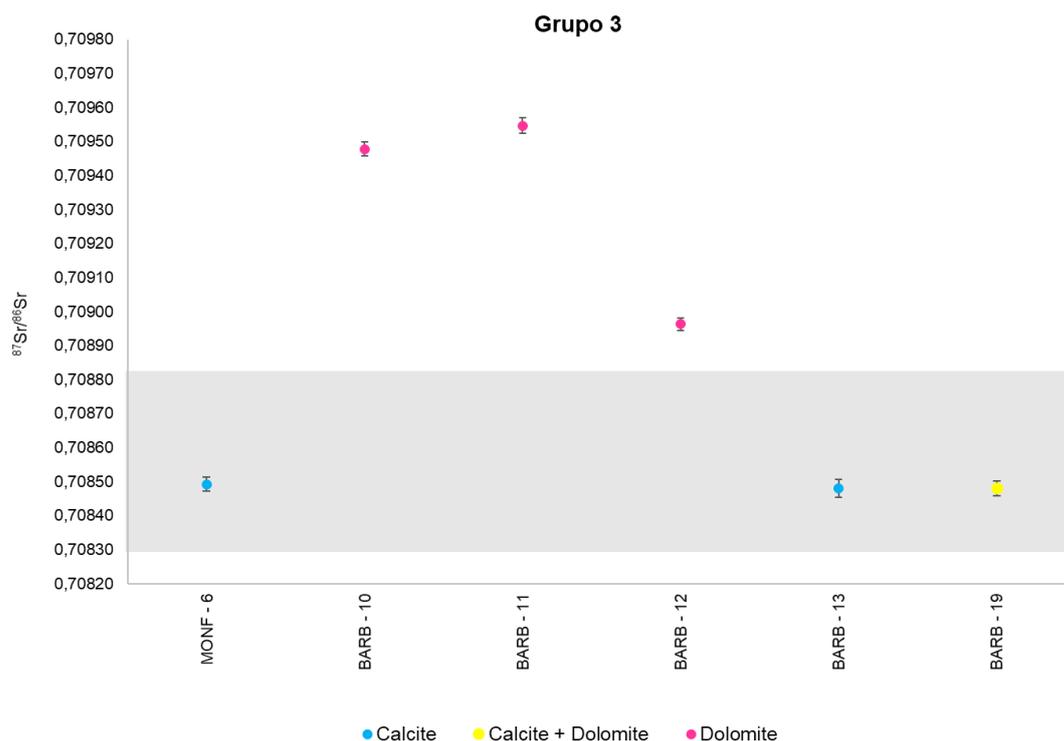


Figura 23 - Projeção dos resultados da razão isotópica de Estrôncio ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) relativos ao Grupo 3 (a sombreado marca-se o campo proposto por Moreira *et al.* (2019) para a assinatura primária dos carbonatos do Câmbrico da ZOM).

- Grupo 4 – Formação Carbonatada de Elvas próximo do contato com o Maciço de Alter Pedroso e Vaiamonte**

Este grupo é constituído por dois mármore impuros e uma rocha calcossilicatada *s.l.* O mármore impuro (MONF-7) e a rocha calcossilicatada *s.l.* (MONF-8) apresentam como carbonato principal a calcite. O outro mármore impuro MONF-9 apresenta calcite (30,2%) e dolomite (25,5%) de acordo com os dados de DRX. A amostra MONF-7 apresenta valor de 0,708944 e a amostra MONF-8 de 0,709586 para a razão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (Fig. 24). Estas duas amostras calcíticas apresentam valores  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  superiores ao obtido para a amostra MONF-9 (0,708542) que para além de apresentar dolomite caracteriza-se petrograficamente pela ausência de escapolite. Este facto faz com que o valor da razão de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  obtido na amostra MONF-9 seja em tudo semelhante à razão isotópica primária proposta por Moreira *et al.* (2019) para os carbonatos do Câmbrico da ZOM enquanto as amostras deste grupo com escapolite (MONF-7 e MONF-8) projetam-se acima do limite superior da assinatura primária ou muito próxima do seu limite superior.

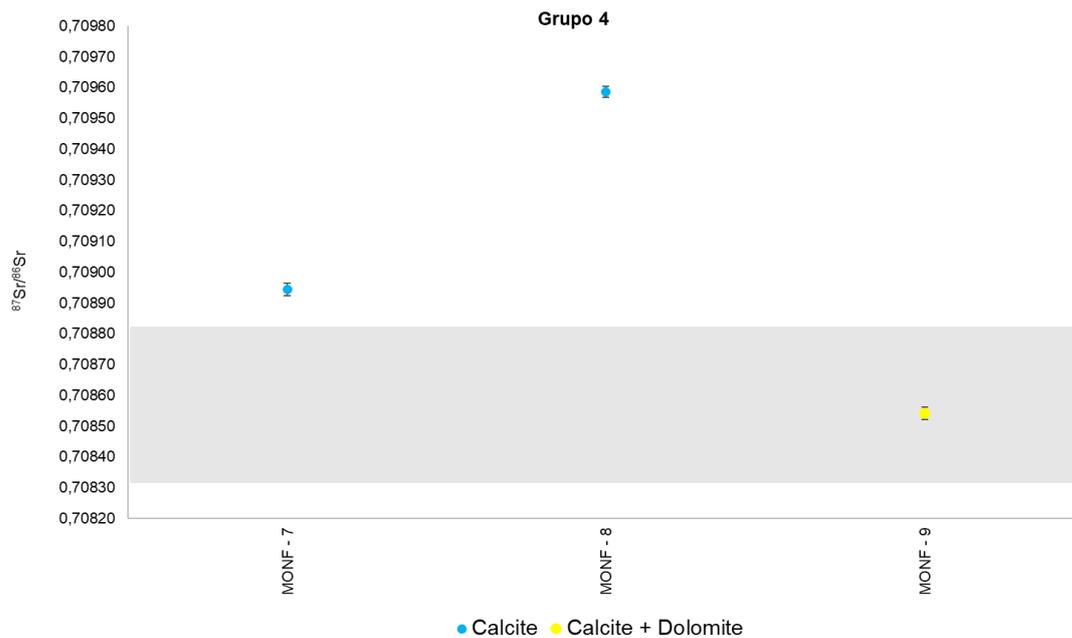


Figura 24 - Projeção dos resultados da razão isotópica de estrôncio ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) relativos ao Grupo 4 (a sombreado marca-se o campo proposto por Moreira *et al.* (2019) para a assinatura primária dos carbonatos do Câmbrio da ZOM).

- Grupo 5 – Formação Carbonatada de Elvas próxima do contato com Complexo Máfico - Ultramáfico de Alter do Chão**

Os resultados relativos das rochas calcossilicatadas *s.l.* próximas de corpos magmáticos de natureza máfica e ultramáfica, nomeadamente do CMUAC, apresentam valores máximo de 0,709393 (BAT-1) e mínimo 0,709061 (BAT-2) (Fig. 25). O carbonato principal destas amostras é a calcite com percentagens inferiores a 15%, segundo os dados abordados anteriormente. Em ambas as amostras os valores da razão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  obtido são substancialmente superiores ao limite máximo da assinatura primária proposta por Moreira *et al.* (2019).

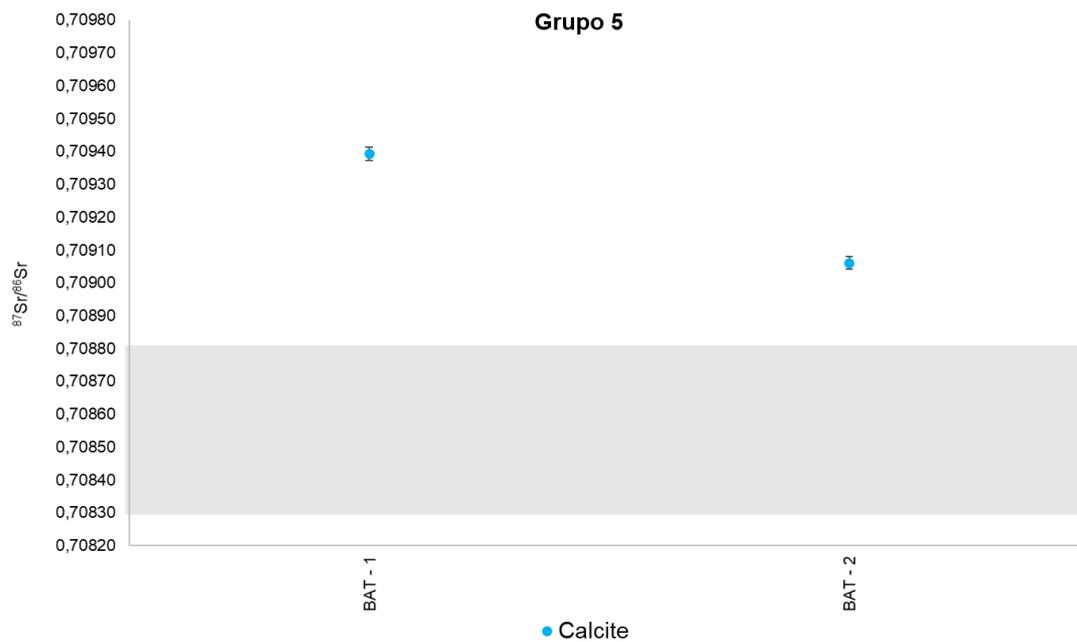


Figura 25 - Projeção dos resultados da razão isotópica de estrôncio ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) relativos ao Grupo 5 (a sombreado marca-se o campo proposto por Moreira *et al.* (2019) para a assinatura primária dos carbonatos do Câmbrico da ZOM).

## 5. Discussão dos resultados

Com o intuito de uma visão global na discussão dos resultados foi adicionado aos dados obtidos para o Grupo 3 (Formação Carbonatada de Elvas afastada de corpos intrusivos) um conjunto de dados referentes a quatro amostras coletadas junto às povoações de Vila Boim e Alter do Chão (VB-2; VB-12; VB-18 e ALT-1) analisadas por Moreira *et al.* (2019), uma vez que as mesmas apresentam similaridades mineralógicas e texturais às amostras deste grupo, não tendo sido afetadas pelo magmatismo intrusivo da região em estudo. As amostras correspondem a dois calcários impuros (VB-1 e VB-18), com teores de calcite compreendidos entre os 70 e 65%, e duas dolomias impuras (VB-12 e ALT-1), com teores de dolomite entre 75 e 60%. Segundo os autores, as dolomias apresentam evidências de dissolução e precipitação de dolomite secundária. A associação mineral não carbonatada é em tudo semelhante às amostras do Grupo 3, com mineralogia composta por quartzo + micas (sericite) + clorite + fases opacas ± anfíbulas ± epídoto ± plagioclase. Em relação aos resultados da razão isotópica  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , os valores obtidos por Moreira *et al.* (2019; VB-1 [0,708777]; VB-12 [0,709136]; VB-18 [0,708538] e ALT-1 [0,709227]) assemelham-se aos resultados isotópicos obtidos nas amostras do Grupo 3.

### 5.1. Síntese das características mineralógicas, texturais e isotópicas

Tendo em conta os resultados obtidos em cada grupo, é possível identificar uma grande heterogeneidade no que concerne às características mineralógicas e texturais das amostras carbonatadas estudadas. Os diferentes grupos mostram que a relação de proximidade a complexos magmáticos tem clara influência nas características petrográficas exibidas por cada um dos grupos. Com efeito, a divisão amostral realizada consoante a proximidade aos diversos complexos plutónicos intrusivos no Setor de Alter do Chão - Elvas, nomeadamente o CPSE, o MPAPV e o CMUAC revelou-se profícua. Os complexos plutónicos intruem a Formação Carbonatada de Elvas durante o Câmbrico-Ordovícico (CMUAC e MPAPV) ou no Carbónico (CPSE), provocando alterações nas características mineralógicas e texturais primárias das rochas carbonatadas em estudo (como será o caso do CMUAC e do MPAPV) ou nas características resultantes do metamorfismo regional de baixo grau (como é o caso do CPSE). As características petrográficas e isotópicas permitiram assim diferenciar os grupos proximais de corpos magmáticos (Grupo 1, 2, 4 e 5) e o grupo que se encontra afastado de corpos de natureza magmática (Grupo 3). Por questões de ordem prática, inicia-se a síntese das características de cada um dos grupos amostrais pelo Grupo 3, com o qual se irá realizar comparações (grupo de controle). A síntese das características

mineralógicas, texturais e isotópicas, com base na petrografia apoiada pela difração de raios-X, de cada um dos grupos encontra-se sintetizada na Tabela 9 e Figura 26.

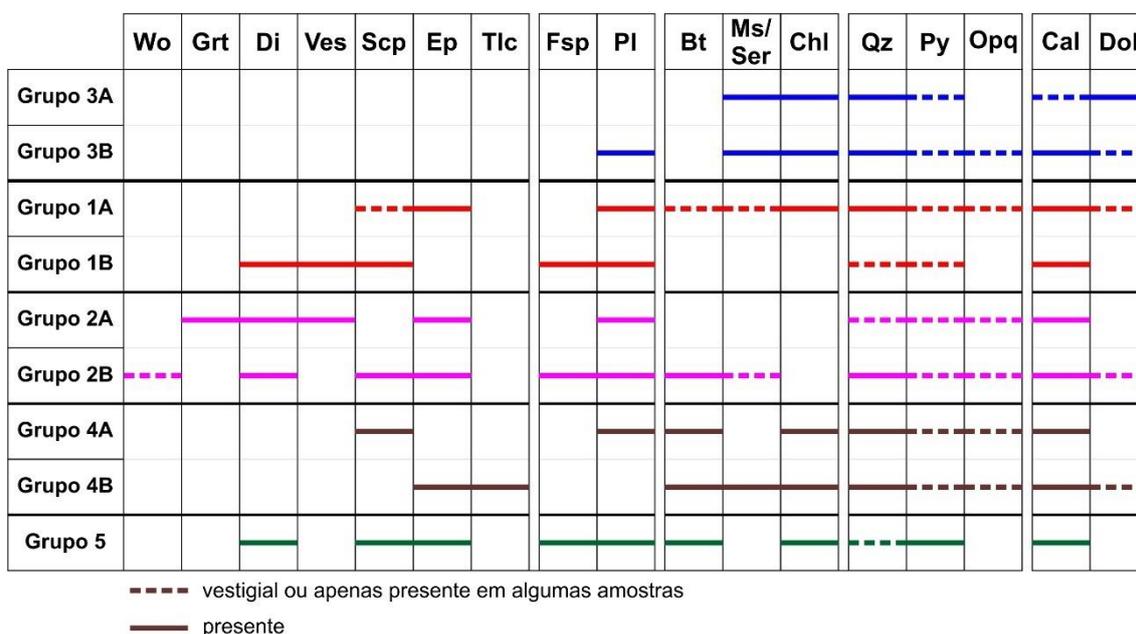


Figura 26 - Quadro paragenético dos diferentes grupos com base na análise petrográfica e mineralógica por DRX.

O Grupo 3, afastado de corpos magmáticos, deverá representar aquilo que é a associação mineralógica mais primária (mesmo que afetada por metamorfismo regional de baixo grau). Este grupo apresenta diferenças mineralógicas e texturais significativas com os restantes grupos estudados e foi subdividido em dois subgrupos:

- Subgrupo 3A: Este grupo é composto por dolomias com textura fina e intensa porosidade secundária. Os poros encontram-se preenchidos por calcite e dolomite secundária, esta última crescendo sob a forma de cristais romboédricos. A mineralogia não carbonatada deste grupo, ao contrário dos restantes grupos, é muito simples com quartzo, sericite e clorite (provável alteração da biotite). O intervalo de valores isotópicos apresenta a razão de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  [0,708964-0,709546] mais elevada, acima do limite superior da assinatura primária para os carbonatos câmbrios da ZOM proposta por Moreira *et al.* (2019).
- Subgrupo 3B: Este grupo é composto por calcários impuros que apresentam uma mineralogia não carbonatada simples, em tudo semelhante ao subgrupo 3A, construída apenas por quartzo, moscovite/sericite, clorite (provável alteração da biotite) e plagioclase. A textura destas amostras é fina a média, observando-se grãos de calcite com rebordos irregulares, ostentando baixa recristalização (maclas do tipo I e II). Quanto aos valores isotópicos o

intervalo da razão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  [0,708480-0,708493] é concordante com os valores da assinatura primária para os carbonatos câmbricos da ZOM proposta por Moreira *et al.* (2019).

O Grupo 1 (próximo do contato com o CPSE) é constituído por três mármores impuros, um mármore dolomítico e uma rocha calcossilicatada *s.l.* Apresenta de forma geral textura granoblástica grosseira em três amostras (MONF-1, MONF-4 e BARB-14) e fina em duas amostras (MONF-5 e BARB-18). A mineralogia carbonatada é dominada pela presença de calcite, com exceção da amostra BARB-14 que apresenta valores superiores a 50% de dolomite, sendo que a calcite e a dolomite apresentam evidências de recristalização, com o aparecimento de maclas de recristalização do tipo II e IV. A observação cuidada, das associações minerais nas amostras deste grupo revelam duas paragêneses não carbonatadas distintas:

- Subgrupo 1A: clorite + quartzo + moscovite/biotite + plagioclase + epídoto ± escapolite - 4 amostras (BARB-14, MONF-4, MONF-5 e MONF-1);
- Subgrupo 1B: diópsido + vesuvianite + escapolite + plagioclase + feldspato alcalino + quartzo - 1 amostra (BARB-18).

As rochas carbonatadas do Subgrupo 1A apresentam uma textura granoblástica média a grosseira de modo geral, com exceção da amostra MONF-5 que apresenta uma textura fina, uma percentagem relativa de fases carbonatadas (entre 20,1-99%) e razões de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  compreendidas entre 0,708359 (BARB-14) e 0,708764 (MONF-5). Contrariamente o Subgrupo 1B apresenta uma textura granoblástica fina, menor percentagem relativa de fases carbonatadas (23%) e uma assinatura isotópica consideravelmente superior à do Subgrupo 1A (0,709434).

O Grupo 2 (amostras coletadas no interior do CPSE) apresenta semelhanças petrográficas com o Grupo 1, muito embora a diversidade mineralógica seja superior. Em ambos os grupos as rochas carbonatadas apresentam maclas do tipo II e IV e os rebordos na calcite apresentam comumente texturas poligonais, o que evidencia a intensa recristalização dos grãos de calcite, sendo possível em alguns casos observar pontos triplos, silicatos a crescer em redor e sobre as calcites. Neste grupo, a textura granoblástica de granularidade média a grosseira é característica, sendo que a variabilidade da mineralogia não carbonatada, possibilita a distinção de duas paragêneses distintas:

- Subgrupo 2A: Composto por três amostras (MONF-2, MONF-3 e BARB-17) apresenta: diópsido + epídoto + vesuvianite + quartzo + plagioclase ± granada.

- Subgrupo 2B: Composto pelas restantes três amostras (MON-1, BARB-15 e BARB-16) apresenta: diópsido + epídoto + escapolite + micas (biotite e/ou moscovite) + feldspato alcalino + plagioclase + quartzo ± wollastonite.

Os Subgrupos 2A e 2B apresentam características texturais e isotópicas semelhantes. Com efeito, no que diz respeito aos resultados isotópicos, o Grupo 2 apresenta grande uniformidade, com um intervalo de valores compreendido entre [0,708459-0,708781], semelhante aos resultados obtidos para o Subgrupo 1A e substancialmente inferior às amostras do Subgrupo 1B.

As amostras do Grupo 4 são textural e mineralogicamente distintas dos grupos. Tendo em conta as características mineralógicas, texturais e isotópicas é possível definir dois subgrupos:

- Subgrupo 4A: Composto por um mármore impuro e uma rocha calcossilicatada *s.l.* (respetivamente, MONF-7 e MONF-8), com granularidades médias a submilimétricas, a mineralogia não carbonatada é constituída por uma matriz composta por quartzo, clorite, moscovite ou biotite e plagioclase. Sobre a matriz denota-se a presença de blastos de escapolite de dimensões consideráveis (<5mm). Este subgrupo apresenta uma razão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  [0,708944-0,709586] mais elevada que o Subgrupo 4B, projetando-se acima ou muito próximo do limite superior da assinatura primária proposta por Moreira *et al.* (2019).
- Subgrupo 4B: Composto apenas por um mármore impuro (MONF-9), com textura muito fina e com paragénese mineral composta por quartzo, moscovite, clorite, talco e epídoto. No que respeita à assinatura isotópica de estrôncio, o valor obtido (0,708542), é inferior aos valores obtidos para o Subgrupo 4A mas semelhante ao valor da assinatura primária dos carbonatos câmbricos da ZOM proposta por Moreira *et al.* (2019) (vide descrição do Grupo 3).

O Grupo 5 apresenta uma textura substancialmente mais fina com uma percentagem de calcite, inferior a 15%, ou seja, apresentado maior percentagem de mineralogia não carbonatada essencialmente composta por diópsido, feldspato, plagioclase, escapolite e epídoto à qual se associa em menor percentagem biotite, clorite e pirite. Os resultados isotópicos revelam valores da razão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  [0,709061-0,709393] superiores à assinatura primária proposta por Moreira *et al.* (2019).

Tabela 9 - Síntese das características petrográficas e isotópicas dos grupos amostrais em estudo com base nos dados petrográficos e da análise de difração de raios-X.

Grupo	Amostras	Carbonato dominante	Associação mineral não carbonatada	Granularidade	Textura Geral	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr
1A	MONF-1 MONF-5 MONF-4 BARB-14	Calcite (Dolomite BARB-14)	Qz + Bt/Ms + Pl + Scp + Ep + Chl ± Opq	Grosseira (Fina Monf-5)	Textura granoblástica inequigranular com abundantes maclas de calcite do tipo I, II e raramente IV. Bordos da calcite irregulares com tendência a textura poligonal.	[0,708359 - 0,708764]
1B	BARB-18	Calcite	Di + Pl + Fsp + Scp + Ves ± Qz ± Opq	Fina	Textura granoblástica inequigranular em geral submilimétrica. Maclas da calcite do tipo I e II.	0,709434
2A	MONF-2 MONF-3 BARB-17	Calcite	Di + Ep + Ves + Pl + Grt ± Qz ± Opq	Média a grosseira	Textura granoblástica inequigranular, calcite com maclas do tipo I, II e IV e muito raramente III. Texturas poligonais, com contato entre grãos de calcite a formar pontos triplos. Escapolite claramente posterior à calcite.	[0,708459 - 0,708573]
2B	MON-1 BARB-15 BARB-16	Calcite (Dolomite BARB-15)	Di + Scp + Bt/ Ms + Qz + Pl + Fsp + Ep ± Py ± Wo	Média a grosseira	Textura granoblástica inequigranular grosseira, calcite com maclas do tipo I, II e IV. (BARB-15 e 16 textura bandada com zonas ricas em diópsido, alguma escapolite e zonas ricas em calcite e quartzo)	[0,708498 - 0,708781]
3A	BARB-10 BARB-11 BARB-12	Dolomite	Qz + Ms (Ser) + Chl ± Opq	Fina	Textura fina (submilimétrica). Dolomite com grãos romboédricos em zonas mais porosas.	[0,708964 - 0,709546]
3B	MONF-6 BARB-13 BARB-19	Calcite	Qz + Ms (Ser) + Chl + Pl ± Opq	Fina a média	Granoblástica inequigranular de grão fino a médio. Rebordos irregulares dos grãos de calcite, e maclas do tipo I e II.	[0,708480 - 0,708493]
4A	MONF-7 MONF-8	Calcite	Qz + Scp + Bt + Chl + Pl ± Opq	Fina a média	Textura granoblástica inequigranular fina (matriz) com porfiroblastos de escapolite.	[0,708944 - 0,709586]
4B	MONF-9	Calcite + Dolomite	Qz + Bt/Ms + Chl + Ep ± Tlc ± Opq	Fina	Textura granoblástica inequigranular. Bandas ricas em micas e fases opacas (pirite).	0,708542
5	BAT-1 BAT-2	Calcite	Fsp + Pl + Scp + Di + Ep + Bt + Qz + Chl ± Opq	Fina	Textura granoblástica inequigranular submilimétrica. Calcite muito pontual. Grande quantidade de fases opacas (pirite). Veios de epidoto.	[0,709061 - 0,709393]

## 5.2. Significado das características petrográficas

Através do estudo petrográfico foi possível observar o comportamento díspar das associações minerais presentes em cada grupo e subgrupo de amostras. As diferentes características petrográficas é um dos elementos fulcrais para a diferenciação e comparação entre os diversos grupos estudados, tendo sempre como termo comparativo o grupo de amostras que se encontra afastado dos corpos magmáticos intrusivos no Setor de Alter do Chão - Elvas (Grupo 3).

Como referido, os calcários do Subgrupo 3B devem representar as características primordiais das rochas carbonatadas da Formação Carbonatada de Elvas, sendo que as características texturais e mineralógicas primárias são apenas resultantes do metamorfismo regional de baixo grau que afetou este sector (Moreira *et al.*, 2014a). As amostras deste subgrupo apresentam mineralogia simples com quartzo, micas, clorite, e plagioclase, grãos de calcite com rebordos irregulares, embutidos nos grãos vizinhos, e sem evidências de textura poligonal, típica de uma intensa recristalização (Fig. 27A). A calcite ostenta frequentemente maclas do tipo I e do tipo II, o que está de acordo com as condições do metamorfismo regional na fácies dos xistos verdes.

Contrariamente ao Subgrupo 3B, as rochas carbonatadas do Subgrupo 3A apresentam como carbonato dominante a dolomite. Estas dolomias exibem uma textura muito fina, submilimétrica, com uma mineralogia não carbonatada simples (quartzo, micas e clorite). Nas dolomias do Subgrupo 3A é comum o aparecimento de poros evidenciando a presença de processos de dissolução intensa do carbonato primário; o aparecimento de uma segunda geração de grãos euédricos de dolomite (Fig. 27B) ou, mais raramente, de calcite, são características distintivas.

A presença de grãos euédricos de dolomite evidência a sua natureza secundária, sendo essa a natureza de toda a matriz da rocha carbonatada em questão. Assim, a análise petrográfica demonstra claramente que as rochas deste subgrupo são dominadas pela presença de uma intensa dolomitização secundária, algo que pode explicar a alteração das características isotópicas primárias, aliás como reportado em trabalhos anteriores (Moreira *et al.*, 2019).

Um das principais características dos grupos próximos do contacto com o CPSE (Grupos 1 e 2) é a textura com tendência para a poligonização dos grãos de calcite ou dolomite com a presença de abundantes pontos triplos, ocorrendo sobretudo nas amostras com uma granularidade mais grosseira, o que indica uma intensa recristalização da calcite (Fig. 27C). Nestas rochas carbonatadas, é comum o aparecimento de cristais de calcite com abundantes maclas do tipo II e, embora mais

raramente, com maclas do tipo III e IV, indo ao encontro do processo de recristalização metamórfica resultante da instalação do CPSE. A diversidade mineralógica dos grupos próximos do contacto com CPSE é abundante com o aparecimento de uma mineralogia calcossilicatada assinalável (e.g. escapolite, vesuvianite, plagioclase, diópsido, granada e epídoto; Fig. 27D e E), associada a quartzo, feldspato alcalino e micas.

Por outro lado, as rochas carbonatadas dos grupos 4 e 5, amostradas perto do contacto com complexos intrusivos de idade ordovícica, distinguem-se entre si devido à natureza dos corpos intrusivos: Grupo 4 proximal a corpos de natureza peralcalina enquanto o Grupo 5 é proximal a corpos de natureza (ultra)máfica. Em qualquer um dos casos, o processo ligado à intrusão dos corpos plutónicos é anterior ao metamorfismo regional do Devónico-Carbónico (Moreira *et al.*, 2014b), pelo que as modificações mineralógicas e texturais deverão ser resultado desta conjugação de processos.

No que concerne ao Grupo 4, este apresenta grandes similaridades petrográficas com o Grupo 3B, nomeadamente na presença da paragénese constituída por quartzo + micas + clorite + plagioclase. No entanto, nas amostras do Subgrupo 4A é comum o aparecimento de blastos de escapolite crescendo sobre a matriz, com evidência de processos tectometamórficos posteriores ao seu crescimento, apresentando regularmente texturas porosas e estando muitas vezes deformada em regime frágil, resultante do metamorfismo regional posterior à formação da escapolite (Fig. 27F). Já o Subgrupo 4B apresenta níveis ricos em micas e sulfuretos, o que pode ser indicativo da presença de fluidos de natureza distinta dos fluidos metamórficos de natureza regional e que pode ser resultado do processo de metamorfismo/ metassomatismo de contato.

O Grupo 5 apresenta características muito particulares, caracterizando-se pela sua textura granoblástica muito fina com uma diversificada variabilidade mineralógica (feldspato alcalino + plagioclase + escapolite + diópsido + epídoto + clorite) mostrando alguma semelhança com as amostras dos grupos 1 e 2, e distinguindo-se de forma clara dos grupos 3 e 4. Nestas amostras é comum o aparecimento de pirite, que poderá também estar relacionada com a percolação de fluidos relacionados com a intrusão do corpo magmático máfico.

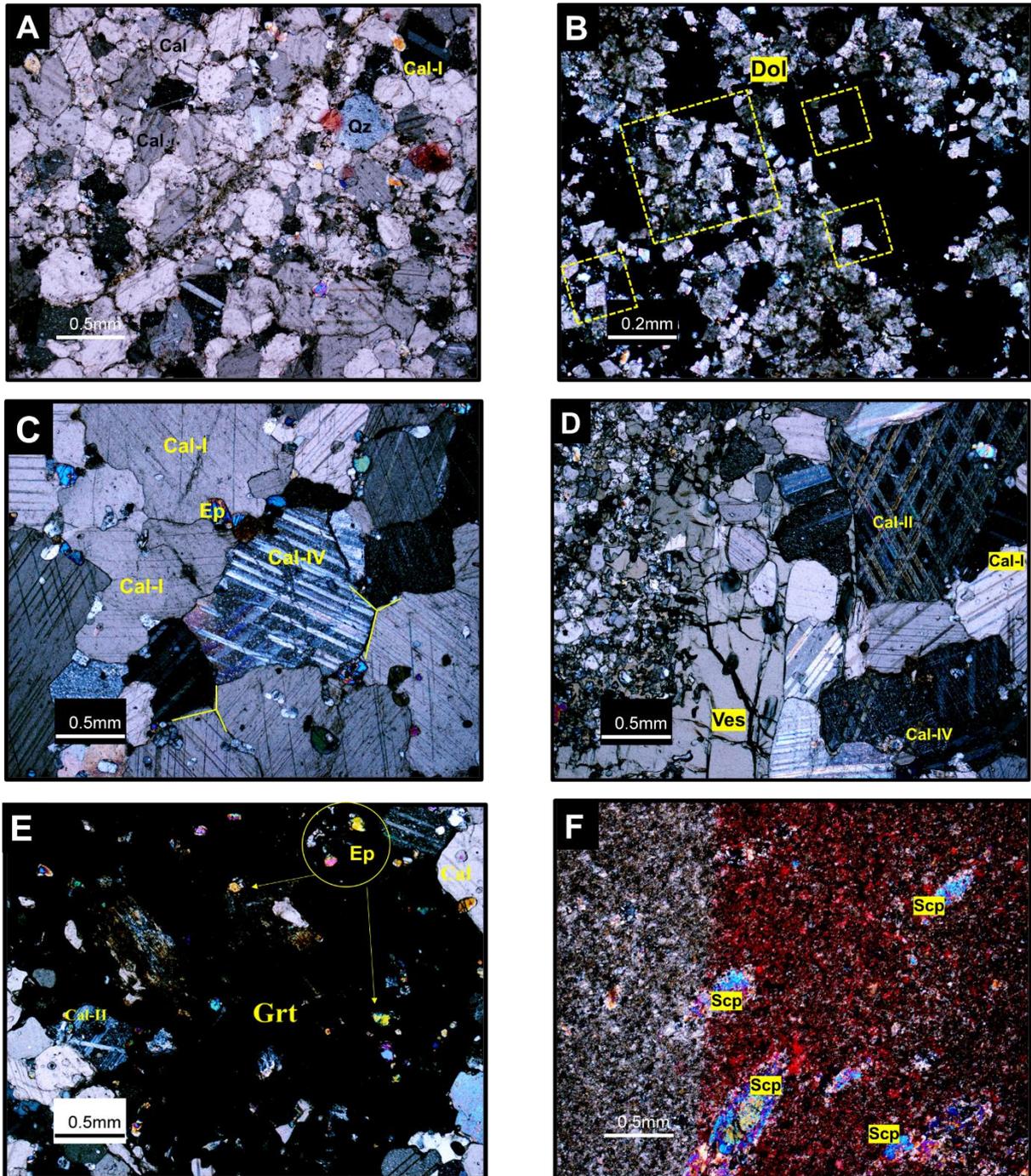


Figura 27 - A) Aspecto textural da amostras BARB-19 com rebordos irregulares dos grãos de calcite (NX); B) Pormenor da amostras BARB-11 com dolomite euédrica em zona porosa (NX); C) Aspecto textural da amostra BARB17, com tendência para a poligonização dos grãos de calcite (NX); D) Contacto entre vesuvianite e calcite, calcite com maclas do tipo II e IV da amostra MONF-3 (NX); E) Granada com inclusões de epídoto e contacto com calcite da amostra MONF-2 (NX); F) Aspecto textural da amostra MONF-5 com blastos de escapolite numa matriz mais fina (NX).

Abreviaturas: Cal-I calcite com maclas do tipo I; Cal-II calcite com maclas do tipo II; Cal-IV calcite com maclas do tipo IV; Ves-vesuvianite; Scp-escapolite; Grt-granada; Ep-epídoto; Dol- dolomite.

A maior diversidade na mineralogia não carbonatada patente nos grupos 1, 2, 4 e 5 nomeadamente com a presença abundante de silicatos (muitos deles ricos em cálcio) deverá estar relacionada com a proximidade dos grupos amostrais aos corpos magmáticos. Grande parte destes minerais (escapolite, vesuvianite, granada, diópsido e epídoto) apresentam relações texturais que permitem mostrar que a sua génese é claramente posterior à matriz de origem sedimentar. Estas relações texturais e espaciais são indicativas da associação desta mineralogia à intrusão dos diversos complexos plutónicos, seja o CPSE, CMUAC ou o MPAPV. Assim, com a proximidade aos corpos magmáticos, ocorre o incremento das fases minerais silicatadas presentes nas amostras o que poderá ser indicativo do processo metassomático. A presença de texturas bandadas, abundantes nas amostras do Grupo 2 (Fig. 7), com a presença de relações de corte mostrando o enriquecimento nestas fases siliciosas são indicativas da percolação de fluidos (provavelmente hidrotermais e quimicamente ativos) aquando da génese destas fases minerais.

### **5.3. Classificação da natureza das amostras**

A natureza das amostras em estudo pode ser clarificada com a utilização de diagramas ternários, que possibilitam a sua divisão e classificação de acordo com as percentagens relativas dos minerais presentes nas amostras. Os dados para a projeção nestes diagramas podem ser obtidos através da análise modal, mas também podem ser utilizados os resultados obtidos através da análise semi-quantitativa obtida através dos resultados de DRX (e.g. da Luz *et al.*, 2019). A utilização destes dados permite a projeção em três diagramas distintos:

1. Diagrama de Giannini (2000) – Permite a classificação em rochas não carbonatadas ou carbonatadas, sendo o que o limite entre ambos os domínios resulta da proporção relativa entre fases carbonatadas e não carbonatadas (Fig. 28). Dentro das rochas carbonatadas, a relação dolomite-calcite (principais carbonatos) permite a separação entre rochas calcárias e dolomias, sendo que podem ser mais ou menos impuras, dependendo do teor relativo de minerais não carbonatados (Fig. 28).

2. Diagrama de Gamero-Diaz *et al.* (2012) – Permite a classificação das rochas estudadas quanto à natureza do protólito. Assim, no vértice argilas projetaram-se os valores correspondentes aos filossilicatos (moscovite, biotite e clorite) que terão resultado do metamorfismo dos minerais de argila do protólito; no vértice carbonatos projetou-se o somatório das fases carbonatadas presentes (calcite e dolomite) e, por fim, no vértice outros é projetado a restante mineralogia presente (quartzo, piroxena, vesuvianite, escapolite, plagioclase, talco, feldspato alcalino, granada, montemorilonite, pirite, wollastonite e epídoto) (Fig. 29). Este diagrama permite separar as amostras como rochas carbonatadas (calcário ou dolomia), calcário margoso, margas carbonatadas, e argilito.
3. Diagrama de Davis & Ferry (1993) – Permite a classificação das rochas quanto ao seu grau de pureza, sendo que a projeção tem como base a proporção entre silicatos (quartzo, biotite, moscovite e clorite), minerais calcossilicatados (piroxena, vesuvianite, escapolite, plagioclase, wollastonite e epídoto) e minerais carbonatados (calcite e dolomite) (Fig. 30). A utilização deste diagrama permite a separação entre mármore puros e impuros, rochas silico-carbonatadas, rochas calcossilicatadas e rochas silicatadas com carbonatos disseminados.

A projeção dos dados de DRX no diagrama ternário de Giannini (2000) mostra uma heterogeneidade na natureza das rochas em estudo (Fig. 28): 9 amostras são consideradas não carbonatadas, 8 amostras projetam-se nos campos dos calcários impuros, 4 amostras projetam-se no campo da dolomia impura, apenas uma amostra se projeta no campo do calcário e uma outra no campo da dolomia calcítica. A projeção dos dados de DRX são, grosso modo, concordantes com os dados petrográficos previamente apresentados, revelando uma abundância significativa das fases não carbonatadas.

As amostras do Grupo 3 projetam-se no campo dos carbonatos, embora em campos distintos devido às proporções relativas das fases carbonatadas dominantes (Fig. 28). Todas são rochas impuras, com exceção para uma amostra com teores de carbonatos, neste caso dominado por calcite, superiores a 90% (BARB-19). Considerando este grupo como representativo da Formação Carbonatada de Elvas, tal facto indica que as rochas carbonatadas desta unidade são geralmente impuras, com uma componente detrítica variável, mas geralmente considerável. Tal facto permite-nos inferir sobre a natureza do protólito destas rochas. A projeção dos dados no diagrama ternário de Gamero-Diaz *et al.*, (2012; Fig. 29) indica-nos a dominância de rochas carbonatadas (calcário ou dolomias indiferenciados) como os litótipos mais comuns da Formação



(BARB-18) é uma rocha não carbonatada (Fig. 28; Giannini, 2000), derivada de um argilito e é considerado, contrariamente ao classificado petrograficamente, como uma rocha silico-carbonatada (Fig. 30; Davis & Ferry, 1993).

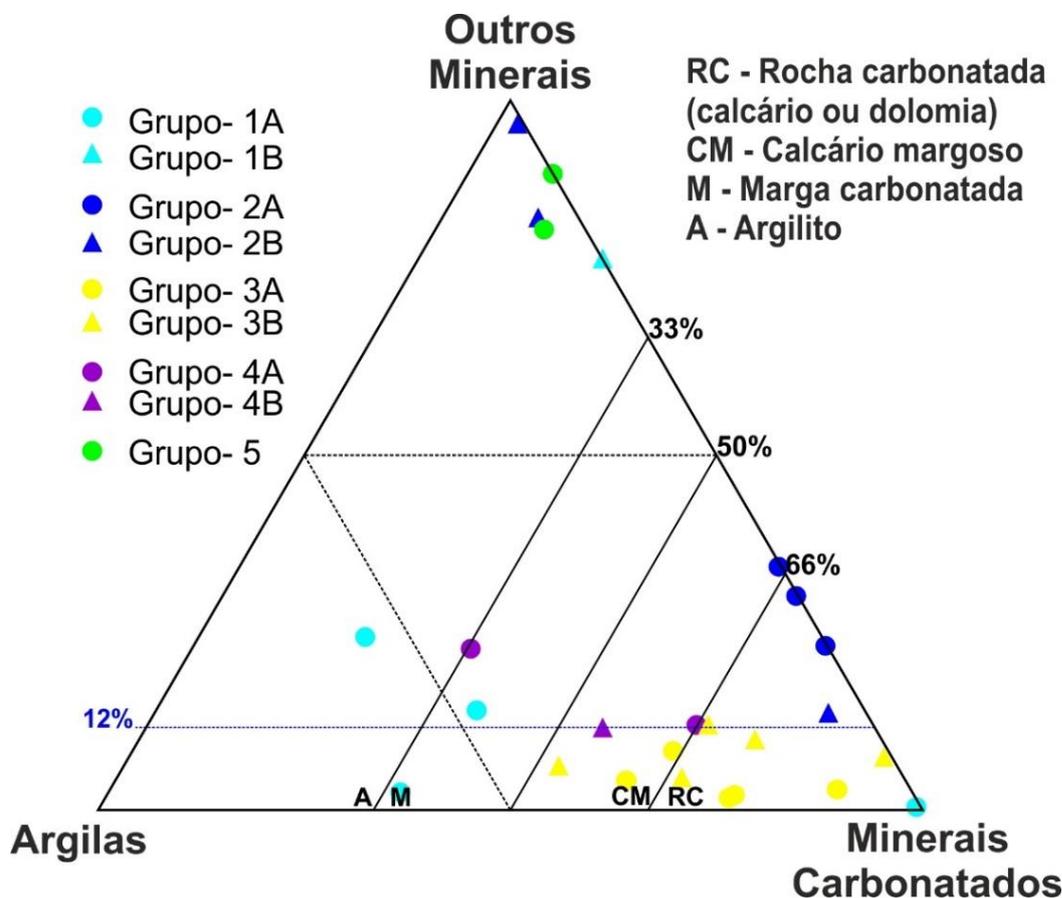


Figura 29 - Projeção da composição mineralógica das rochas em estudo no diagrama adaptado de Gamero-Díaz *et al.* (2012) e Massaro *et al.* (2017).

As amostras do Subgrupo 2A (MONF-2; MONF-3 e BARB-17) e uma amostra do Subgrupo 3B (MON-1) têm como protólitos calcários impuros (Fig. 28 e 29; Giannini, 2000; Gamero-Díaz *et al.*, 2012), e tal como na petrografia classificam-se como mármore impuros (Davis & Ferry, 1993). Por outro lado, as restantes amostras do Subgrupo 2B (BARB-15 e BARB-16) têm como protólito uma rocha não carbonatada (argilito) (Fig. 28 e 29; Giannini, 2000; Gamero-Díaz *et al.*, 2012). Face à heterogeneidade mineralógica e diferente proporção entre fases silicatadas, estas rochas apresentam diferentes classificações (Fig. 30; Davis & Ferry, 1993): BARB-15 é uma rocha calcossilicatada e BARB-16 é uma rocha silico-carbonatada.

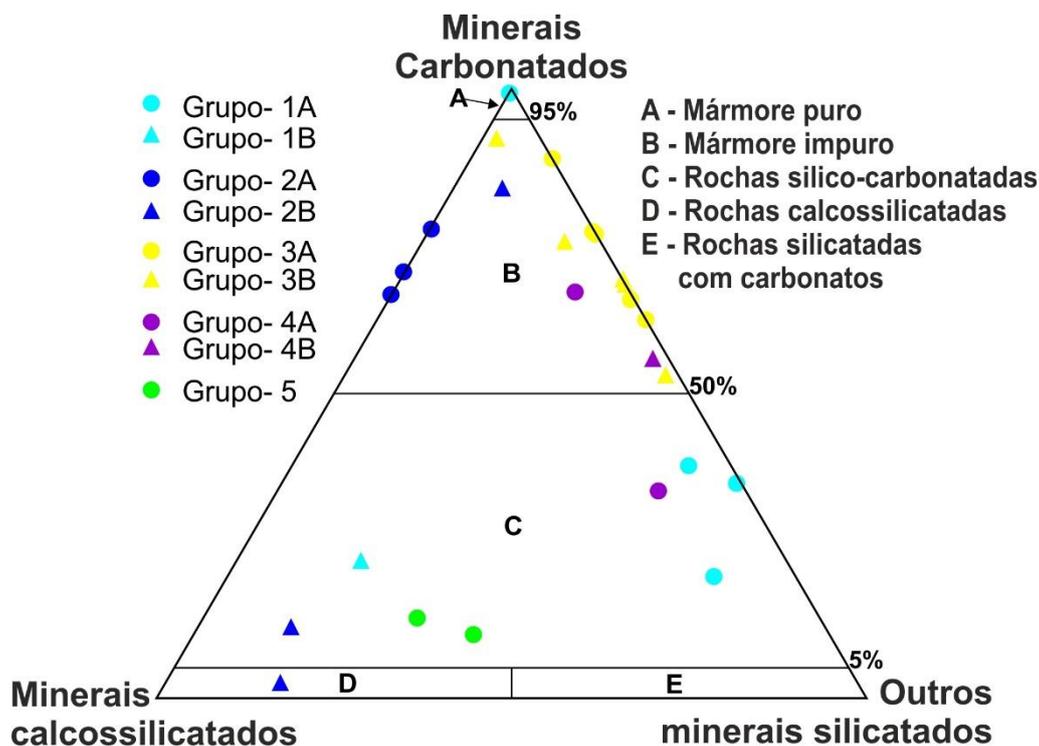


Figura 30 - Projeção da composição mineralógica das rochas em estudo no diagrama adaptado de Davis & Ferry (1993) e Mathieus *et al.* (2015).

As rochas do Grupo 4 apresentam comportamento muito heterogêneo no que refere à classificação. A amostra MONF-7 (Subgrupo 4A) tem como protólito um calcário impuro (Fig. 28 e 29; Giannini, 2000; Gamero-Diaz *et al.*, 2012) sendo classificado mármore impuro (Davis & Ferry, 1993). Por outro lado, a amostra MONF-8 (Subgrupo 4A) tem como protólito uma rocha não carbonatada (marga carbonatada), classificando-se como uma rocha silico-carbonatada (Fig. 30; Davis & Ferry, 1993). A amostra MONF-9 (Subgrupo 4B), projeta-se no campo do calcário margoso dolomítico (Fig. 28 e 29; Giannini, 2000; Gamero-Diaz *et al.*, 2012), classificando-se como na petrografia um mármore impuro.

As duas amostras do Grupo 5 são idênticas e, por isso, projetam-se no mesmo campo em todos os diagramas estudados. São assim rochas não carbonatadas (Fig. 28; Giannini 2000), tendo como possível protólito um argilito com carbonatos (Fig. 29; Gamero-Diaz *et al.*, 2012), o que leva à sua classificação como sendo rochas silico-carbonatadas (Fig. 30; Davis & Ferry, 1993) o que está de acordo com a caracterização petrográfica.

Assim, face à natureza das rochas carbonatadas do Grupo 3B, que se caracterizam por serem mármore calcícticos impuros e por terem características mais próximas das características primárias é fulcral discutir a heterogeneidade face aos restantes grupos amostrais. A grande variedade textural e mineralógica, nomeadamente na mineralogia

não carbonatada, é indicadora de que os restantes grupos sofreram um conjunto de reações, mais ou menos pervasivas em resultado das intrusões magmáticas proximais. Face aos resultados obtidos, os protólitos calcários do Subgrupo 3B seriam compostos, para além de calcite, por argilas que originam, devido ao metamorfismo de baixo grau, filossilicatos (biotite, moscovite/sericite e clorite). A mineralogia dos restantes grupos pode resultar da alteração da componente silicilástica devido ao metamorfismo térmico ou em alternativa resultar da adição de fluidos silicatados por processos metassomáticos associados à intrusão dos processos ígneos.

Com o intuito de depreender a relação proporcional entre as fases minerais carbonatadas e calcossilicatadas (piroxena, vesuvianite, escapolite, plagioclase, granada, wollastonite e epídoto) e entre as fases minerais carbonatadas e silicatadas de origem detrítica, projetaram-se as razões minerais carbonatados/ (minerais carbonatados + minerais calcossilicatados) vs. Minerais carbonatados/ (minerais carbonatados + Qz + Bt + Ms + Chl + Fsp + Tlc + argilas) no gráfico cartesiano da Figura 31.

Os mármore e dolomias do Grupo 3 têm um comportamento uniforme da relação entre carbonatos e fases minerais calcossilicatados (Fig.31), mostrando sempre elevadas razões da proporção entre carbonatos e fases calcossilicatadas (sempre superior a 0,9) o que indica a inexistência de fases calcossilicatadas. Destacam-se, contudo um conjunto de rochas carbonatadas (BARB-15, BARB-16, BARB-18, BAT-1 e BAT-2) com um rácio bastante baixo da relação entre carbonatos e fases minerais calcossilicatados (Fig.31), o que é indicativo do seu elevado teor em fases calcossilicatadas demonstrando baixo grau de pureza destas rochas. Todas estas rochas carbonatadas pertencem a grupos proximais a corpos magmáticos (Grupos 1, 2 e 5) o que mostra a associação entre estas fases minerais com a instalação destes corpos intrusivos. As restantes rochas carbonatadas apresentam valores mais altos dessa razão (superior a 0,6), o que indica a menor proporção das fases calcossilicatadas relativamente às fases carbonatadas. Aliás, com exceção para um mármore puro (BARB-14) e uma rocha margosa (MONF-4) do Grupo 1, todas as restantes amostras dos Grupos 1, 2, 4 e 5 apresentam sempre valores mais elevados desta razão, indicando a presença significativa das fases calcossilicatadas, que é em tudo concordante com a petrografia.

No que respeita à relação entre as fases carbonatadas e fases silicatadas de origem detrítica (quartzo, micas e clorite), o Grupo 3 denota elevada heterogeneidade com diferentes proporções relativas de fases silicatadas detríticas [0,98-0,54] denotando

uma heterogeneidade primária no grupo (Fig.31). Esta heterogeneidade primária é também evidente nas amostras dos restantes grupos. De referir que apenas uma amostra (BARB-14) se projeta junto ao valor máximo [1,1] do diagrama, o que é concordante com o grau de pureza evidenciando previamente.

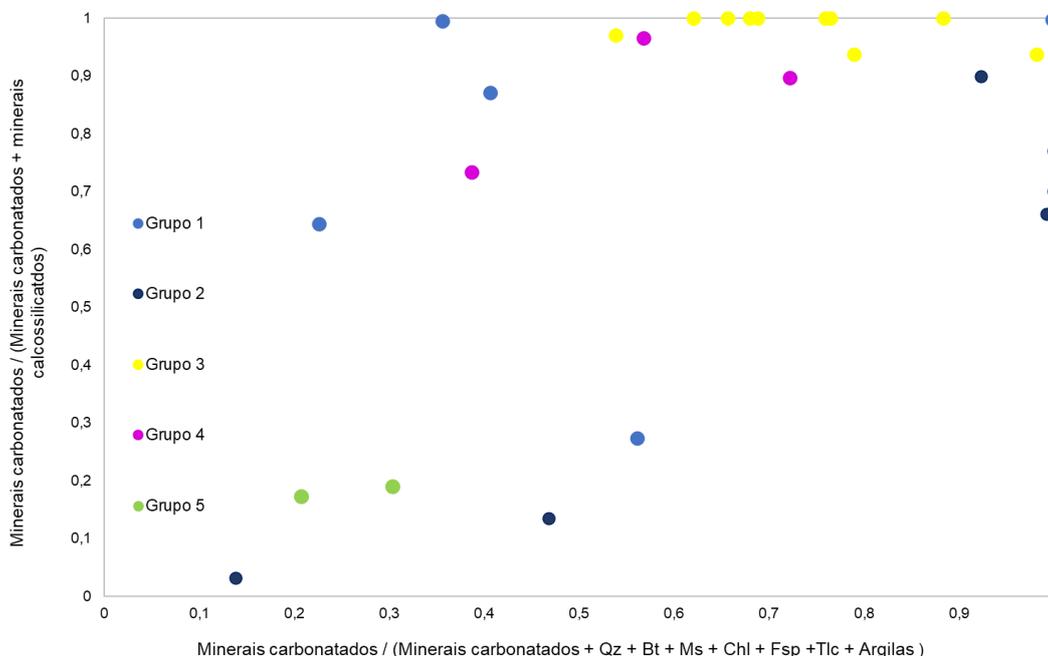


Figura 31 - Projeção das razões minerais carbonatados/ (minerais carbonatados + minerais calcossilicatados) vs. Minerais carbonatados/ (minerais carbonatados + quartzo + biotite + moscovite + clorite + feldspato alcalino + talco + argilas).

#### 5.4. Os processos que afetam a razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ primária

Moreira *et al.* (2019) determinam a assinatura primária das rochas carbonatadas do Câmbrico da ZOM, considerando os valores primários da razão isotópica de estrôncio compatíveis com a assinatura oceânica obtida para o câmbrico (Derry *et al.*, 1994; Brasier *et al.*, 1996; Nicholas 1996; Denison *et al.*, 1998; Prokoph *et al.*, 2008; Maloof *et al.*, 2010; MacArthur *et al.*, 2012). Contudo, os autores mencionados discutem os mecanismos que influenciam a alteração da assinatura primária destas rochas, apontam dois mecanismos que aparentam ter preponderância durante o câmbrico: (1) o processo de dolomitização secundária (também apontado por Moreira *et al.* (2018a) e (2) a interação entre as rochas carbonatadas câmbricas com fluidos hidrotermais de alta temperatura de origem metamórfica ou magmática. Nos capítulos seguintes apresenta-se uma discussão sobre os processos que poderão justificar a alteração isotópica nas amostras em estudo.

#### 5.4.1. Teor relativo em carbonatos

Na obtenção analítica da razão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , apenas os carbonatos na amostra são analisados. A primeira questão é: “terá o grau de pureza dos mármore influencia nos resultados da razão isotópica obtida?”. Para tentar responder à questão, projetou-se o teor relativo em carbonatos (calcite + dolomite) vs. razão isotópica num gráfico cartesiano (Fig.32). A análise da figura parece denotar que os valores da razão isotópica não se alteram significativamente por ação da proporção relativa de carbonatos nas amostras analisadas, o que é denunciado pela ausência de qualquer padrão ou tendência que demostre essa relação. As amostras com elevado teor em carbonatos apresentam valores díspares da razão isotópica, sendo que o mesmo acontece nas amostras com baixo teor em carbonatos. Contudo, é de denotar que se excluirmos as amostras com evidência de dolomitização secundária, as amostras com teores mais elevados de carbonatos (superior a 50%) projetam-se na sua grande maioria no intervalo de valores considerado como primário, enquanto para menores teores de carbonatos a dispersão é mais acentuada. Importa referir que todas estas amostras são caracterizadas pela presença de uma mineralogia calcossilicatada que evidencia a presença de processos de metamorfismo de contacto, potencialmente associado ao metassomatismo. Assim, face aos resultados e à dispersão existente, não existem evidências para considerar que o teor em carbonatos possa alterar de forma significativa os valores da razão isotópica  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ .

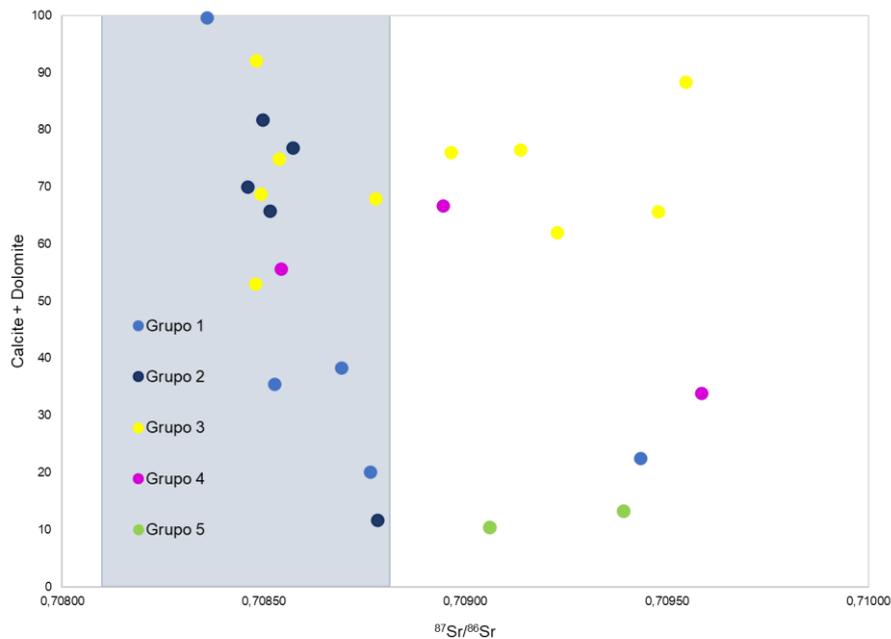


Figura 32 - Projeção das percentagens de calcite + dolomite vs. razão isotópica  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (a sombreado marca-se o campo proposto por Moreira *et al.* (2019) para a assinatura primária dos carbonatos câmbricos da ZOM).

#### 5.4.2. Dolomitização secundária

Tal como apontando por Moreira *et al.* (2018a; 2019), as amostras com evidência de processos de dissolução e reprecipitação de carbonatos parecem sofrer uma alteração das razões isotópicas primárias. Para analisar este comportamento ter-se-á em atenção apenas o comportamento das amostras contidas no Grupo 3, onde não existe evidência textural ou mineralógica da atuação dos processos de metamorfismo de contato.

As dolomias impuras do Subgrupo 3A (Fig.29) apresentam a dolomite como fase carbonatada dominante, não apresentando evidências petrográficas de metamorfismo/metassomatismo das fases carbonatadas. Com efeito, os dados petrográficos mostram a presença de uma intensa dissolução com posterior precipitação de dolomite euédrica, muitas vezes com texturas zonadas, nos poros resultantes do processo de dissolução. Estas dolomites evidenciam assim a presença de uma intensa dolomitização secundária que oblitera o conteúdo carbonatado primário. Em contrapartida, os calcários puros e impuros do Subgrupo 3B (Fig. 29), apresentam como carbonato dominante a calcite, com evidências de recristalização desta fase mineral em resultado do processo de metamorfismo regional, bem como a transformação da componente argilosa em filossilicatos do grupo das micas (biotite e/ou moscovite) e da clorite.

Estes subgrupos de amostras apresentam valores da razão isotópica  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  díspares (Fig. 33):

- Subgrupo 3A: apresenta valores superiores ao limite máximo do intervalo de assinaturas consideradas como primárias por Moreira *et al.* (2019) [0,708964-0,709546].
- Subgrupo 3B: apresenta valores compreendidos no intervalo de assinaturas considerado como primárias por Moreira *et al.* (2019) [0,708480-0,708493].

Com intuito de analisar a relação entre a proporção entre as duas fases carbonatadas dominantes e a assinatura isotópica de estrôncio, projetou-se num gráfico cartesiano um coeficiente entre ambas as fases (Dolomite/ Dolomite + Calcite) vs a razão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  obtida para cada uma das rochas carbonatadas (Fig. 33). O coeficiente de proporção de carbonatos tende para 1 quando o carbonato dominante é a dolomite e para zero quando o carbonato dominante é a calcite.

A análise dos resultados, incluindo os calcários e dolomias de Moreira *et al.* (2019) para o Setor de Alter do Chão - Elvas, demonstram uma clara relação entre o carbonato principal presente e a variação da razão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , (1) as amostras ricas em dolomite

(Subgrupo 3A) apresentam sempre valores da razão isotópica de estrôncio mais elevados (acima do limite máximo do intervalo de assinaturas primárias), enquanto (2) as amostras ricas em calcite (Subgrupo 3B) apresentam sempre baixos coeficientes dolomite/ dolomite + calcite (variável entre 0 e 0,05), e valores mais baixos da razão isotópica de estrôncio, concordantes com a assinatura primária definida por Moreira *et al.* (2019). Aliás estes resultados estão em total concordância com estudos anteriores (Moreira *et al.*, 2018a; 2019) demonstrando que o processo de dolomitização secundária altera significativamente o valor de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , induzindo um incremento da razão isotópica em estudo.

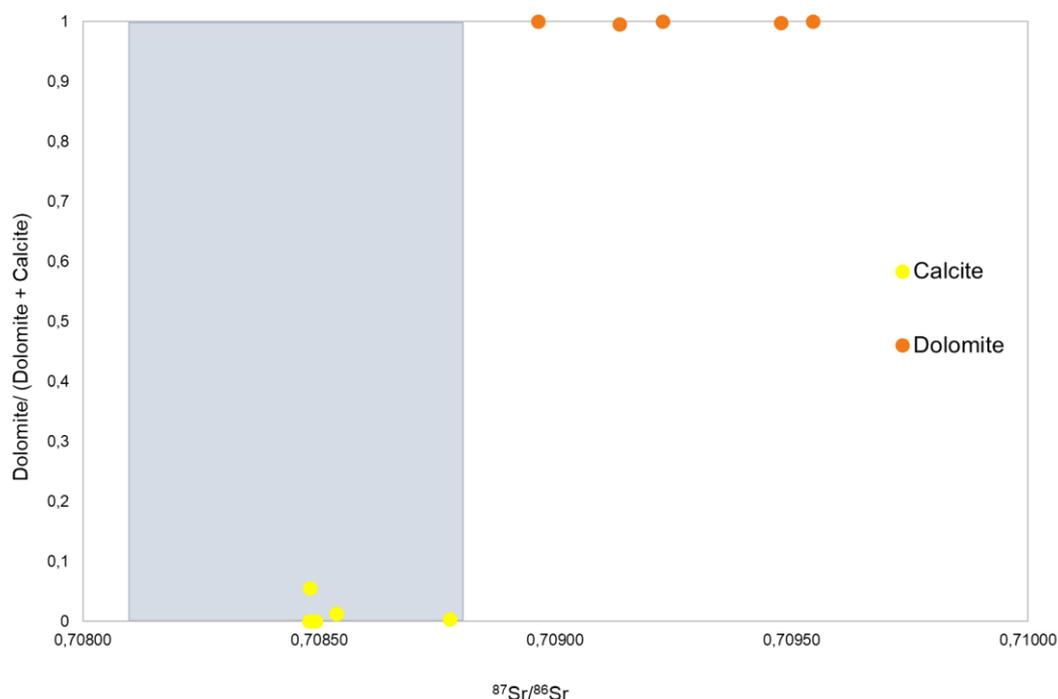


Figura 33 - Projeção da razão dolomite/ (dolomite + calcite) vs. a razão isotópica  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , para as amostras do Grupo 3 (A e B). Neste gráfico estão também incluídas as amostras de Moreira *et al.* (2019), vide cap. 5 (a sombreado marca-se o campo proposto por Moreira *et al.* (2019) para a assinatura primária dos carbonatos câmbricos da ZOM).

#### 5.4.3. Instalação de corpos magmáticos e metassomatismo

Moreira *et al.* (2019) refere também que a interação entre as rochas carbonatadas com fluidos metamórficos/metassomáticos de alta temperatura poderá ser responsável pelo incremento nas razões primárias de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . Com efeito, os autores discutem a possibilidade destes fluidos metamórficos/metassomáticos podem alterar a razão isotópica primária, podendo esta alteração apresentar diferentes comportamentos

dependendo da natureza dos fluidos. No estudo de caso, os autores tentam explicar o incremento das razões isotópicas primárias de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  nos mármores de alta temperatura do Setor Montemor-Ficalho (mármores do Escoural, Viana do Alentejo e Serpa), através da interação entre estas rochas carbonatadas e fluidos metamórficos resultantes das reações de desidratação das rochas siliciclásticas da crosta continental durante os episódios de metamorfismo regional de alta temperatura. Segundo os autores, esta proposta é suportada pelos elevados valores de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  obtidos nas rochas silicilásticas proximais aos mármores (Pereira *et al.*, 2006; Moita *et al.*, 2009).

Os resultados obtidos no presente estudo demonstram que a maioria das amostras coletadas junto ao CPSE (Grupos 1 e 2) não alteram, contudo, de forma significativa a assinatura primária, o que contrasta com o comportamento exibido pelas amostras proximais ao MPAPV e CMUAC (Grupos 4 e 5 respetivamente).

Com intuito de perceber a relação entre o incremento das razões isotópicas e a proporção de fases minerais calcossilicatadas (diópsido, vesuvianite, escapolite, plagioclase, granada, wollastonite e epidoto) elaborou-se a Figura 34, sendo que o índice projetado em ordenadas (minerais carbonatos/ (minerais carbonatos + fases calcossilicatadas) relaciona a percentagem relativa entre fases carbonatadas e as fases minerais calcossilicatadas (o mesmo índice foi utilizado na Figura 32): valores próximos de 1 representam uma maior percentagem relativa de fases carbonatadas, enquanto valores mais próximos de zero, são sintomáticos de uma maior percentagem relativa dessas fases minerais calcossilicatadas. A projeção dos dados revela que a grande maioria das amostras apresenta baixa proporção de fases calcossilicatadas. Todas as amostras do Grupo 3 apresentam índices compreendidos entre 1,0 e 0,9, relevando a baixa proporção em fases minerais calcossilicatadas. Contudo, estas apresentam grande dispersão dos dados da razão isotópica, o que revela o comportamento díspar entre as amostras calcíticas e dolomíticas tal como previamente apresentado.

Com os valores deste índice acima dos 0,9 apenas surgem mais duas amostras do Subgrupo 1A (MONF-4 e BARB-14), mostrando baixo teor em minerais calcossilicatados. As restantes amostras do Subgrupo 1A apresentam teores um pouco mais significativos em fases minerais calcossilicatadas. Embora exista alguma heterogeneidade dentro do subgrupo no que respeita a proporção de minerais calcossilicatados, os valores da razão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , mantêm-se dentro do intervalo, muito embora apresenta tendência crescente com o aumento da proporção relativa de fases calcossilicatadas. Por outro lado, a amostra BARB-18, pertencente ao subgrupo 1B, apresenta elevada percentagem relativa destas fases e incremento significativo da

razão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , acima do intervalo da assinatura primária proposto por Moreira *et al.* (2019). O conjunto das amostras do Grupo 1 parecem revelar um incremento significativo da razão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  com o aumento da proporção em fases calcossilicatadas.

As rochas carbonatadas do Subgrupo 2A (MONF-2, MONF-3 e BARB-17) e a amostra MON-1 do subgrupo 2B apresentam índice compreendido entre 0,6 e 0,9 revelando baixa proporção de fases calcossilicatadas: apenas a amostra BARB-16 (Subgrupo 2B) apresenta um baixo índice (~ 0,1), indicando maior percentagem relativa de fases minerais calcossilicatada. Também aqui, a relação com a razão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  mostra uma tendência de crescimento da razão com o aumento da proporção relativa de fases calcossilicatadas sendo que todas as amostras deste grupo encontram-se dentro do campo das razões isotópicas primárias propostas por Moreira *et al.* (2019).

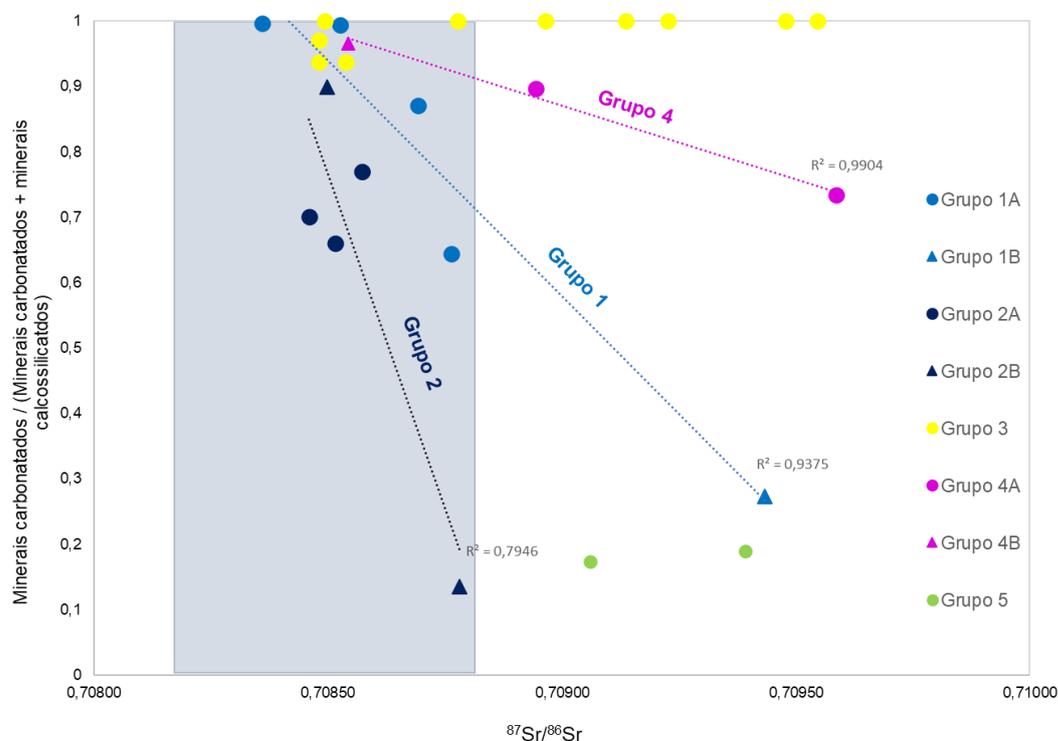


Figura 34 - Projeção da razão Minerais carbonatados/ (Minerais carbonatados + minerais calcossilicatados) vs. Razão isotópica  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (a sombreado marca-se o campo proposto por Moreira *et al.* (2019) para a assinatura primária dos carbonatos câmbricos da ZOM e a tracejado representa-se a linha de tendência dos grupos amostrais).

As rochas carbonatadas do Grupo 4 (A e B) mostram baixos coeficientes de enriquecimento em minerais calcossilicatados, com coeficientes compreendidos entre os 0,7 e 0,9 (Fig. 34). A variação dos valores de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  obtidos e a proximidade com os Maciços Peralcalinos de Alter Pedroso e Vaiamonte, não apresentam, contudo, um comportamento linear (Fig. 35). A rocha carbonatada amostrada nos domínios proximais ao maciço (MONF-8) apresenta valores mais elevados da razão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . Por outro lado,

a amostra MONF-7, que em tudo se assemelha petrograficamente e isotopicamente à amostra MONF-8, encontra-se mais distante que a amostra MONF-9 que apresenta uma associação mineralógica (talco + epidoto) diferente das restantes amostras do Grupo 4. Tal facto pode resultar da distribuição espacial da aureola de metamorfismo deste maciço (Fig. 35A).

Por fim, os coeficientes de enriquecimento em fases minerais calcossilicatadas das rochas silico-carbonatadas do Grupo 5 apresentam-se entre 0,1 e 0,2, revelando baixo teor relativo em carbonatos, elevados teores em minerais calcossilicatados, e consequentemente valores da razão isotópica elevados, significativamente acima da razão primária.

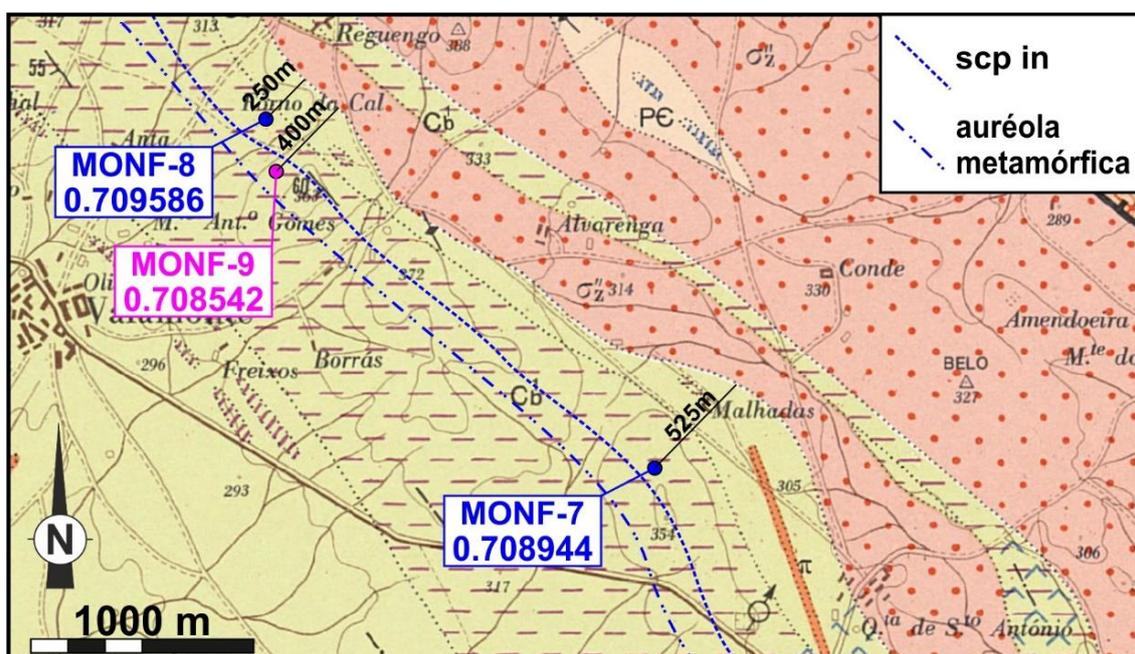


Figura 35 - Relação da proximidade das rochas carbonatadas do Grupo 4 com os corpos magmáticos de natureza percalcalina: mapa simplificado com a projeção da proximidade das amostras do Grupo 4 e aureola de metamorfismo de contacto (adaptado da Carta geológica 32-D Sousel à escala 1/50 000).

### 5.5. Condicionalismos térmicos

O facto da maioria das rochas carbonatadas em estudo não apresentarem elevada pureza mineralógica, tendo sempre uma importante componente silicosa, implica necessariamente que as transformações mineralógicas consideradas tenham como base a presença de protólitos de natureza margosa e/ou calcários impuros, salvo algumas exceções. Estes protólitos apresentam uma elevada variabilidade mineralógica e composicional, resultantes da mistura em diferentes proporções de minerais de argila,

carbonatos (calcite ou dolomite), quartzo e feldspato *s.l.* (Bucher & Grapes, 2011). O metamorfismo e/ou metassomatismo destas rochas implica por si uma elevada e complexa variedade de reações minerais que só ocorrem em determinadas condições de pressão e temperatura, sendo que outras condições físicas-químicas como a fugacidade de CO<sub>2</sub> e de outros voláteis, como a água, têm também extrema importância neste sistema (Bucher & Grapes, 2011). Também as diversas tipologias de maclas em carbonatos dependem em muito das condições térmicas às quais foram sujeitos os protólitos sedimentares (Passchier, C.W., & Trouw, R.A., 2005) embora neste caso, este indicador térmico sirva apenas para gamas de temperatura mais baixas. Neste caso concreto, e tendo em conta o enquadramento geodinâmico das amostras em estudo, os processos metamórficos ocorridos podem ser agrupados em duas tipologias distintas:

- Metamorfismo regional de baixo grau - zona da clorite;
- Metamorfismo de contacto associado à instalação dos corpos magmáticos.

As condições relativas ao metamorfismo regional podem ser controladas através da análise das rochas carbonatadas afastadas dos corpos magmáticos intrusivos (Grupo 3). Este grupo de amostras apresenta mineralogia silicatada simples e típica de condições de baixo grau, caracterizado pela presença de clorite e sericite (Fig. 37), e uma textura associada à alteração derivada do metamorfismo regional, com calcites de rebordos irregulares, granularidade mais fina a média e maclas do tipo I e II.

No que respeita ao metamorfismo de contacto associado à intrusão dos diversos corpos magmáticos presentes no Setor Alter do Chão - Elvas, foi possível através do estudo petrográfico definir um conjunto de associações minerais distintas. Tendo em conta as associações minerais e texturas presentes nos grupos proximais a corpos magmáticos (Grupos 1, 2, 4 e 5), foi possível fazer uma aproximação às condições térmicas das quais resultam as transformações mineralógicas evidenciadas.

Sharma & Sharma (2020) definem quatro fácies metamórficas de contacto, por ordem crescente de temperatura: (1) fácies albite-epídoto (300-400°C); (2) fácies da hornblenda (400-550°C); (3) fácies da piroxena (550-700°C) e (4) fácies da sanidina (>700°C) (Fig. 37). Cada fácies é caracterizada por uma associação mineral típica (Fig. 37), com o aparecimento de minerais índice que permitem clarificar as condições térmicas para cada um dos grupos e subgrupos definidos.

O Grupo 3, como referido anteriormente, caracteriza as condições de metamorfismo regional de baixo grau que afeta o setor de Alter do Chão - Elvas. Tendo em atenção a idade dos corpos magmáticos, é possível desde logo evidenciar que o pico do evento metamórfico regional de idade carbónica (Moreira *et al.*, 2014) será posterior ao evento

de metamorfismo de contacto nos Grupos 4 e 5, que resulta da intrusão de corpos de idade em torno da transição Câmbrio-Ordovício (CMUAP e MPAPV) e anterior ao metamorfismo de contacto resultante da intrusão o CPSE (Grupos 1 e 2) de idade Carbónica tardia.

Face às características petrográficas e à caracterização mineral por DRX, podemos assim considerar a seguinte disposição:

- Os Subgrupos 4B, 4A e 1A apresentam evidências de metamorfismo de contacto na fácies albite-epídoto (Sharma & Sharma, 2020), pois apresentam mineralogia calcossilicatada simples com a presença de talco e epídoto. O Subgrupo 4B representa os domínios distais do metamorfismo de contacto, caracterizando-se pelo aparecimento de epídoto e talco. Por outro lado, os subgrupos 4A e 1A, apresentam uma mineralogia silicatada caracterizada pela presença de epídoto, micas (biotite/moscovite) quartzo e escapolite. A escapolite é típica da fácies da piroxena, muito embora este mineral surja nos subgrupos típicos de condições de mais baixa temperatura aqui descritos. Como tal, este mineral não deve ser considerado um bom indicador de temperatura.
- Os Grupos 2A foi atribuído a transição entre a fácies da hornblenda e a fácies da piroxena, pois apresentam uma associação mineralógica intermédia entre ambas as fácies (diópsido, vesuvianite, epídoto, plagioclase e granada).
- Por fim, os Subgrupos 1B e 2B apresentam uma associação mineralógica em tudo compatível com a fácies da piroxena, qual se caracteriza por apresentar temperaturas acima dos 600°C, sendo também comum neste grupo o aparecimento de maclas raras do tipo III e IV. Para além das maclas estes grupos caracterizam-se por apresentar uma mineralogia com diópsido, escapolite, plagioclase e feldspato alcalino, para além de uma textura bandada típica de rochas que sofreram metassomatismo. Estes grupos, encontram-se localizados na auréola de metamorfismo e no *roof pendant* (Fig.37) onde o calor derivado da intrusão do complexo é maior e o que traduz a presença destes minerais metamórficos associados a maior temperatura.
- O Grupo 5 foi também atribuído à fácies da piroxena pois apresenta uma textura mais fina com veios tardios de epídoto e é caracterizado por uma associação mineralógica característica desta fácies (diópsido, plagioclase, feldspato alcalino, escapolite, epídoto, biotite e clorite).

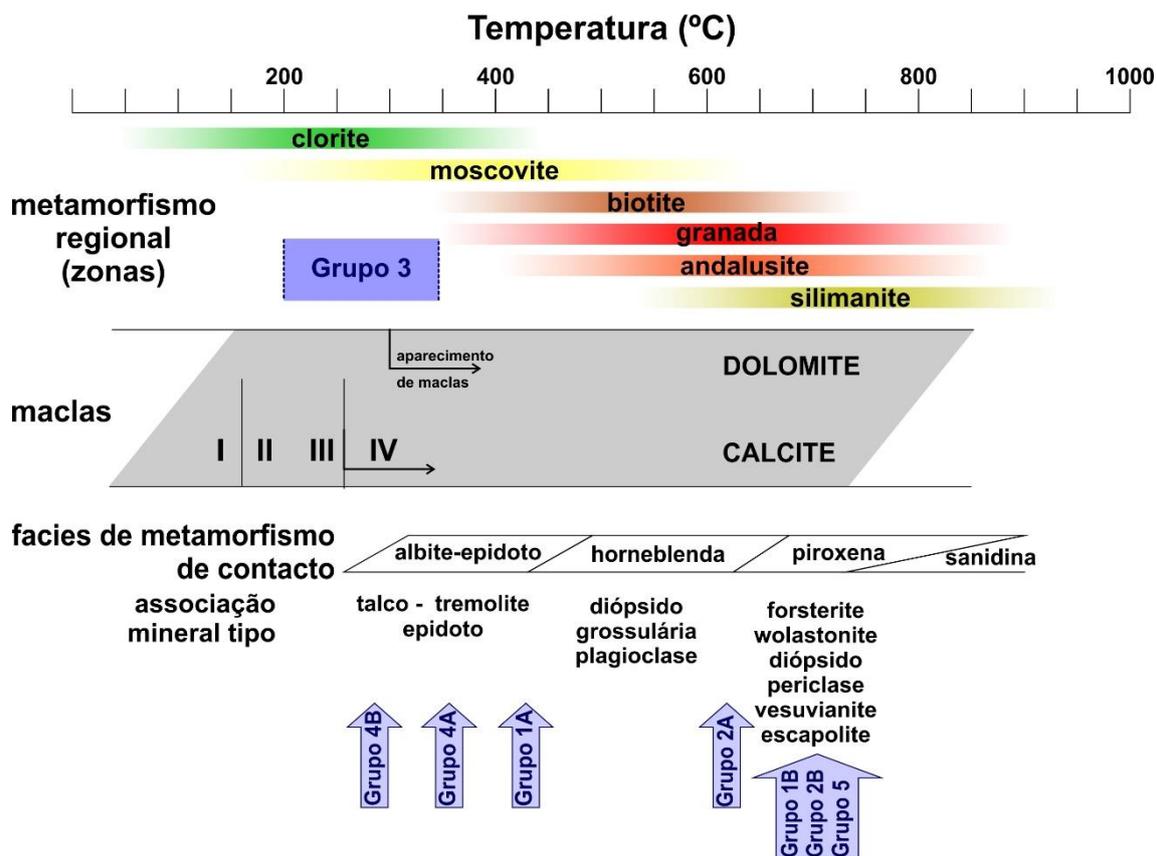


Figura 36 - Esquema da temperatura e das fases minerais observada com a localização de cada grupo (adaptado de Passchier & Trouw, 2005; Bucher & Grapes, 2011; Sharma & Sharma, 2020).

Sintetiza-se assim na Figura 37 os diferentes grupos de rochas carbonatadas definidos, incluindo-se as características petrográficas e isotópicas gerais de cada um dos grupos, bem como a sua localização geográfica face aos principais corpos magmáticos intrusivos do Setor de Alter do Chão - Elvas. Esta proximidade com os corpos magmáticos altera as características mineralógicas e texturais das rochas de cada grupo em resultado do processo de metamorfismo de contato. Contudo os resultados isotópicos nos grupos proximais ao CPSE não revelam alterações significativas em relação aos valores da razão isotópica primária. Por outro lado, os grupos próximos do CMUAP (Grupo 4B), do MPAPV (Grupo 5) apresentam variações dos valores da razão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  em comparação com o intervalo de valores considerados primários. O facto destes grupos apresentarem estas alterações isotópicas pode resultar de uma maior interação entre os fluidos derivados da intrusão (metassomatismo) e por consequente alterar a razão. Tal facto, também se observa nas amostras coletadas junto ao CPSE (Subgrupos 2A e 1B), pois aí a interação com os fluidos magmáticos pode induzir o incremento da razão isotópica, indiciando metassomatismo mesmo que incipiente.

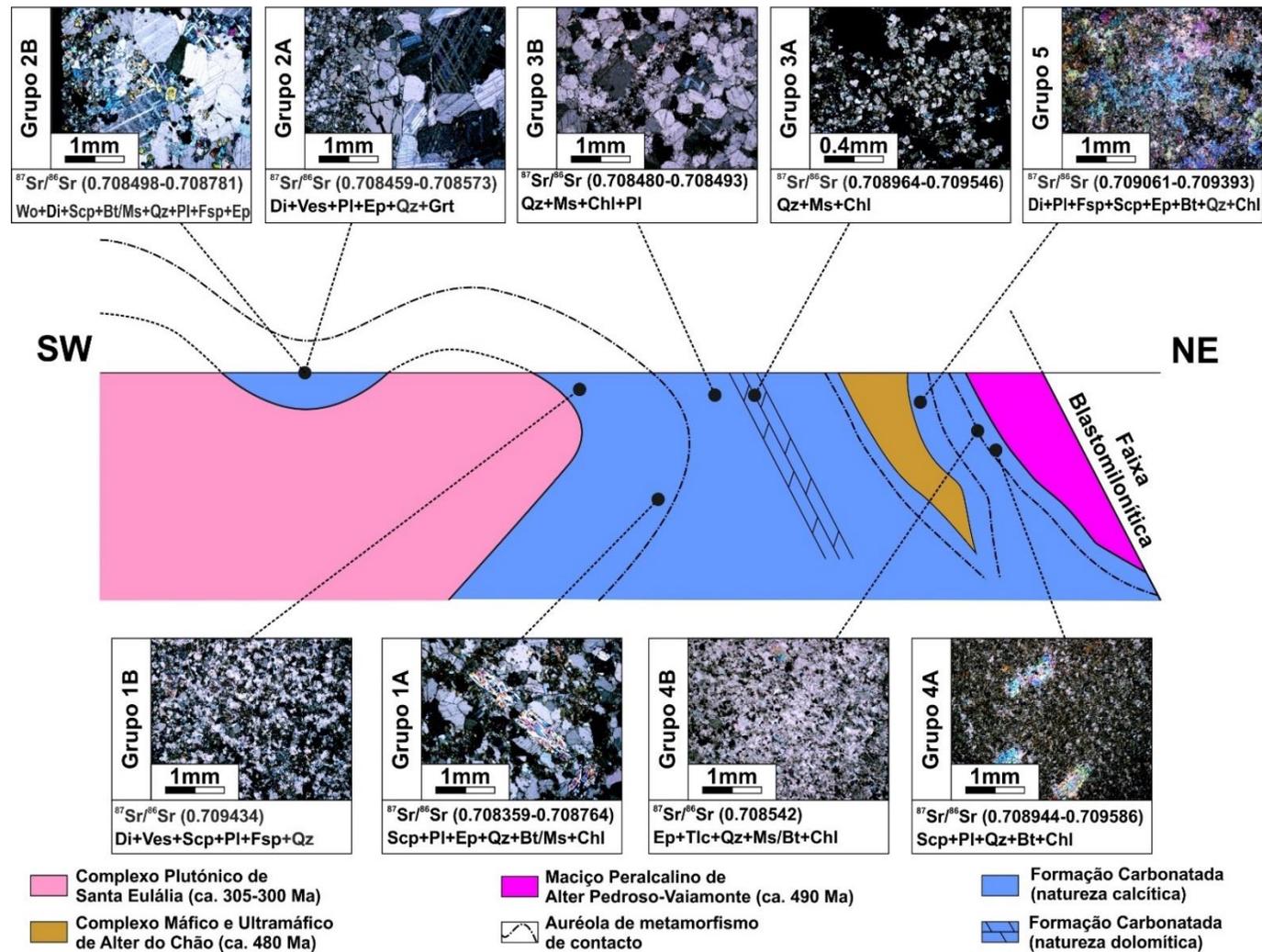


Figura 37 - Corte geral interpretativo com as principais características texturais, mineralógicas e isotópicas dos diversos grupos e subgrupos amostrais, bem como a relação espacial com os corpos intrusivos do Setor Alter do Chão - Elvas.



## 6. Conclusões

O trabalho desenvolvido, teve como objetivo a caracterização petrográfica e isotópica da diversidade de rochas carbonatadas da Formação Carbonatada de Elvas (Setor de Alter do Chão - Elvas), bem como entender as modificações petrográficas e isotópicas decorrentes da instalação de complexos intrusivos nestes litótipos, com enfoque no CPSE, e para nos complexos intrusivos de idade Câmbrica-Ordovícica (MPAPV e CMUAC).

Uma das principais observações que decorre dos estudos petrográficos é que é possível identificar diferentes modificações, tanto a nível mineralógico como textural, resultantes das intrusões. Estas modificações podem ser resultantes quer do efeito do metamorfismo térmico resultante da intrusão, quer da interação entre as rochas carbonatadas com fluidos de origem magmática (metassomatismo). Aquando da comparação das rochas carbonatadas afastadas dos complexos magmáticos (Grupo 3), onde as modificações resultam apenas do metamorfismo regional de baixo grau, com as rochas junto ou no interior dos complexos ígneos (os restantes Grupos amostrais) essas transformações são evidentes, evidenciando-se diferentes associações mineralógicas, que são resultado de diferentes condições térmicas. O aparecimento de uma mineralogia calcossilicatada (diópsido, vesuvianite, escapolite, granada, epidoto e plagioclase) traduz este enriquecimento. A nível textural é possível identificar diferenças nos rebordos da calcite, nas suas maclas de recristalização e nas texturas bandadas por vezes presentes nas rochas proximais aos complexos. Com efeito, as rochas carbonatadas junto aos complexos e no *roof pendants* apresentam geralmente rebordos da calcite bem definidos e tendência a textura poligonal, muitas vezes com maclas do tipo III e IV, o que é indicador de um rearranjo nas calcites derivado das intrusões, contrariamente ao que acontece nas rochas afastadas das intrusões magmáticas onde os rebordos são irregulares e as maclas de recristalização são do tipo I e II. Os resultados obtidos mostram a presença de uma mineralogia silicatada mais diversificada do que a previamente apresentada por Cruz (2013), embora ambos os trabalhos mostrem a existência de modificações dos litótipos da Formação Carbonatada de Elvas, associado à instalação do CPSE, diversificando a mineralogia e modificando a textura das rochas carbonatadas previamente atingidas pelo metamorfismo regional.

Para além das diferenças mineralógicas e texturais resultantes da intrusão dos complexos, a grande questão que levou ao desenvolvimento deste trabalho é se a razão isotópica primária se altera com a intrusão desses complexos. Os resultados da razão isotópica  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  nos diversos grupos amostrais apresentam comportamentos heterogêneos que merecem ser reportados: (1) As amostras com uma intensa

dolomitização secundária apresentam um valor da assinatura de estrôncio claramente modificado relativamente à assinatura primária com um incremento substancial das razões primárias. (2) Os Grupos amostrados juntos ao CPSE (Grupo 1 e 2) apresentam um comportamento heterogêneo, embora evidenciando uma tendência de alteração da razão isotópica nos domínios mais proximais ao maciço plutónico. As amostras coletadas nos domínios mais externos auréola de metamorfismo (Subgrupos 1A e 2A) apresentam razões isotópicas dentro do intervalo de assinatura primária. Contudo, as amostras que revelam ter estado em condições térmicas acentuadas, parecem mostrar uma tendência de subida na razão isotópica  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , muito embora no Subgrupo 2B essa subida seja pouco significativa, não ultrapassando o limite superior do intervalo da assinatura primária. Em ambos os casos este incremento da razão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  está associado a um incremento significativo da proporção relativa de mineralogia calcossilicatada face à proporção de carbonatos. (3) Os grupos amostrais proximais aos complexos plutónicos câmbrico-ordovícios, nomeadamente do MPAPV (Grupo 4) e do CUMAC (Grupo 5), apresentam a mesma tendência crescente, embora mais acentuada. As rochas carbonatadas destes grupos apresentam geralmente valores mais elevados da razão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  e modifica em função da sua proximidade a estes corpos magmáticos.

### 6.1. Trabalhos Futuros

Com o intuito de estudar e melhorar os resultados adquiridos propõem-se um conjunto de trabalhos futuros, que permitirão complementar o estudo agora realizado.

Em primeiro para melhorar a caracterização das rochas, propõe-se uma amostragem mais abrangente, nomeadamente em regiões proximais aos corpos ígneos que afetam as rochas carbonatadas do Setor de Alter do Chão - Elvas. As características aqui evidenciadas para as rochas carbonatadas da Formação de Elvas vão ao encontro dos dados existentes (*e.g.* Moreira *et al.*, 2019), pelo que esta amostragem serviria para recolher um maior número de dados de rochas carbonatadas proximais aos complexos plutónicos, a fim de obter um maior conjunto de dados que permitam de forma mais abrangente os processos que levam às alterações mineralógicas e texturais evidenciadas.

Outro trabalho importante seria a realização de geoquímica de rocha total para caracterizar em pormenor das alterações químicas das rochas resultantes carbonatadas em resultado das intrusões, do seu metamorfismo térmico e da interação com os fluidos magmáticos. Também a geoquímica mineral poderá ter importância para complementar

este estudo, uma vez que alguns dos minerais calcossilicatados presentes poderão ser portadores de elementos químicos com valor económico.

Apesar de não ser um dos objetivos desta dissertação, pelo facto de as rochas estudadas serem maioritariamente mármore impuros, com texturas e cores exóticas, seria importante no futuro abordar o valor económico destas rochas. A existência de rochas carbonatadas com tonalidades esverdeadas e padrões texturais complexos pode ser considerado um fator de enriquecimento económico pelas suas características estéticas. Esta abordagem poderá ser importante para a valorização deste recurso pétreo no futuro.



## Referências bibliográficas

- Araújo, A. A., Almeida, J. P., Borrego, J., Pedro, J., & Oliveira, T. (2013). As regiões central e sul da Zona de Ossa-Morena. In: R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha, & J. C. Kullberg (Eds), *Geologia de Portugal*, Volume I, Geologia Pré-mesozóica de Portugal, Escolar Editora, 509-549.
- Araújo, A., Lopes, L., Pereira, M.F., Gonçalves, F., Silva, J.B., & Ribeiro, A (1994). Novos elementos sobre o carreamento de Juromenha (Elvas). *Anais da Universidade de Évora*, 4, 105-110.
- Brasier, M. D., Shields, G., Kuleshov, V. N., & Zhegallo, E. A. (1996). Integrated chemo- and biostratigraphic calibration of early animal evolution: Neoproterozoic-early Cambrian of southwest Mongolia. *Geological Magazine*, 133(4), 445-485. doi: 10.1017/S0016756800007603
- Bucher, K., & Grapes, R. (2011). *Petrogenesis of metamorphic rocks*. Springer Science & Business Media. doi: 10.1007/978-3-540-74169-5
- Cartas Geológicas de Portugal 1:50000 e respetiva Notícia Explicativa. Laboratório Nacional de Energia e Geologia (antigos Serviços Geológicos de Portugal):
- Gonçalves, F. & Peinador Fernandez, A. (1973), Folha 32B – Portalegre;
  - Gonçalves, F., Zbyszewski, G. & Pinto Coelho, A. V. (1975), Folha 32D – Sousel;
  - Gonçalves, F. & Torre de Assunção, C. (1970), Folha 37A – Elvas;
  - Gonçalves, F., Torre de Assunção, C. & Pinto Coelho, A.V. (1972), Folha 33C - Campo Maior;
- Cruz, C. (2013). Efeitos metamórficos e fluidos do Complexo plutónico de Santa Eulália. *Tese de Mestrado*, Universidade do Porto, 92p.
- da Luz, C.O., Santos, M.G., & da Silva J., G.C. (2019). Significance of clay minerals in petrophysical properties from carbonates of the Continguiuba formation. *Sixteenth International Congress of the Brazilian Geophysical Society*, 1-6.
- Davis, S. R., & Ferry, J. M. (1993). Fluid infiltration during contact metamorphism of interbedded marble and calc-silicate hornfels, Twin Lakes area, central Sierra Nevada, California. *Journal of Metamorphic Geology*, 11(1), 71-88.
- Denison, R.E., Koepnick, R.B., Burk, W.H., & Hetherington, E.A. (1998). Construction of the Cambrian and Ordovician seawater  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  curve. *Chemical Geology*, 152, 325-340. doi: 10.1016/S0009-2541(98)00119-3

- Derry, L. A., Brasier, M. D., Corfield, R. E. A., Rozanov, A. Y., & Zhuravlev, A. Y. (1994). Sr and C isotopes in Lower Cambrian carbonates from the Siberian craton: a paleoenvironmental record during the 'Cambrian explosion'. *Earth and Planetary Science Letters*, 128(3-4), 671-681. doi:10.1016/0012-821X(94)90178-3
- Fernández, R. D., Pereira, M. F., & Foster, D. A. (2014). Peralkaline and alkaline magmatism of the Ossa-Morena zone (SW Iberia): Age, source, and implications for the Paleozoic evolution of Gondwanan lithosphere. *Lithosphere*, 7(1), 73-90. doi: 10.1130/L379.1
- Gamero-Diaz, H., Miller, C., & Lewis, R. (2012). sCore: A Classification Scheme for Organic Mudstones Based on Bulk Mineralogy. *Search and Discovery article*, 40951.
- Giannini, P. C. F. (2003). Depósitos e rochas sedimentares. In: W. Texeira, M.C.M Toledo, T.R Fairchild & F. Taioli (Eds). *Decifrando a terra*. São Paulo, Oficina de Textos, 285-304.
- Gozalo, R., Liñán, E., Palacios, T., Gámez Vintaned, J.A. & Mayoral, A. (2003). The Cambrian of the Iberian Peninsula: an overview. *Geologica Acta* 1, 103-112.
- Liñán E., Perejón A., Gozalo R., Moreno-Eiris E., & Oliveira T.J. (2004). The Cambrian system in Iberia. *Cuadernos del Museo Geominero* N° 3, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 1-63.
- Liñán, E. (1984). Introducción al problema de la Paleogeografía del Cámbrico de Ossa Morena. *Cuadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 8, 283-314.
- Liñán, E. (1996). Los pisos estratigráficos y la paleogeografía del Cámbrico en España: una vision retrospectiva. *Geogaceta*, 20(7), 1661-1664.
- Lopes, J. C., Munhá, J., & Pin, C. (2006). Eventos Magmáticos na Zona de Ossa-Morena: os complexos plutónicos de Alter do Chão e de Elvas (Alentejo, Portugal central) Magmatic Events in Ossa-Morena Zone: Alter do Chão and Elvas plutonic complexes (Alentejo, central Portugal). *VII Congresso Nacional de Geologia*, 35-38.
- Carrilho Lopes, J.C. (2020). Magmatismo Intrusivo no Ciclo Varisco (Alentejo Ne, Portugal). Universidade de Évora, 566p. ISBN:978-972-778-130.
- Maloof A.C., Porter S.M., Moore J.L., Dudás F.O., Bowring S.A., Higgins J.A., Fike D.A., & Eddy M.P. (2010). The earliest Cambrian record of animals and ocean geochemical change. *Geological Society of America Bulletin*, 122(11-12), 1731-1774. doi: 10.1130/B30346.1

- Massaro, A. S., Espinoza, D. N., Frydman, M., Barredo, S., & Cuervo, S. (2017). Analyzing a suitable elastic geomechanical model for Vaca Muerta Formation. *Journal of South American Earth Sciences*, 79, 472-488. doi: 10.1016/j.jsames.2017.09.011
- Mata, J., & Munhá, J. (1990). Magmatogénese de metavulcanitos Câmbrios do Nordeste Alentejano: Os estádios iniciais de rifting continental. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, 76, 61-89.
- Mathieu, L., Trépanier, S., & Daigneault, R. (2015). CONSONORM\_HG: a new method of norm calculation for mid-to high-grade metamorphic rocks. *Journal of Metamorphic Geology*, 34(1), 1-15. doi:10.1111/jmg.12168
- McArthur, J. M., Howarth, R. J., & Shields, G. A. (2012). Strontium isotope stratigraphy. (Chapter 7). In: F. Gradstein, J. Ogg, M. Schmotz & G. Ogg (Eds). *A geologic time scale 2012*, Elsevier, Amsterdam, 127-144. doi: 10.1016/B978-0-444-59425-9.00007-X
- Moita, P., Santos, J.F., & Pereira, M.F. (2009). Layered granitoids: interaction between continental crust recycling processes and mantle-derived magmatism. Examples from the Évora Massif (Ossa-Morena zone, southwest Ibéria, Portugal). *Lithos*, 111(3-4), 125-141. doi: 10.1016/j.lithos.2009.02.009
- Moreira, N., Dias, R., Araújo, A., Pedro, J. (2014a). Interferência de fases de deformação Varisca na estrutura de Torre de Cabedal; sector de Alter-do-Chão–Elvas na Zona de Ossa-Morena. *Comunicações Geológicas*, 101, 279-282.
- Moreira, N., Araújo, A., Pedro, J., & Dias, R. (2014b). Evolução geodinâmica da Zona de Ossa-Morena no contexto do SW Ibérico durante o Ciclo Varisco. *Comunicações Geológicas*, 101, 275-278.
- Moreira, N., Pedro, J., Santos, J.F., Inês, N., Araújo, A., Dias, R., Ribeiro, S., Romão, J. & Mirão, J. (2018a). Effects of secondary late dolomitization on  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  isotopic ratio; examples from Ossa-Morena Zone carbonates. Livro de actas do XIV Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, XIX Semana de Geoquímica, 223-226.
- Moreira, N., Machado, G., Dias, R., Pedro, J. & Romão, J. (2018b). Os episódios carbonatados do Câmbrio Inferior e Devónico Médio da Zona de Ossa-Morena; significado geodinâmico. Livro de actas do VIII Congresso Jovens Investigadores em Geociências, LEG 2018, Estremoz, 24-25.

- Nicholas, C.J. (1996). The Sr isotopic evolution of the oceans during the 'Cambrian explosion'. *Journal of the Geological Society*, (153), 243-254. doi: 10.1144/gsjgs.153.2.0243
- Oliveira, J. T., Oliveira, V., & Piçarra, J. M. (1991). Traços gerais da evolução tectono-estratigráfica da Zona de Ossa-Morena, em Portugal. *Cuadernos Lab. Xeolóxico de Laxe*, 16, 221-250.
- Passchier, C.W., & Trouw, R.A. (2005). *Microtectonics*. Springer Science & Business Media, 366.
- Pereira, M.F. & Silva, J.B., (2006). Nordeste Alentejano. In: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P. & Kullberg, J. C, (Eds). *Geologia de Portugal no Contexto da Ibéria*. Universidade de Évora, Évora, 145-150.
- Pereira, M. P., Gama, C., & Rodríguez, C. (2017). Coeval interaction between magmas of contrasting composition (Late Carboniferous-Early Permian Santa Eulália-Monforte massif, Ossa-Morena Zone): field relationships and geochronological constraints. *Geologica Acta: an international earth science journal*, 15(4), 409-428. doi: 10.1344/GeologicaActa2017.15.4.10
- Prokoph, A., Shields, G. A., & Veizer, J. (2008). Compilation and time-series analysis of a marine carbonate  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$  and  $\delta^{34}\text{S}$  database through Earth history. *Earth-Science Reviews*, 87(3-4), 113-133.
- Roseiro, J., Nogueira, P., & Moreira, N. (2019). Review of the Santa Eulália Plutonic Complex chemistry: Implications for petrogenesis and ore-forming systems. *Jornadas do ICT (livro de resumos)*, Évora, 30.
- Sánchez-García, T., Bellido, F., Pereira, M.F., Chichorro, M., Quesada, C., Pin, C., & Silva, J.B. (2010). Rift related volcanism predating the birth of the Rheic Ocean (Ossa-Morena Zone, SW Iberia). *Gondwana Research*, 17(2/4), 392-407. doi: 10.1016/j.gr.2009.10.005
- Sant'Ovaia, H., Lopes, J.C, Nogueira, P., Gomes, C., Cruz, C., & Machado, J. (2012). Petrophysical and geochemical characterization of the late-variscan Santa Eulália Plutonic Complex (Ossa-Morena Zone, Portugal). *Geo-Temas*, VII Congresso Geológico de España, (13), 1224-1227.

- Sant`Ovaia, H., Nogueira, P., Lopes, J. C., Gomes, C., Ribeiro, M. D. A., Martins, H. C. B., Dória, A., Cruz., C., Lopes, L., Sardinha, R., Rocha, A. & Noronha, F. (2015). Building up of a nested granite intrusion: magnetic fabric, gravity modelling and fluid inclusion planes studies in Santa Eulália Plutonic Complex (Ossa Morena Zone, Portugal). *Geological Magazine*, 152(4), 648-667.
- Sharma, R.S., & Sharma, A. (2020). Metamorphism of Dolomites and Limestones. *Encyclopedia of Geology*, 2<sup>nd</sup> Edition, 479-491. doi: 10.1016/B978-0-08-102908-4.00133-8
- Whitney, D. L., & Evans, B. W. (2010). Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American mineralogist*, 95(1), 185-187.



<b>Anexo</b>	<b>Nome</b>
<b>I</b>	Caraterização macroscópica: Tabela síntese
<b>II</b>	Mapa da amostragem realizada no Setor de Alter do Chão-Elvas (adaptado da carta geológica de Portugal à escala 1:50 000, folhas de Portalegre (32-B), Sousel (32-D), Campo Maior (33-C) e Elvas (37-A))
<b>III</b>	ZOOM-3D Laboratório de Petrologia e Geoquímica procedimentos: Logitech – Vidros Logitech – Desgaste de taliscas Logitech – Lâminas Delgadas
<b>IV</b>	Fichas petrográficas
<b>V</b>	Resultados da análise por difração de raios-X
<b>VI</b>	Publicações no âmbito da dissertação

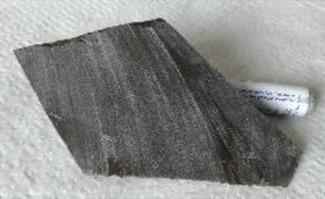
## **Anexo I**

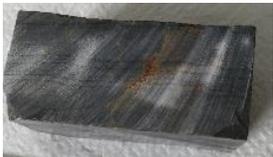
### **Caracterização macroscópica**

Tabela I.1 – Principais características macroscópicas

Referência	Cor	Granularidade	Minerais	Reação Hcl - Não reage + Reação ligeira ++ Reação intensa	Texturas	Observação	Foto Rocha	Cor do Pó (Moinho de Água)
MON-1	Cinzaento com tonalidades verdes e níveis mais escuros (pretos)	Grosseira nos níveis claros e fina nos níveis escuros	Calcite	++	Granular bandada			Branco, acinzentado
MONF-1	Cinza escuro com níveis claros (brancos)	Fina a média	Calcite	++	Granular	Minerais com aspeto ferruginoso		Cinza claro
MONF-2	Cinza esverdeado com veios acastanhados	Granularidade média a fina	Calcite	++	Granular			Branco esverdeado

<p><b>MONF- 3</b></p>	<p>Cinza esverdeado</p>	<p>Granularidade média a grosseira</p>	<p>Calcite Vesuvianite</p>	<p>++ Não reage nos níveis com vesuvianite</p>	<p>Granular bandada</p>	<p>Veios com vesuvianite</p>		<p>Branco</p>
<p><b>MONF- 4</b></p>	<p>Banda rosa e banda cinza escuro</p>	<p>Fino a médio</p>	<p>Calcite</p>	<p>++</p>	<p>Granular bandada</p>	<p>Zonas Oxidadas (?)</p>		<p>Branco acinzentado</p>
<p><b>MONF- 5</b></p>	<p>Cinza escuro com nível mais claro (rosa)</p>	<p>Grão fino/ pontualmente grão grosseiro</p>	<p>Calcite</p>	<p>++</p>	<p>Granular uniforme</p>			<p>Cinza escuro (azulado)</p>
<p><b>MONF- 6</b></p>	<p>Rosa claro</p>	<p>Grão médio a fino</p>	<p>Calcite</p>	<p>++</p>	<p>Granular uniforme</p>	<p>Níveis de minerais mais escuros</p>		<p>Branco com tom rosado claro</p>

<b>MONF-7</b>	Níveis rosas e níveis cinzento	Grão médio a fino	Calcite e dolomite primária	++ Reage pouco nas zonas dolomitizadas	Bandada	Lamina com dobra- Nível mais impuro não reage ao ácido		Branco cinzento
<b>MONF-8</b>	Cinza escuro	Grão fino	Dolomite e calcite	+	Granular homogénea			Cinzento escuro
<b>MONF-9</b>	Cinza claro e branco com veios esverdeados	Gão fino	Calcite	++	Granular Bandada	Bandado pouco uniforme de níveis escuros e claros; Zonas mais claras com maior evidência		Branco
<b>BARB-10</b>	Cinza a rosa pálido	Muito fina	Dolomite	+	Maciça	Zonas vermelhas (Ferruginoso ou argiloso em zonas com buracos?)		Amarelo torrado

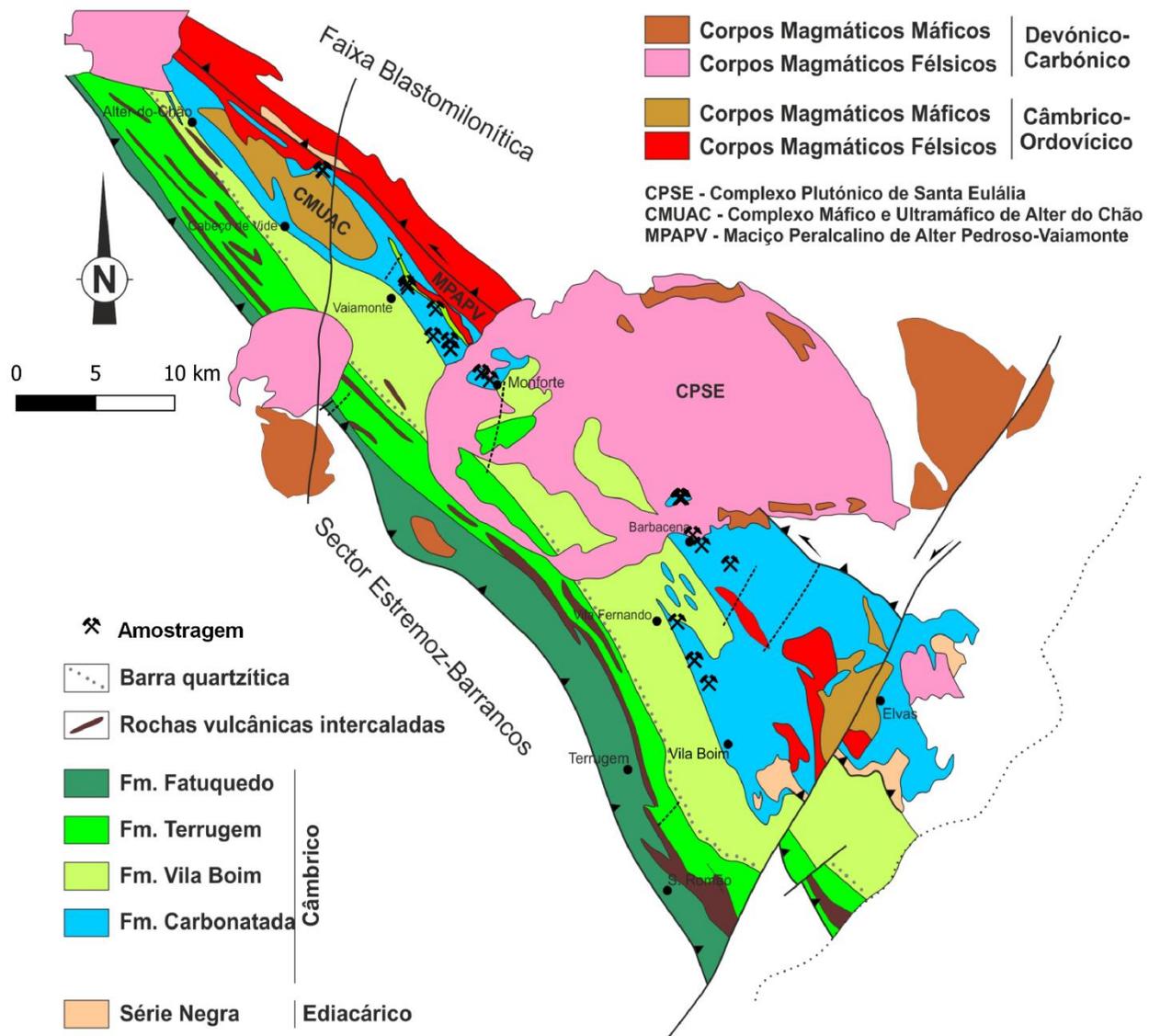
<b>BARB-11</b>	Cinza azulado	Fina	Dolomite	+	Maciça	Veios tardios de dolomite		Cinzento
<b>BARB-12</b>	Rosa claro	Muito fino	Dolomite	+	Maciço	Veios escuros		Amarelo Claro (torrado)
<b>BARB-13</b>	Cinza escuro com níveis mais brancos	Fino	Calcite	++	Maciço	Veios com dobra talvez matéria orgânica porosa com tom vermelho		Cinzento Escuro
<b>BARB-14</b>	Vermelho acastanhado com tons claros (brancos)	Grão grosseiro	Calcite	++	Granular	Pouco uniforme Zonas mais brancas e mais amarelas		Amarelo escuro tipo castanho

<p><b>BARB-15</b></p>	<p>Esverdeado azulado com bandas claras (branco e escuro) – verde acinzentado</p>	<p>Médio a fino</p>	<p>Minerais calcossilicatados de cor verde</p>	<p>- Não reage (muito pouco Zonas claras)</p>	<p>Bandado evidente</p>	<p>Zonas com brilho metálico</p>		<p>Verde acinzentado</p>
<p><b>BARB-16</b></p>	<p>Verde escuro</p>	<p>Média a fina</p>	<p>Calcite</p>	<p>Zona mais escura com grão fino pouco alterada + Zona castanha não reage</p>	<p>Bandada com diferente granularidade</p>	<p>Zona escura homogénea com bolsadas de cor mais clara e zona mais alterada</p>		<p>Cinzeno/ Esverdeado</p>
<p><b>BARB-17</b></p>	<p>Verde claro (Esbranquiçada)</p>	<p>Grosseiro</p>	<p>Calcite</p>	<p>++</p>	<p>Granular grosseira</p>	<p>Muito alterada (Devido a ser grosseira) Níveis mais alaranjados – Homogénea no verde</p>		<p>Verde Claro (Mais para o branco)</p>
<p><b>BARB-18</b></p>	<p>Verde escuro cinza escuro</p>	<p>Fino a médio</p>	<p>Calcite</p>	<p>+</p>	<p>Homogéneo com zonas mais verdes claros</p>	<p>Veio branco mais zona com verdes claros</p>		<p>Verde escuro</p>

<b>BARB-19</b>	Branco rosado	Médio a fino	Calcite	++	Granular uniforme	Veios escuros		Branco (Bege claro)
<b>BAT-1</b>	Cinza escuro	Fino (zonas mais porosas com grão maior)	Calcite	+ +	Granular Uniforme	Rochas preenchidas com veios mais brancos (cruzados 1 ou outro mais escuro)		Verde
<b>BAT-2</b>	Cinza escuro com zonas mais esverdeadas	Fino	Calcite	Zona verde escuro reage bem ao ácido, enquanto na zona mais clara e veios mais claros reage pouco ou nada ao ácido	Granular	Níveis esbranquiçados e pintas pretas		Verde escuro

## **Anexo II**

**Mapa da amostragem realizada no Setor de Alter do Chão-Elvas (adaptado da carta geológica de Portugal à escala 1:50 000, folhas de Portalegre (32-B), Sousel (32-D), Campo Maior (33-C) e Elvas (37-A))**



## **Anexo III**

### **ZOOM-3D Laboratório de Petrologia e Geoquímica**

#### **Procedimentos:**

**Logitech – Vidros**

**Logitech – Desgaste de taliscas**

**Logitech – Lâminas Delgadas**

## LOGITECH – Vidros

### COMPONENTES

- 6 Vidros
- Água
- Ar comprimido

### FUNCIONAMENTO

1. **Lavar o Gigler** com água e limpar com ar comprimido.
2. **Calibrar** o Gigler para 1,13 mm (1,10 dos vidros + 0.03 de espessura do pó #600).
3. Com o vácuo ligado **colocar 6 vidros** e com um pincel **espalhar pó** sobre a superfície.
4. **Colocar o Gigler** sobre o prato na vertical e muito lentamente
5. **60 RPM durante 65 minutos.**
6. **Retirar o Gigler, desligar o vácuo.**
7. **Medir** com a Craveira Digital
8. Caso tenhamos espessuras finais superiores a 1.10 mm colocar mais 10 min a 60 RPM.

### PROBLEMAS E SOLUÇÕES

- Proceder sempre ao desgaste com os 6 vidros e com espessuras semelhantes.
- Deve-se medir os vidros obtidos com a craveira digital. Caso se verifique após 2 repetições erros verificar a calibração do Gigler.
- Caso os vidros estejam em cunha verificar com o peso a horizontalidade do prato bem como a do Gigler.

## LOGITECH- DESGASTE TALISCAS

### COMPONENTES

- Taliscas (devidamente cortadas ao tamanho do vidro)
- Anel de suporte
- Peso 1 (mais baixo com parafuso)
- Peso 2 (mais alto)
- Rodela de espuma

### FUNIONAMENTO (assumindo que a calibração diária do equipamento foi realizada)

1. **Colocar o anel** no braço da Logitech, centrado, e colocar **6 taliscas** com face voltada para o prato (na outra face deve estar marcada a referência da amostra).
2. Colocar a **rodela de espuma** por cima das taliscas e de seguida o **Peso 1**;
3. Ligar equipamento no *on/off* e marcar **30 mins** no temporizador, de seguida seleccionar a opção *set*.
4. **Ligar o abrasive autofeed** clicando no *on* e aumentar as rotações do disco para **30RPM**. Com o equipamento nas 30 RPM **colocar o peso 2** e subir de seguida as rotações para **60RPM**;
5. Aguardar até o temporizador dar **sinal sonoro**.
6. **Remover** peso 1, peso 2, e rodela de espuma;
7. Remover taliscas e **ver estado do desgaste**, se estiver um desgaste plano e liso as taliscas estão prontas para colagem. Caso contrario repetir o processo até obter o resultado pretendido;
8. Lavar todo o equipamento.

### PROBLEMAS E SOLUÇÕES

- Por vezes as taliscas não estão todas da mesma espessura causando **instabilidade no peso 2**, para evitar que isto aconteça as taliscas devem ser cortadas todas  $\pm$  à mesma espessura;
- O braço da Logitech que segura o anel deve ser apertado antes de cada utilização para evitar deslocações durante a utilização;
- As taliscas por vezes não têm todas a mesma largura pelo que ficam mais “folgadas” no anel causando movimentações durante a utilização, estas movimentações podem causar desgastes heterogéneos. Tentar escolher conjuntos de 6 taliscas  $\pm$  do mesmo tamanho;

Cofinanciado por:

## LOGITECH – Lâminas Delgadas

### COMPONENTES

- 6 lâminas delgadas
- Água
- Ar comprimido

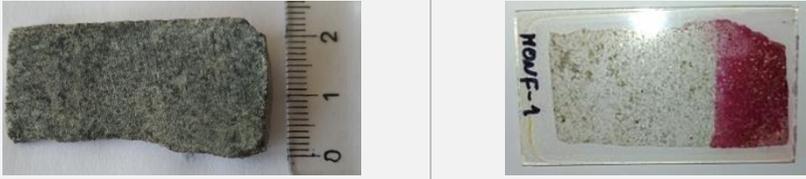
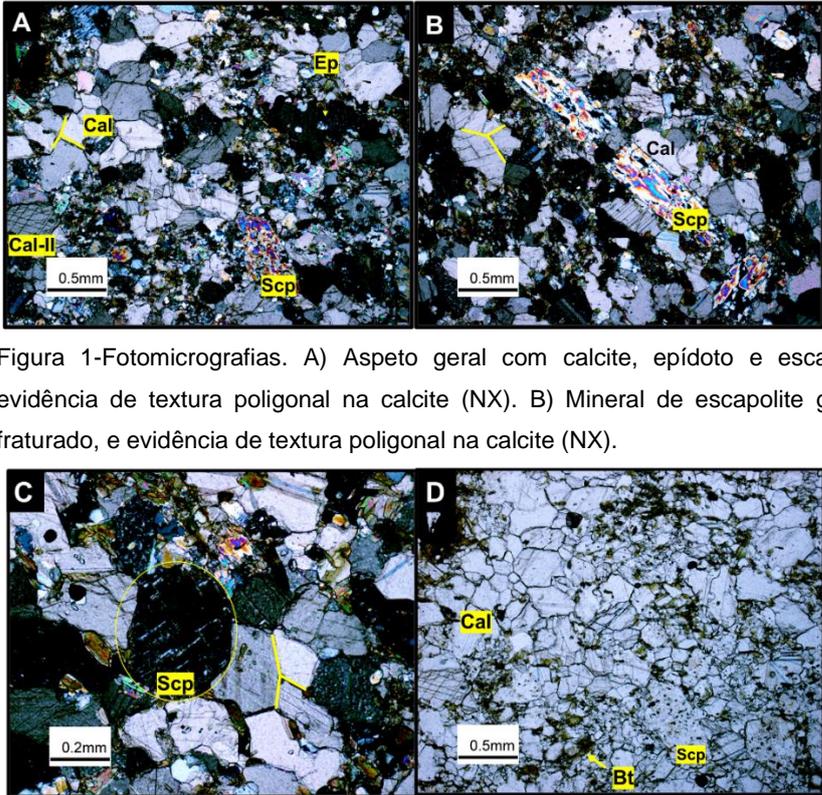
### FUNCIONAMENTO

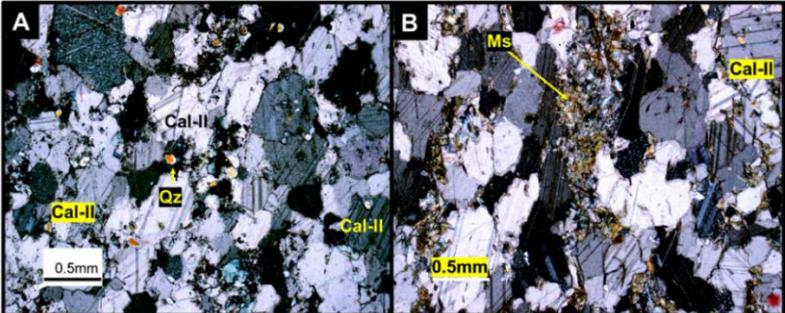
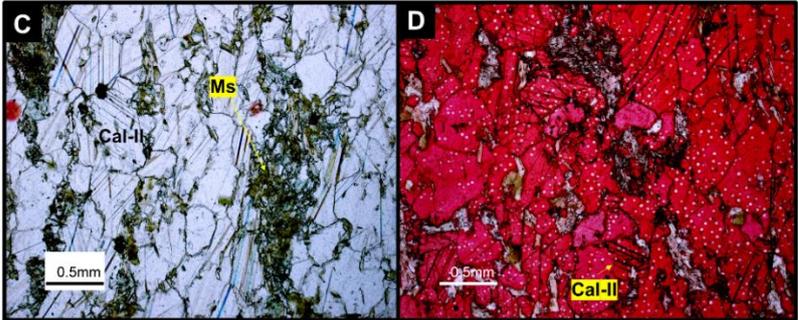
1. **Lavar o Gigler** com água e limpar com ar comprimido.
2. **Calibrar** o Gigler para 1,16 mm (1,10 dos vidros + 0.03 de espessura do pó #600 + 0.03 de espessura de rocha).
3. Com o vácuo ligado **colocar 6 lâminas** e com um pincel **espalhar pó** sobre a superfície.
4. **Colocar o Gigler** sobre o prato na vertical e muito lentamente
5. **60 RPM durante 65 minutos.**
6. **Retirar o Gigler, desligar o vácuo** e observar ao microscópio petrográfico.
7. **Medir** com a Craveira Digital
8. Caso tenhamos espessuras finais superiores a 1.13 colocar mais 10 min a 60 RPM.

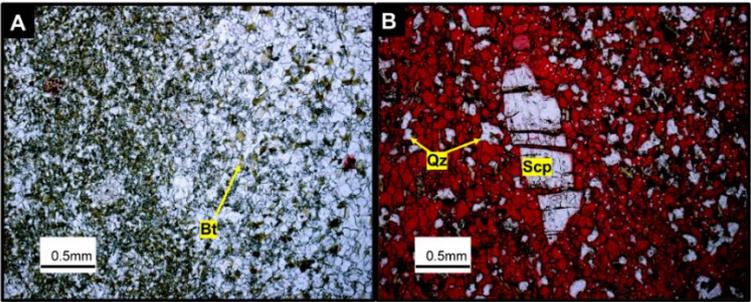
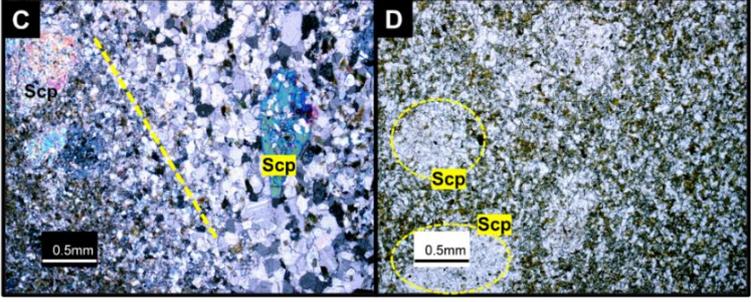
### PROBLEMAS E SOLUÇÕES

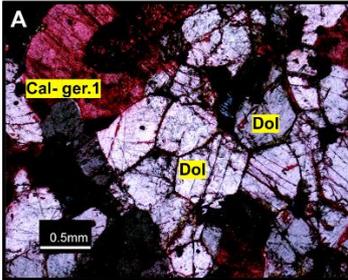
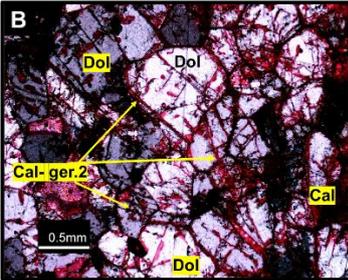
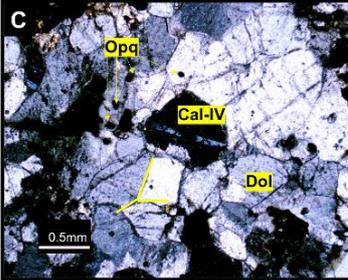
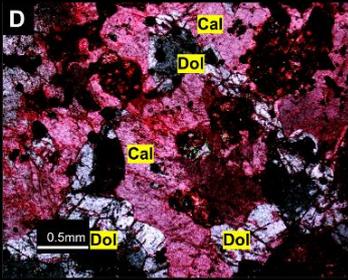
- Proceder sempre ao desgaste com 6 lâminas e com espessuras semelhantes.
- Por segurança pode-se medir as lâminas delgadas obtidas com a craveira digital caso se verifique cores em nicóis cruzados sempre altas após 2 repetições. Verificar a calibração do Gigler.
- Caso as lâminas estejam em cunha verificar com o peso a horizontalidade do prato bem como a do Gigler.

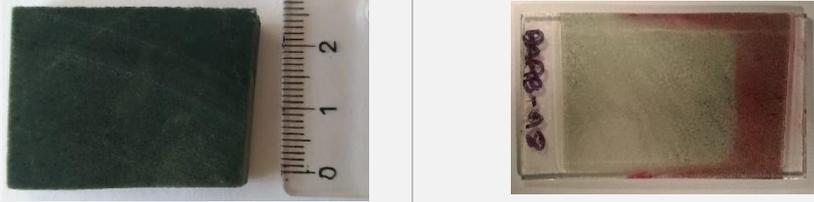
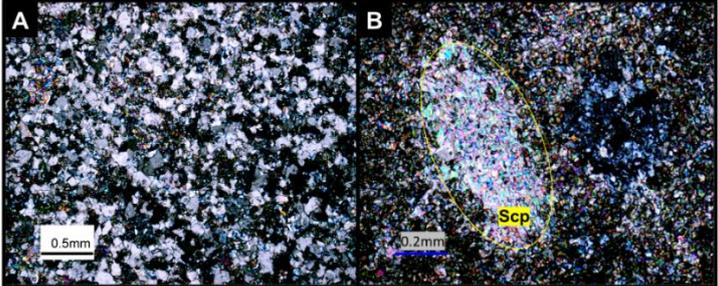
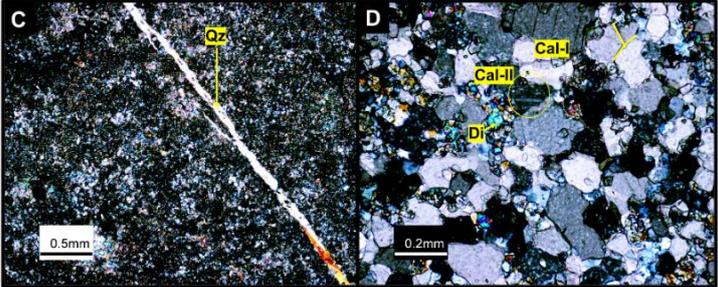
**Anexo IV**  
**Fichas Petrográficas**

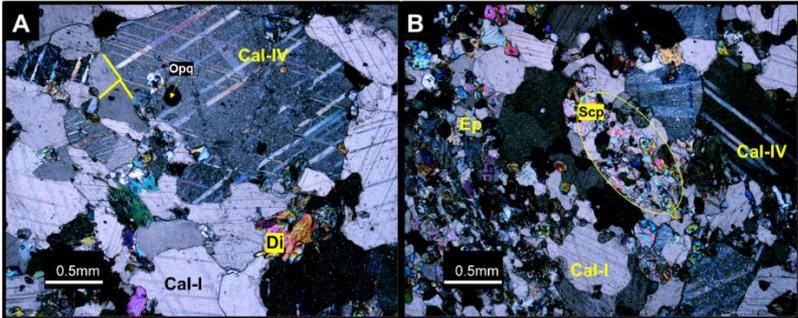
<b>Referência:</b>	<b>MONF-1</b>
<b>Grupo</b>	1 – Formação Carbonatada de Elvas próximo do contato com o Complexo Plutônico de Santa Eulália
<b>Classificação:</b>	Mármore impuro
<b>Esquema geral:</b>	
<b>Textura:</b>	Granoblástica inequigranular [0,2-1mm]
<b>Mineralogia:</b>	Calcite + biotite + quartzo + epidoto + escapolite
<b>Observações:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grande quantidade de biotite mais fina que a calcite e a escapolite;</li> <li>• Grãos de escapolite com dimensões entre 0,5-2mm, por vezes fraturados;</li> <li>• Calcite com maclas do tipo I, II e IV com tendência para textura poligonal;</li> <li>• Secções transversais de escapolite (Fig. 2B).</li> </ul>  <p>Figura 1-Fotomicrografias. A) Aspeto geral com calcite, epidoto e escapolite e evidência de textura poligonal na calcite (NX). B) Mineral de escapolite grosseiro fraturado, e evidência de textura poligonal na calcite (NX).</p> <p>Figura 2-Fotomicrografias. C) Secção transversal de escapolite (NX); D) Aspeto geral com calcite, biotite e escapolite (N//).</p> <p>(Abreviaturas: Cal-calcite; Cal-II-calcite com maclas do tipo II; Ep-epidoto; Bt-biotite; Scp-escapolite).</p>

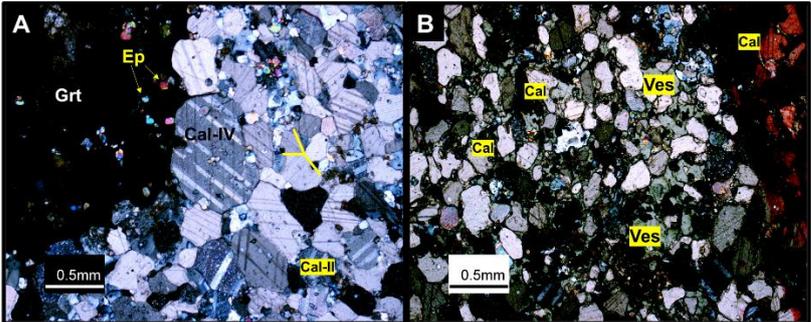
<b>Referência:</b>	<b>MONF-4</b>	
<b>Grupo</b>	1 – Formação Carbonatada de Elvas próximo do contato com o Complexo Plutônico de Santa Eulália	
<b>Classificação:</b>	Mármore impuro	
<b>Esquema geral:</b>		
<b>Textura:</b>	Granoblástica inequigranular [0,2-0,5mm]	
<b>Mineralogia:</b>	Calcite + moscovite + quartzo + epídoto ± minerais opacos	
<b>Observações:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bordos irregulares e zonas com tendência a poligonização dos grãos de calcite;</li> <li>• Calcite com maclas do tipo I, II e rara tipo IV;</li> <li>• Textura bandada com minerais de calcite e minerais de moscovite;</li> <li>• Moscovite mais fina que os grãos de calcite.</li> </ul>  <p>Figura 1-Fotomicrografias. A) Calcite com maclas do tipo II (NX); B) Zona com grande quantidade de moscovite e calcite com maclas do tipo II, com rebordos maioritariamente irregulares (NX).</p>  <p>Figura 2-Fotomicrografias. C) Calcite com maclas do tipo II, zona com tendência a textura poligonal (N//); D) Solução de vermelho de alizarina para destacar a calcite dos restantes minerais (N//).</p> <p>(Abreviaturas: Ms-moscovite; Qz-quartzo, restantes abreviaturas idênticas às anteriores)</p>	

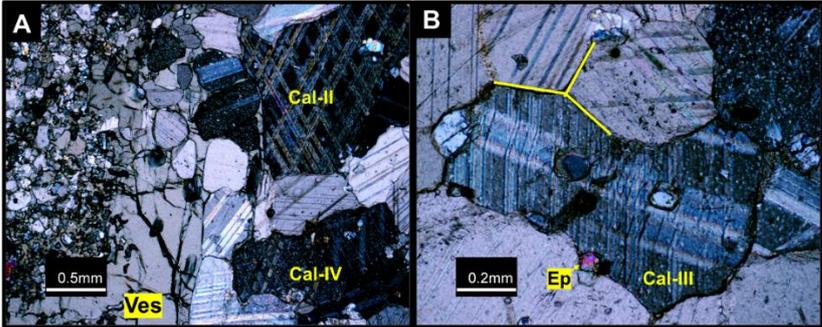
<b>Referência:</b>	MONF-5	
<b>Grupo</b>	1 – Formação Carbonatada de Elvas próximo do contato com o Complexo Plutônico de Santa Eulália	
<b>Classificação:</b>	Mármore muito impuro	
<b>Esquema geral:</b>		
<b>Textura:</b>	Granoblástica submilimétrica com cristais grosseiros de escapolite [0,5-2mm]	
<b>Mineralogia:</b>	Calcite + biotite + quartzo + escapolite ± minerais opacos	
<b>Observações:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Matriz equigranular com heterogeneidades internas (grão mais fino e grão mais grosseiro) sob a qual cresce blastos de dimensões centimétricas de escapolite. A matriz é constituída por calcite, quartzo e biotite.</li> <li>• Grandes cristais de escapolite com pouca alteração e por vezes fraturada;</li> <li>• Calcite com maclas do tipo I e II.</li> </ul>  <p>Figura 1- Fotomicrografia. A) Matriz constituída por biotite (N//); B) Blasto de escapolite fraturado, calcite (solução vermelho de alizarina) e quartzo (N//);</p>  <p>Figura 2- Fotomicrografia. C) A tracejado separa-se as duas dimensões da matriz, escapolite em ambas as granularidades (NX); D) Minerais de escapolite na matriz mais fina (N//);</p> <p>(Abreviaturas: idênticas às anteriores)</p>	

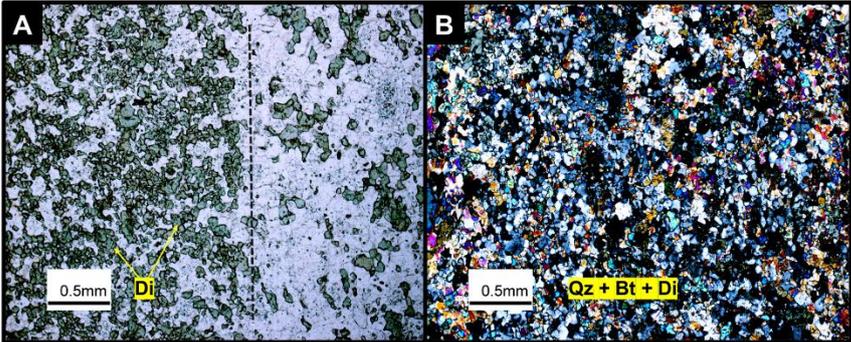
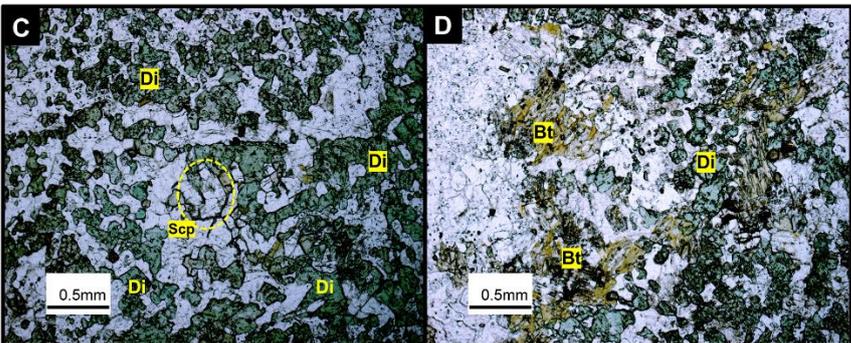
<b>Referência:</b>	<b>BARB-14</b>	
<b>Grupo</b>	1 – Formação Carbonatada de Elvas próximo do contato com o Complexo Plutônico de Santa Eulália	
<b>Classificação:</b>	Mármore dolomítico	
<b>Esquema geral:</b>		
<b>Textura:</b>	Granoblástica [0,5-1mm]	
<b>Mineralogia:</b>	Dolomite + calcite ± minerais opacos ± epidoto	
<b>Observações:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dolomite recristalizada com duas gerações de calcite: Ger.1- Calcite + dolomite e Ger.2- calcite tardia a preencher as fraturas de dolomite. (Fig. 1A);</li> <li>• Em alguns casos pontuais a calcite apresenta maclas do tipo IV;</li> <li>• Grande quantidade de mineralogia opaca.</li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>Figura 1- Fotomicrografia. A) Aspeto geral dolomite e calcite (NX); B) Dolomite fraturada com preenchimento de uma segunda geração de calcite, enfatizada pelo vermelho de alizarina (NX).</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>Figura 1- Fotomicrografias. C) Dolomite, calcite com maclas do tipo IV, mineralogia opaca e tendência a poligonização do grão de dolomite; fases opacas (NX); D) Aspeto geral da dolomite e calcite (NX).</p> <p>(Abreviaturas: Cal- ger.1 e 2 primeira e segunda geração de calcite; Dol- dolomite Opq- minerais opacos e restantes abreviaturas idênticas às anteriores)</p>	

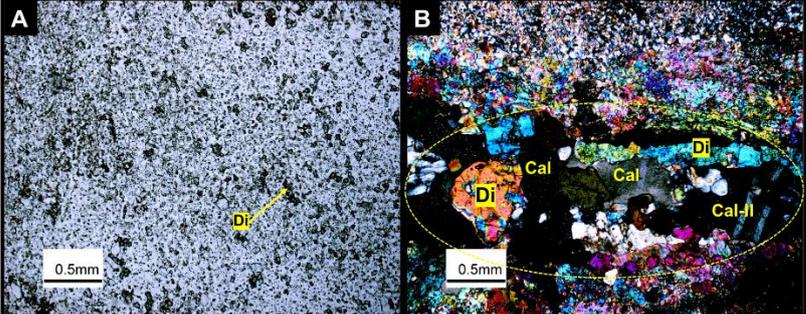
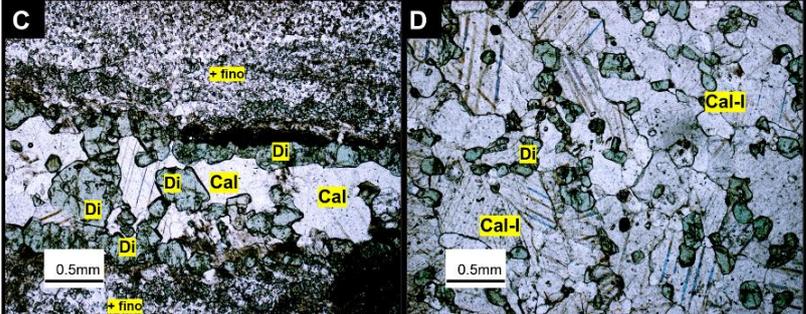
<b>Referência:</b>	<b>BARB-18</b>
<b>Grupo</b>	1 – Formação Carbonatada de Elvas próximo do contato com o Complexo Plutônico de Santa Eulália
<b>Classificação:</b>	Rocha calcossilicatada <i>s.l.</i>
<b>Esquema geral:</b>	
<b>Textura:</b>	Granoblástica inequigranular [0,2-0,5mm]
<b>Mineralogia:</b>	Calcite + diópsido + escapolite + quartzo ± minerais opacos
<b>Observações:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Textura submilimétrica, com zona mais grosseira;</li> <li>• Cristais de escapolite alterados;</li> <li>• Calcite com maclas do tipo I e II e com tendência a textura poligonal;</li> <li>• Veio de quartzo (Fig. 2C)</li> </ul>  <p>Figura 1- Fotomicrografia. A) Aspeto geral da amostra (NX). B) Cristal de escapolite com rebordos pouco nítidos crescendo sobre a matriz de grão fino (NX).</p>  <p>Figura 2- Fotomicrografia. A) Veio de quartzo (NX); D) Diópsido e calcite numa zona mais grosseira, com tendência a poligonização do grão de calcite (NX). (Abreviaturas: Cal-I calcite com maclas do tipo I; restantes abreviaturas idênticas às anteriores)</p>

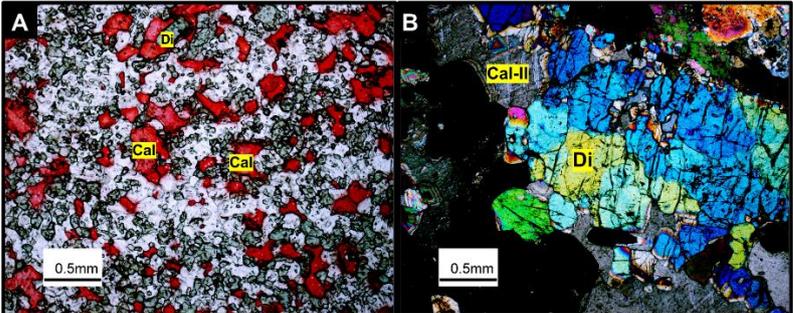
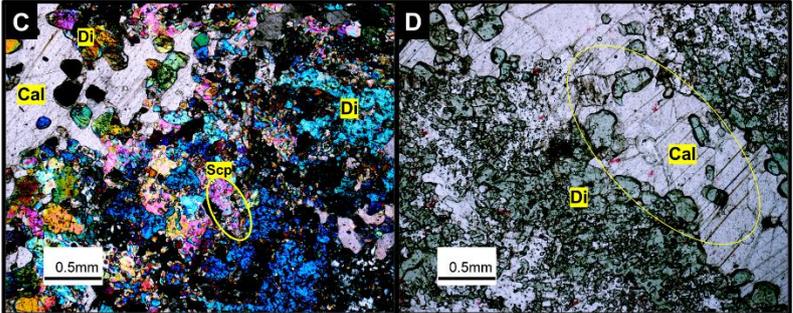
<b>Referência:</b>	MON-1	
<b>Grupo</b>	2 - Formação Carbonatada de Elvas no interior do Complexo Plutónico de Santa Eulália	
<b>Classificação:</b>	Mármore impuro	
<b>Esquema geral:</b>		
<b>Textura:</b>	Granoblástica inequigranular [0,3-0,5mm]	
<b>Mineralogia:</b>	Calcite + epídoto + diópsido + escapolite + quartzo ± minerais opacos	
<b>Observações:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calcite grosseira, com tendência a textura poligonal;</li> <li>• Maclas na calcite do tipo I, II e IV;</li> <li>• Diópsido e epídoto com granularidade mais fina;</li> <li>• Escapolite fraturada;</li> </ul>  <p>Figura 1- Fotomicrografias. A) Calcite com maclas tipo I e IV, epídoto e diópsido, e zona com textura poligonal (NX); B) Calcite com maclas do tipo I e IV, zona rica em epídoto e ainda escapolite alterada (NX); (Abreviaturas: Di- diópsido; restantes abreviaturas idênticas às anteriores)</p>	

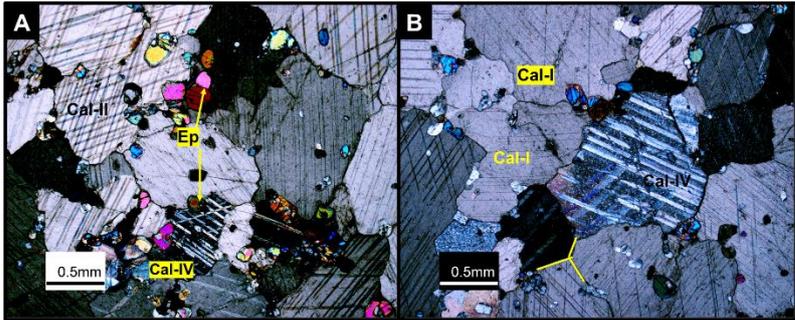
<b>Referência:</b>	<b>MONF-2</b>
<b>Grupo</b>	2 - Formação Carbonatada de Elvas no interior do Complexo Plutônico de Santa Eulália
<b>Classificação:</b>	Mármore impuro
<b>Esquema geral:</b>	
<b>Textura:</b>	Granoblástica inequigranular [0,1-0,5mm]
<b>Mineralogia:</b>	Calcite + vesuvianite + epidoto + granada ± minerais opacos
<b>Observações:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bandado com minerais mais argilosos;</li> <li>• Maclas na calcite do tipo I, II e IV;</li> <li>• Tendência a texturas poligonais;</li> <li>• Cristal de granada com dimensão superior a 0,5mm.</li> </ul>  <p>Figura 1- Fotomicrografia. A) Granada com inclusões de epidoto, calcite com maclas do tipo I e IV e ainda evidências de pontos triplos (textura poligonal) (NX); B) vesuvianite e calcite (NX); (Abreviaturas: Ves- vesuvianite; e restantes abreviaturas idênticas às anteriores)</p>

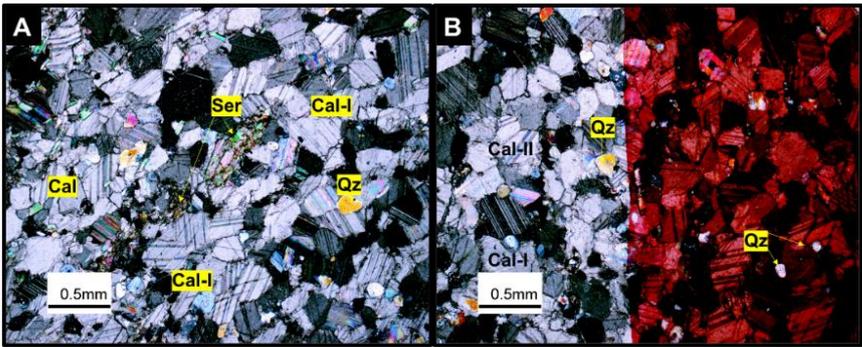
<b>Referência:</b>	<b>MONF-3</b>	
<b>Grupo</b>	2 - Formação Carbonatada de Elvas no interior do Complexo Plutónico de Santa Eulália	
<b>Classificação:</b>	Mármore impuro	
<b>Esquema geral:</b>		
<b>Textura:</b>	Granoblástica inequigranular [0,2-1mm]	
<b>Mineralogia:</b>	Calcite + vesuvianite + epidoto ± minerais opacos	
<b>Observações:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Veio de vesuvianite;</li> <li>• Maclas em calcite do tipo I, II e raramente III e IV;</li> <li>• Grãos de calcite grosseiros com bordos irregulares, pontualmente com tendência a poligonização do grão (Fig. 1B).</li> </ul>  <p>Figura 1 - Fotomicrografia. A) Veio de vesuvianite, calcite com maclas do tipo II e IV (NX); B) Calcite com maclas do tipo III e evidência de poligonização da calcite (NX); (Abreviaturas: idênticas às anteriores)</p>	

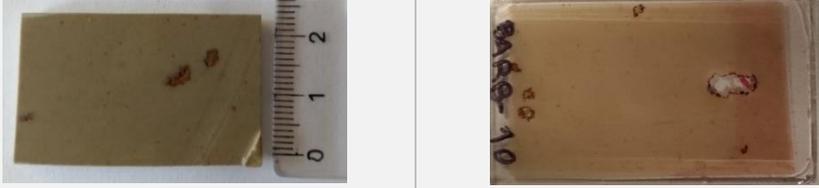
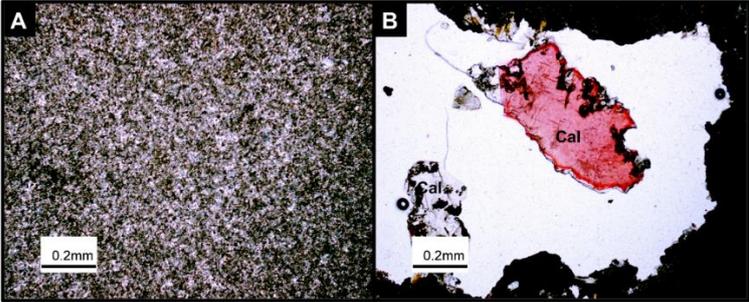
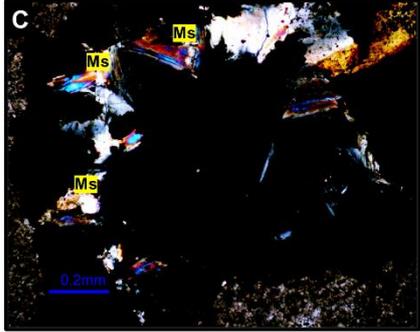
<b>Referência:</b>	<b>BARB-15</b>	
<b>Grupo</b>	2 - Formação Carbonatada de Elvas no interior do Complexo Plutônico de Santa Eulália	
<b>Classificação:</b>	Rocha calcossilicatada s.l.	
<b>Esquema geral:</b>		
<b>Textura:</b>	Granoblástica bandada [0,2-0,4mm]	
<b>Mineralogia:</b>	Diópsido + escapolite + quartzo ± minerais opacos	
<b>Observações:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Textura bandada com níveis ricos em escapolite, quartzo e feldspatos e níveis ricos em diópsido;</li> <li>• Dimensão dos grãos muito semelhante;</li> </ul>  <p>Figura 1- Fotomicrografias. A) Duas bandas (verde e branca) (N/); B) Mineralogia quartzo + biotite + diópsido (NX).</p>  <p>Figura 2- Fotomicrografia. C) Escapolite e diópsido (N/); D) Biotite e diópsido (N/). (Abreviaturas: Qz- quartzo e restantes abreviaturas idênticas às anteriores)</p>	

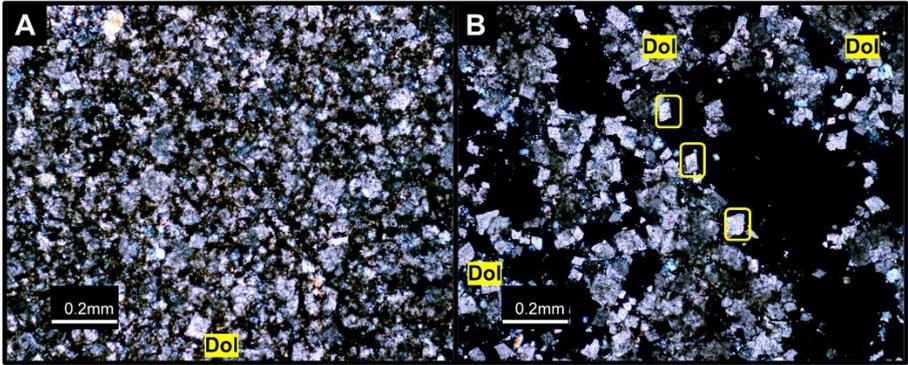
<b>Referência:</b>	<b>BARB-16-A</b>
<b>Grupo</b>	2 - Formação Carbonatada de Elvas no interior do Complexo Plutónico de Santa Eulália
<b>Classificação:</b>	Rocha calcossilicatada <i>s.l.</i>
<b>Esquema geral:</b>	
<b>Textura:</b>	Granoblástica inequigranular bandada [0,2-0,5mm]
<b>Mineralogia:</b>	Calcite + feldspato alcalino + plagioclase + diópsido + escapolite
<b>Observações:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rochas com domínios de granularidade submilimétrica e domínios de granularidade grosseira compostos por calcite e diópsido;</li> <li>• Texturas exóticas;</li> <li>• Calcite com maclas do tipo I e II;</li> </ul>  <p>Figura 1- Fotomicrografia. A) Aspeto geral de uma zona mais fina da amostra (N//); B) Aspeto geral de uma zona mais grosseira preenchida por calcite com maclas do tipo I e II e diópsido (NX).</p>  <p>Figura 2- Fotomicrografia. C) Veio preenchido por calcite e diópsido mais grosseiro (N//); D) Calcite e diópsido numa zona mais grosseira (N//). (Abreviaturas: idênticas às anteriores).</p>

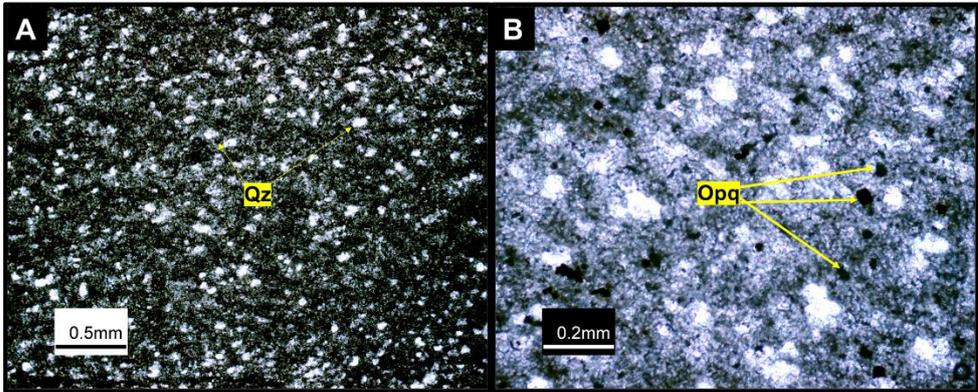
<b>Referência:</b>	<b>BARB-16-B</b>	
<b>Grupo</b>	2 - Formação Carbonatada de Elvas no interior do Complexo Plutônico de Santa Eulália	
<b>Classificação:</b>	Rocha calcossilicatada <i>s.l.</i>	
<b>Esquema geral:</b>		
<b>Textura:</b>	Granoblástica inequigranular bandada [0,2-0,5mm]	
<b>Mineralogia:</b>	Calcite + feldspato alcalino + plagioclase + diópsido + escapolite	
<b>Observações:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Idêntica à amostra BARB-16-A igualmente com texturas exóticas e calcite com maclas do tipo II;</li> <li>• Domínios com níveis submilimétricos e domínios mais grosseiros;</li> </ul>  <p>Figura 1- Fotomicrografia. A) Aspeto geral com calcite e diópsido (N//); B) Diópsido e calcite com maclas do tipo II (NX).</p>  <p>Figura 2- Fotomicrografia. C) Zona mais grosseira com escapolite, diópsido e calcite (NX); D) Diópsido e zona com calcite mais grosseira (N//).</p> <p>(Abreviaturas: Cal-II- calcite com maclas do tipo II; Di-diópsido)</p>	

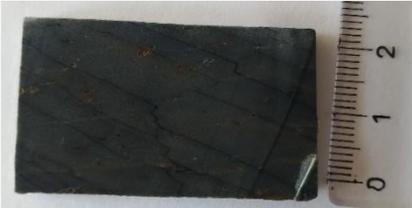
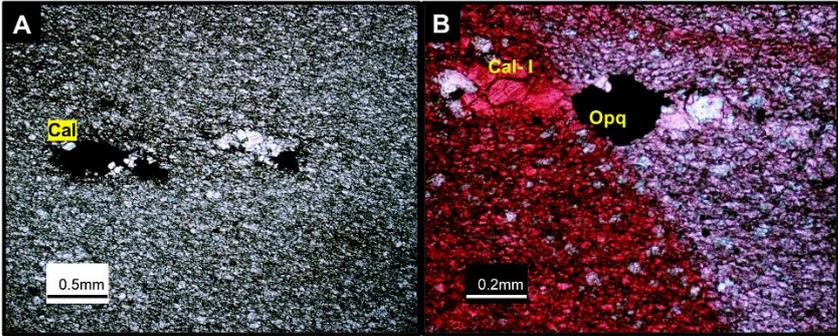
<b>Referência:</b>	<b>BARB-17</b>	
<b>Grupo</b>	2 - Formação Carbonatada de Elvas no interior do Complexo Plutónico de Santa Eulália	
<b>Classificação:</b>	Mármore impuro	
<b>Esquema geral:</b>		
<b>Textura:</b>	Granoblástica inequigranular muito grosseira [0,5-1mm]	
<b>Mineralogia:</b>	Calcite + epídoto + diópsido + quartzo ± minerais opacos	
<b>Observações:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grãos de calcite mais grosseiros, com maclas do tipo I, II e IV;</li> <li>• Grãos de epídoto mais finos, inclusos na calcite</li> <li>• Pontos triplos evidentes.</li> </ul>  <p>Figura 1- Fotomicrografias. A) Calcite com maclas do tipo I e II e epídoto (NX); B) Calcite com maclas do tipo I e IV, zona com textura poligonal (NX). (Abreviaturas: idênticas às anteriores)</p>	

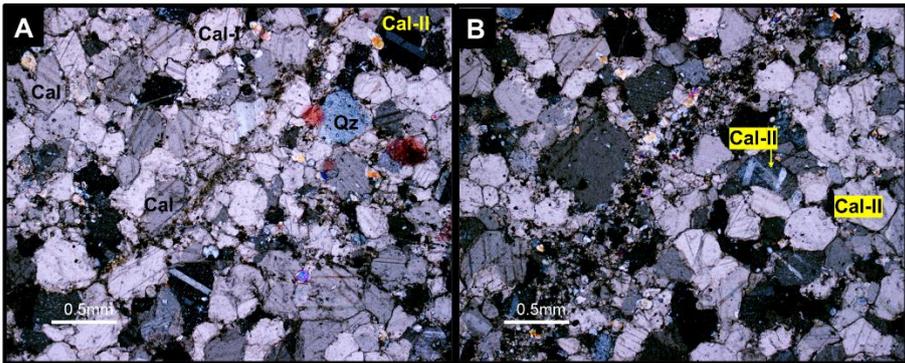
<b>Referência:</b>	<b>MONF-6</b>	
<b>Grupo</b>	3 – Formação Carbonatada de Elvas afastada de corpos intrusivos	
<b>Classificação:</b>	Calcário	
<b>Esquema geral:</b>		
<b>Textura:</b>	Granoblástica [0,2-0,5mm]	
<b>Mineralogia:</b>	Calcite + quartzo + sericite + clorite + minerais opacos	
<b>Observações:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Minerais de calcite com maclas do tipo I e II.</li> <li>• Rebordos da calcite mais alterados.</li> </ul>  <p>Figura 1- Fotomicrografia. A) Calcite com maclas do tipo I e II e sericite (NX); B) Aspecto geral calcite e quartzo (NX). (Abreviaturas: idênticas às anteriores)</p>	

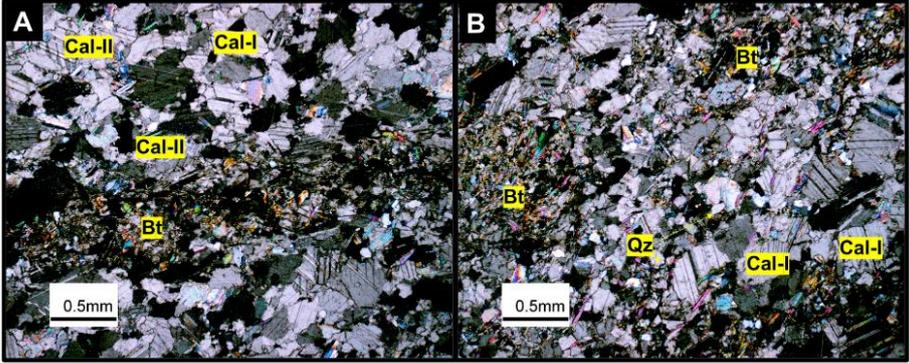
<b>Referência:</b>	<b>BARB-10</b>
<b>Grupo</b>	3 – Formação Carbonatada de Elvas afastada de corpos intrusivos
<b>Classificação:</b>	Dolomia
<b>Esquema geral:</b>	
<b>Textura:</b>	Maciça a granular submilimétrica
<b>Mineralogia:</b>	Dolomite ± calcite + sericite/moscovite
<b>Observações:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zonas porosas com calcite e micas (moscovite/sericite);</li> <li>• Calcite com a solução de vermelho de alizarina (Fig. 1B);</li> </ul>  <p>Figura 1- Fotomicrografia. A) Aspeto geral da lâmina com textura muito fina (N//); B) Cristal de calcite a preencher uma zona porosa (N//);</p>  <p>Figura 2- Fotomicrografia. C) Sericite nos bordos das zonas porosas (NX). (Abreviaturas: Ms-moscovite; idênticas às anteriores)</p>

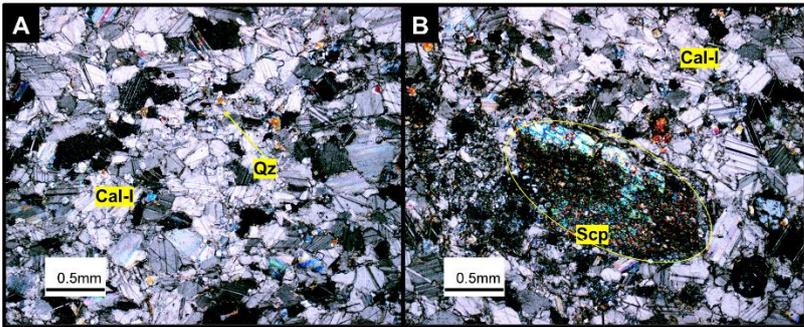
<b>Referência:</b>	BARB-11	
<b>Grupo</b>	3 – Formação Carbonatada de Elvas afastada de corpos intrusivos	
<b>Classificação:</b>	Dolomia	
<b>Esquema geral:</b>		
<b>Textura:</b>	Maciça a granular	
<b>Mineralogia:</b>	Dolomite + quartzo + moscovite (sericite)	
<b>Observações:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Textura submilimétrica com zonas porosas, preenchidas por cristais de dolomite romboédricos evidentes;</li> </ul>  <p>Figura 1- Fotomicrografia. A) Aspecto geral com dolomite euédrica (NX); B) Dolomite romboédrica numa zona porosa (NX). (Abreviaturas: Dol-dolomite; restantes abreviaturas idênticas às anteriores)</p>	

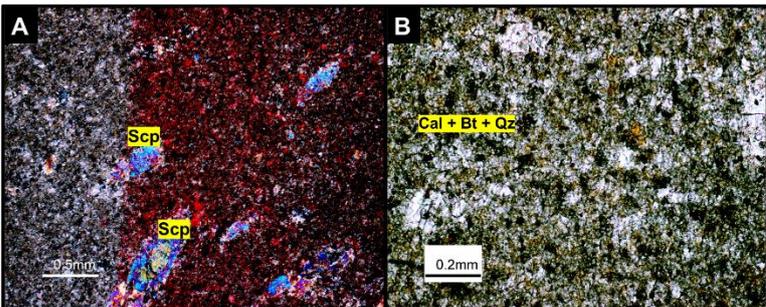
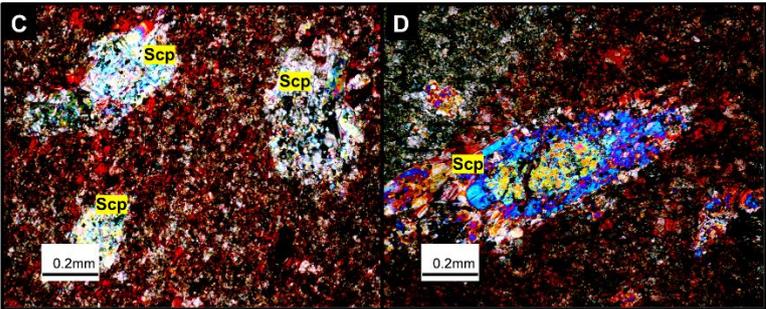
<b>Referência:</b>	<b>BARB-12</b>	
<b>Grupo</b>	3 – Formação Carbonatada de Elvas afastada de corpos intrusivos	
<b>Classificação:</b>	Dolomia	
<b>Esquema geral:</b>		
<b>Textura:</b>	Maciça granular	
<b>Mineralogia:</b>	Dolomite + clorite + quartzo ± minerais opacos	
<b>Observações:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Textura submilimétrica por vezes pouco perceptível;</li> </ul>  <p>Figura 1- Fotomicrografia. A) Aspeto geral da lamina com quartzo (N//); B) Pormenor da mineralogia opaca (N//). (Abreviaturas: Opq- mineralogia opaca; restantes abreviaturas idênticas às anteriores)</p>	

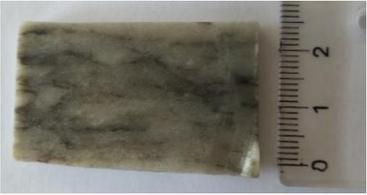
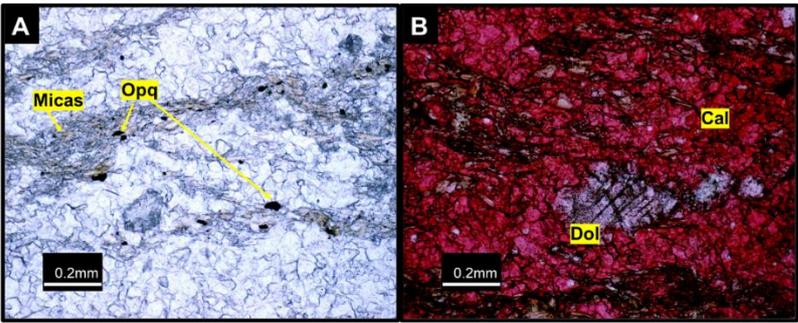
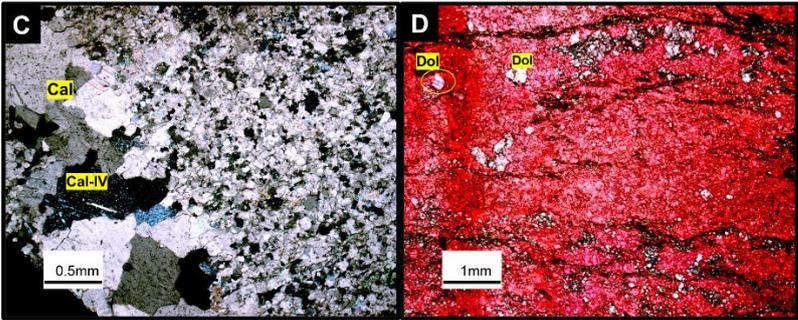
<b>Referência:</b>	BARB-13	
<b>Grupo</b>	3 – Formação Carbonatada de Elvas afastada de corpos intrusivos	
<b>Classificação:</b>	Calcário	
<b>Esquema geral:</b>		
<b>Textura:</b>	Granoblástica inequigranular submilimétrica	
<b>Mineralogia:</b>	Calcite + quartzo + clorite ± minerais opacos	
<b>Observações:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Textura com granularidade muito fina;</li> <li>• Observa-se níveis mais ricos em clorite e moscovite;</li> </ul>  <p>Figura 1- Fotomicrografia. A) Aspeto geral com calcite e quartzo (NX); B) Calcite com maclas do tipo I e pormenor da mineralogia opacas (NX). (Abreviaturas: idênticas às anteriores)</p>	

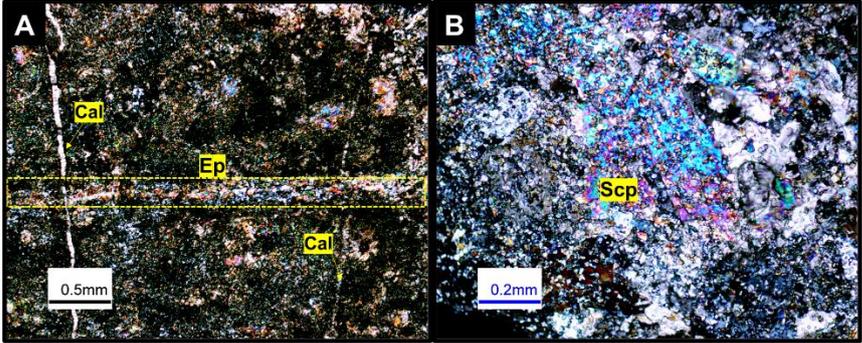
<b>Referência:</b>	<b>BARB-19</b>	
<b>Grupo</b>	3 – Formação Carbonatada de Elvas afastada de corpos intrusivos	
<b>Classificação:</b>	Calcário	
<b>Esquema geral:</b>		
<b>Textura:</b>	Granoblástica inequigranular [0,2-0,5mm]	
<b>Mineralogia:</b>	Calcite + quartzo + moscovite/sericite + clorite ± minerais opacos	
<b>Observações:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rebordos da calcite muito alterados;</li> <li>• Calcite com maclas do tipo I e II;</li> <li>• Zonas ricas em micas;</li> </ul>  <p>Figura 1- Fotomicrografia. A) Aspecto geral com calcite preenchida com maclas do tipo I e II, rebordos alterados e quartzo (NX); B) Zona rica em micas e fases opacas (NX); (Abreviaturas: idênticas às anteriores)</p>	

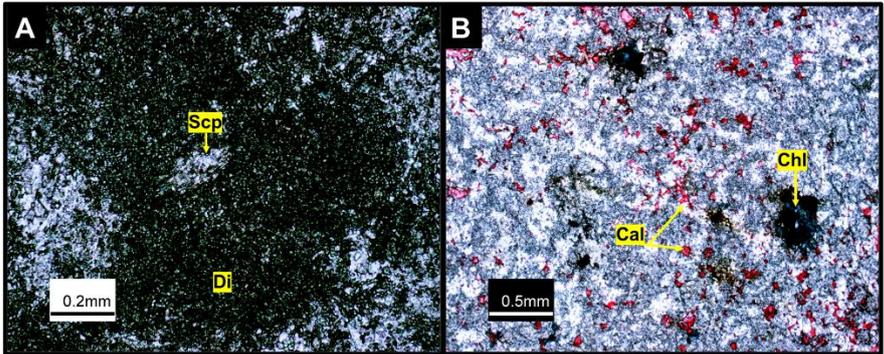
<b>Referência:</b>	<b>MONF-7- A</b>	
<b>Grupo</b>	4 - Formação Carbonatada de Elvas próxima do contato com o Maciço de Alter Pedroso e Vaiamonte	
<b>Classificação:</b>	Mármore impuro	
<b>Esquema geral:</b>		
<b>Textura:</b>	Granoblástica inequigranular [0,1-0,3mm]	
<b>Mineralogia:</b>	Calcite + biotite + escapolite + quartzo + epídoto ± minerais opacos	
<b>Observações:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Níveis impuros preenchidos por biotite e quartzo;</li> <li>• Calcite com rebordos irregulares e maclas frequentes do tipo I e II;</li> </ul>  <p>Figura 1- Fotomicrografia. A) Presença de calcite com maclas do tipo I e II e zona rica em micas (NX); B) Calcite com maclas do tipo I e II e zona rica em micas (NX); (Abreviaturas: Cal-II calcite com maclas do tipo II; restantes abreviaturas idênticas às anteriores)</p>	

<b>Referência:</b>	<b>MONF-7-B</b>	
<b>Grupo</b>	4 - Formação Carbonatada de Elvas próxima do contato com o Maciço de Alter Pedroso e Vaiamonte	
<b>Classificação:</b>	Mármore impuro	
<b>Esquema geral:</b>		
<b>Textura:</b>	Granoblástica inequigranular [0,1-0,3mm]	
<b>Mineralogia:</b>	Calcite + biotite + escapolite + quartzo + epídoto ± minerais opacos	
<b>Observações:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calcite com rebordos irregulares e maclas do tipo I e II;</li> <li>• Escapolite mais deformada e fraturada;</li> </ul>  <p>Figura 1- Fotomicrografia. A) Calcite com maclas do tipo I (NX); B) Escapolite deformada (NX). (Abreviaturas: idênticas às anteriores)</p>	

<b>Referência:</b>	MONF-8	
<b>Grupo</b>	4 - Formação Carbonatada de Elvas próxima do contato com o Maciço de Alter Pedroso e Vaiamonte	
<b>Classificação:</b>	Rocha calcossilicatada <i>s.l.</i>	
<b>Esquema geral:</b>		
<b>Textura:</b>	Granoblástica submilimétrica com cristais grosseiros [0,2-1mm]	
<b>Mineralogia:</b>	Calcite + escapolite + biotite + quartzo ± minerais opacos	
<b>Observações:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Matriz mais fina com: calcite, biotite e quartzo;</li> <li>• Presença de blastos de escapolite com dimensões acima de 5mm, fraturada;</li> </ul>  <p>Figura 1- Fotomicrografia. A) Aspecto geral da matriz composta essencialmente por calcite, com o vermelho de alizarina (NX); B) Matriz fina com biotite, calcite e quartzo (N//);</p>  <p>Figura 2- Fotomicrografia. C) Cristais de escapolite grosseira, com fraturas (NX); D) Escapolite fraturada (NX). (Abreviaturas: idênticas às anteriores)</p>	

<b>Referência:</b>	MONF-9	
<b>Grupo</b>	4 - Formação Carbonatada de Elvas próxima do contato com o Maciço de Alter Pedroso e Vaiamonte	
<b>Classificação:</b>	Mármore impuro	
<b>Esquema geral:</b>		
<b>Textura:</b>	Granoblástica inequigranular [0,2-0,5mm]	
<b>Mineralogia:</b>	Calcite + dolomite + biotite e/ou moscovite + quartzo ± epidoto ± minerais opacos	
<b>Observações:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Níveis impuros, com micas (biotite e/ou moscovite);</li> <li>• Dolomite com maclas do tipo I</li> </ul>  <p>Figura 1- Fotomicrografias. A) Micas e fases opacas associadas (N//); B) Dolomite no meio de calcite (vermelho de alizarina) (NX).</p>  <p>Figura 2- Fotomicrografias. C) Veio de calcite grossoeiro com maclas do tipo IV (NX); D) Vermelho de alizarina para distinguir a calcite da dolomite (N//). (Abreviaturas: idênticas às anteriores)</p>	

<b>Referência:</b>	<b>BAT-1</b>	
<b>Grupo</b>	5 – Formação Carbonatada de Elvas próxima do contato com o complexo Máfico - Ultramáfico de Alter do Chão	
<b>Classificação:</b>	Rocha calcossilicatada <i>s.l.</i>	
<b>Esquema geral:</b>		
<b>Textura:</b>	Granoblástica inequigranular submilimétrica	
<b>Mineralogia:</b>	Calcite + diópsido + escapolite + feldspato alcalino + plagioclase + biotite + epidoto + pirite (mineralogia opaca)	
<b>Observações:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Veios de calcite e veios tardios preenchidos por epidoto (Fig. 1A);</li> <li>• Calcite dispersa;</li> <li>• Escapolite mais alterada;</li> </ul>  <p>Figura 1- Fotomicrografias. A) Ocorrência de Veios de epidoto e de calcite (NX); B) Grão de escapolite mais alterado (NX). (Abreviaturas: idênticas às anteriores)</p>	

<b>Referência:</b>	BAT-2	
<b>Grupo</b>	5 – Formação Carbonatada de Elvas próxima do contato com o complexo Máfico - Ultramáfico de Alter do Chão	
<b>Classificação:</b>	Rocha calcossilicatada <i>s.l.</i>	
<b>Esquema geral:</b>		
<b>Textura:</b>	Granoblástica inequigranular submilimétrica	
<b>Mineralogia:</b>	Calcite + diópsido + feldspato alcalino + plagioclase + escapolite + clorite + pirite (mineralogia opaca)	
<b>Observações:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Textura submilimétrica com grãos de calcite dispersos;</li> <li>• Alteração da biotite para clorite;</li> <li>• Grande quantidade de diópsido conferindo a cor verde à rocha.</li> </ul>  <p>Figura 1- Fotomicrografias. A) Aspeto geral da rocha com a presença de diópsido e de um cristal de escapolite (N//); B) Aspeto geral com calcite dispersa e clorite (N//) (Abreviaturas: idênticas às anteriores)</p>	

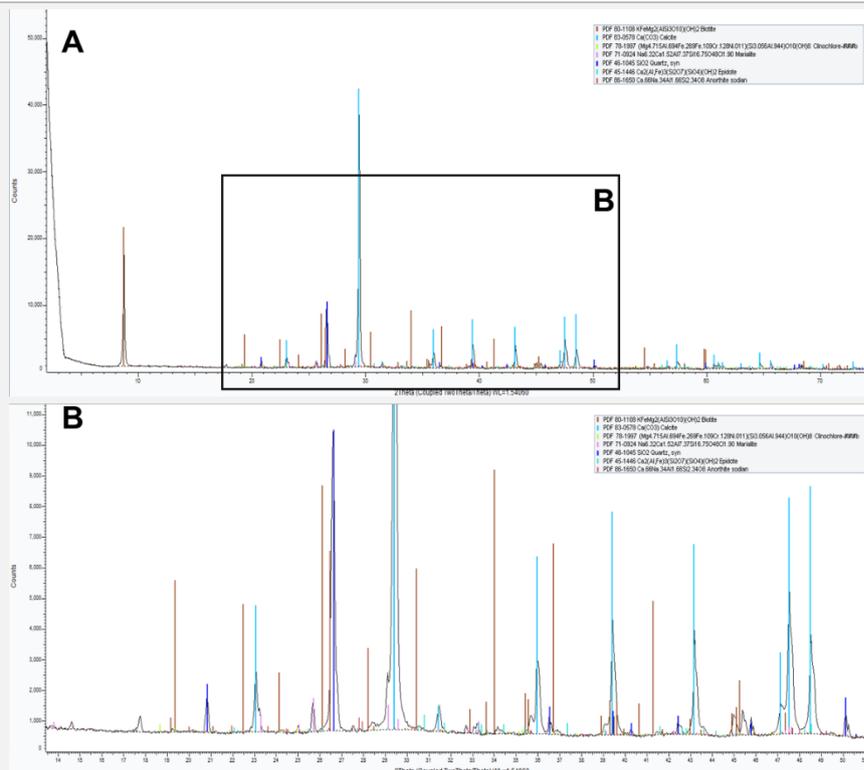
## **Anexo V**

### **Resultados da análise por difração de raios-X**

Tabela V.2- Percentagem relativa da composição mineralogia obtida pela análise de difração de raios-X.

Referência	Cal	DoI	Qz	Bt	Di	Ms	Chl	Vs	Scp	Pl	Tlc	Fsp A	Grt	Mnt	Py	Wo	Ep
MONF-1	38,3		8,5	46,3			1,2		2,5	2,3							0,9
MONF-4	35,5		2,4			58,6	3,2										0,2
MONF-5	20,1		13,3	54,9			0,7		3,7	7,4							
BARB-14	13,8	85,8					0,2			0,3							
BARB-18	22,5				26,6			3,6	24,1	5,5		17,6					
MON-1	81,8		1,3		4,1	4,4			2,1			1,1			2,1		3
MONF-2	65,8				2,1			3,6		25,7			0,1	0,5			2,3
MONF-3	76,9				3,9			16,7									2,4
BARB-15		2,6	0,5	0,6	25,2				45,9			15,1				10,1	
BARB-16	11,7			4,9	24,8				23,4	12,6		8,4					14,2
BARB-17	70				3,6					23,5							2,8
MONF-6	68,8		4,6			25,6	1										
BARB-10	0,2	65,5	8,5			25,5	0,4										
BARB-11		88,3	3			8,7											
BARB-12		76	1,8			21,8	0,5										
BARB-13	53		4,6			40,8				1,6							
BARB-19	87,1	5	1,3				0,4			6,2							
MONF-7	66,7		4,3	16,8			4,6		4,7	3							
MONF-8	33,9		10,3	26,4			17		4,3	8							
MONF-9	30,2	25,5	1			31,2	1,4				8,8						2
BAT-1	13,2			0,9	18,7		4		4,2	19,8		25,3			0,3		13,8
BAT-2	10,4				12,2				23,3	5,8		39,7					8,6

MONF-1



A) Difractograma aspeto geral B) Difractograma ampliação.

C

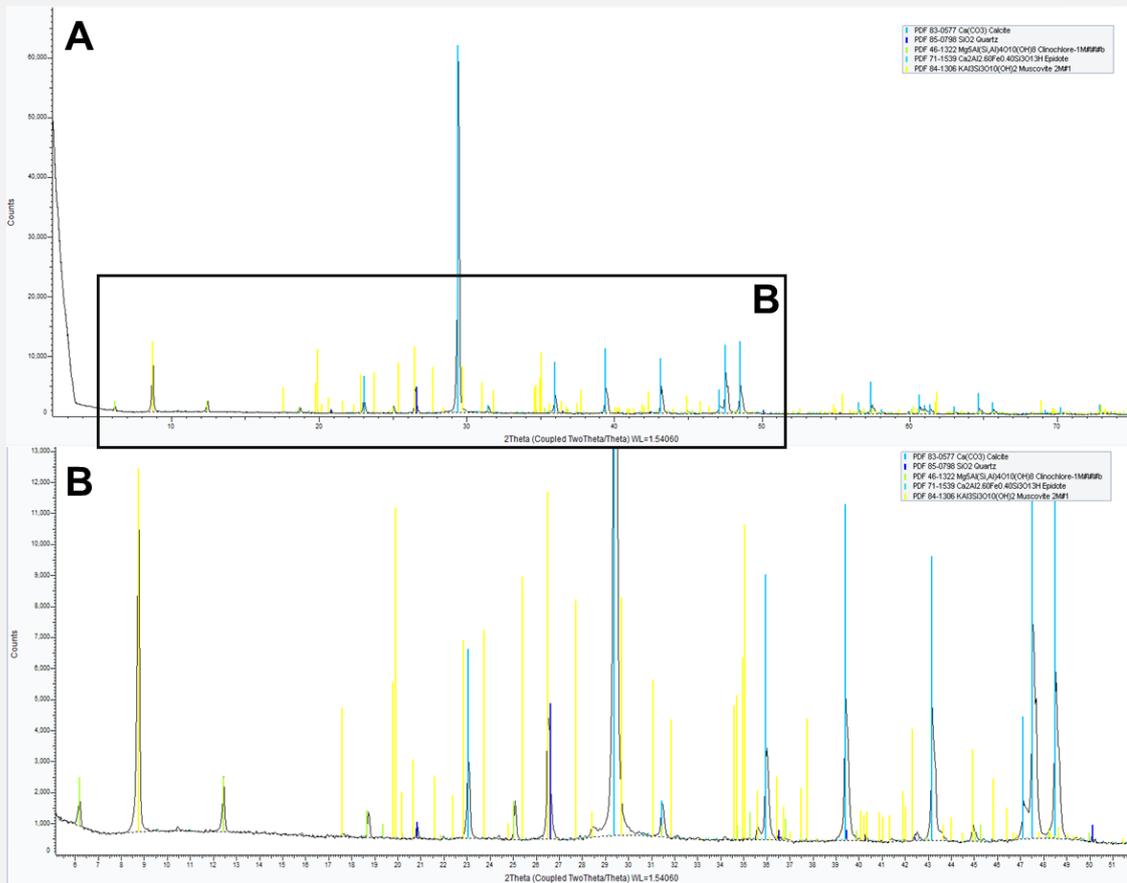
Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			1	PDF 80-1108	Pattern List #1	Monf_1_MA.brml #1	PDF 80-1108
Yes			2	PDF 83-0578	Pattern List #1	Monf_1_MA.brml #1	PDF 83-0578
Yes			3	PDF 78-1997	Pattern List #1	Monf_1_MA.brml #1	PDF 78-1997
Yes			4	PDF 71-0924	Pattern List #1	Monf_1_MA.brml #1	PDF 71-0924
Yes			5	PDF 46-1045	Pattern List #1	Monf_1_MA.brml #1	PDF 46-1045
Yes			6	PDF 45-1446	Pattern List #1	Monf_1_MA.brml #1	PDF 45-1446
Yes			7	PDF 86-1650	Pattern List #1	Monf_1_MA.brml #1	PDF 86-1650

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB
Biotite	$KFeMg_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	Calculated	50.05 %	1.330
Calcite	$Ca(CO_3)$	Calculated	99.82 %	3.210
Clinoclchlore-#1#1#b	$(Mg_4.715Al_6.694Fe_{0.269}Fe_{1.09}Cr_{0.128}Ni_{0.011})(Si_3.056Al_9.944)O_{10}(OH)_8$	Calculated	0.65 %	0.670
Marialite	$Na_6.32Ca_{1.52}Al_{7.37}Si_{16.75}O_{48}Cl_{1.90}$	Calculated	2.62 %	1.290
Quartz, syn	$SiO_2$	Star (*)	23.55 %	3.410
Epidote	$Ca_2(Al,Fe)_3(Si_2O_7)(Si_4O_4)(OH)_2$	Indexed	1.45 %	2.070
Anorthite sodian	$Ca_{0.66}Na_{0.34}Al_{1.66}Si_2.34O_8$	Calculated	1.02 %	0.540

I/Ic User	S-Q	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group
0.000	46.3 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Monoclinic	C2/m (12)
0.000	38.3 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Rhombo.H.axes	R-3c (167)
0.000	1.2 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Triclinic	C-1 (2)
0.000	2.5 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Tetragonal	I4/m (87)
0.000	8.5 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Hexagonal	P3221 (154)
0.000	0.9 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Monoclinic	P21/m (11)
0.000	2.3 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Triclinic	I-1 (2)

C) Relatório resultante da análise de DRX.

MONF-4



A) Difractograma aspeto geral; B) Difractograma ampliação.

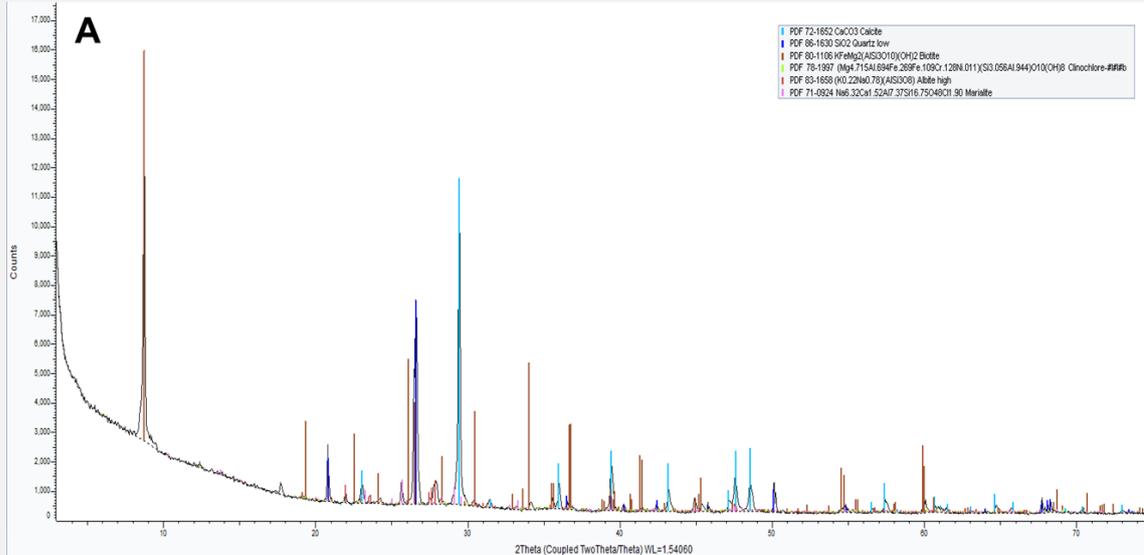
C

Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			1	PDF 83-0577	Pattern List #1	Monf_4_MA.brml #1	PDF 83-0577
Yes			2	PDF 85-0798	Pattern List #1	Monf_4_MA.brml #1	PDF 85-0798
Yes			3	PDF 46-1322	Pattern List #1	Monf_4_MA.brml #1	PDF 46-1322
Yes			4	PDF 71-1539	Pattern List #1	Monf_4_MA.brml #1	PDF 71-1539
Yes			5	PDF 84-1306	Pattern List #1	Monf_4_MA.brml #1	PDF 84-1306

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q	d x by
Calcite	Ca(CO <sub>3</sub> )	Calculated	100.06 %	3.210	0.000	35.5 %	1.0000
Quartz	SiO <sub>2</sub>	Calculated	7.14 %	3.340	0.000	2.4 %	1.0000
Clinocllore-1M#1#1#b	Mg <sub>5</sub> Al(Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>	Indexed	2.85 %	(1)	0.000	3.2 %	1.0000
Epidote	Ca <sub>2</sub> Al <sub>2.60</sub> Fe <sub>0.40</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>13</sub> H	Calculated	0.13 %	0.820	0.000	0.2 %	1.0000
Muscovite 2M#1	KAl <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	Calculated	19.06 %	0.370	0.000	58.6 %	1.0000

C) Relatório resultante da análise de DRX.

MONF-5



A) Difractograma aspeto geral;

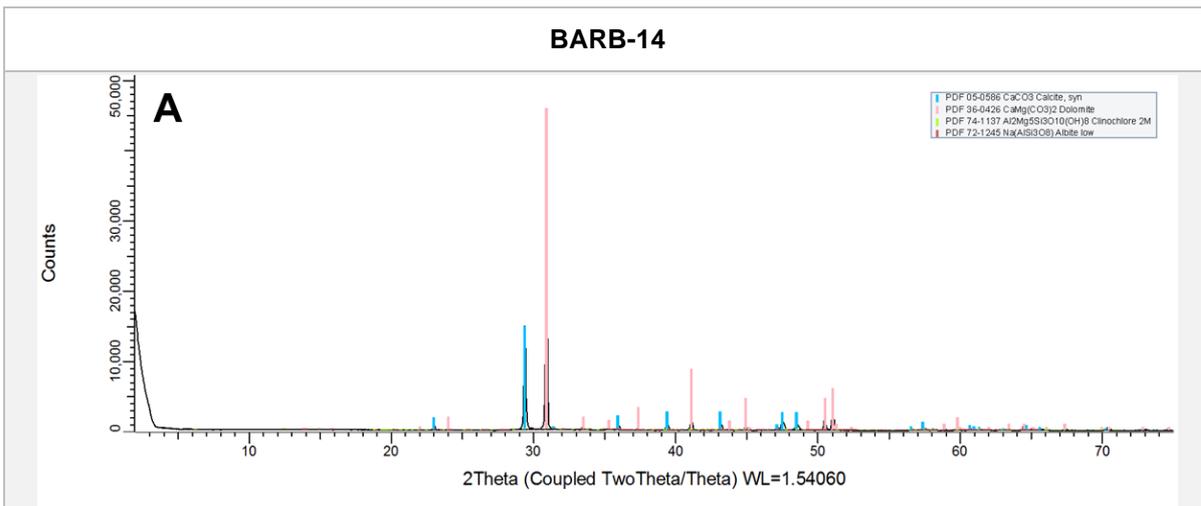
B

Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			1	PDF 72-1652	Pattern List #1	Monf_5_MA.brml #1	PDF 72-1652
Yes			2	PDF 86-1630	Pattern List #1	Monf_5_MA.brml #1	PDF 86-1630
Yes			3	PDF 80-1106	Pattern List #1	Monf_5_MA.brml #1	PDF 80-1106
Yes			4	PDF 78-1997	Pattern List #1	Monf_5_MA.brml #1	PDF 78-1997
Yes			5	PDF 83-1658	Pattern List #1	Monf_5_MA.brml #1	PDF 83-1658
Yes			6	PDF 71-0924	Pattern List #1	Monf_5_MA.brml #1	PDF 71-0924

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB
Calcite	CaCO3	Calculated	83.40 %	3.200
Quartz low	SiO2	Calculated	52.09 %	3.020
Biotite	KFeMg2(AlSi3O10)(OH)2	Calculated	99.67 %	1.400
Clinocllore-#1#b	(Mg4.715Al.694Fe.269Fe.109Cr.128Ni.011)(Si3.056Al.944)O10(OH)8	Calculated	0.57 %	0.670
Albite high	(K0.22Na0.78)(AlSi3O8)	Calculated	5.96 %	0.620
Marialite	Na6.32Ca1.52Al7.37Si16.75O48Cl1.90	Calculated	6.19 %	1.290

I/Ic User	S-Q	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group
0.000	20.1 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Rhombo.H.axes	R-3c (167)
0.000	13.3 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Hexagonal	P3121 (152)
0.000	54.9 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Monoclinic	C2/m (12)
0.000	0.7 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Triclinic	C-1 (2)
0.000	7.4 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Triclinic	C-1 (2)
0.000	3.7 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Tetragonal	I4/m (87)

B) Relatório resultante da análise de DRX.



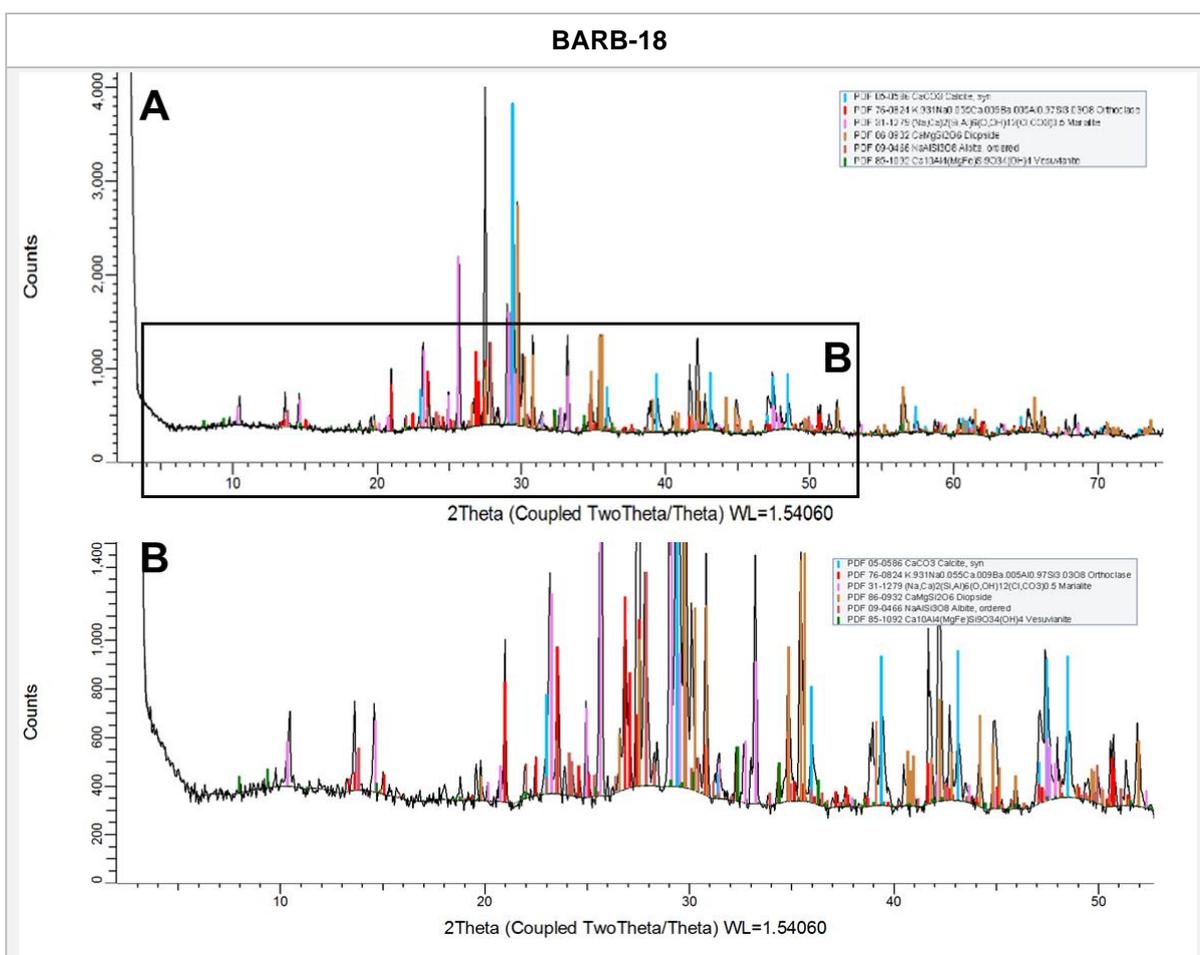
A) Difractograma aspeto geral;

**B**

Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			1	PDF 05-0586	Pattern List #1	BARB_14_MA.brml #1	PDF 05-0586
Yes			2	PDF 36-0426	Pattern List #1	BARB_14_MA.brml #1	PDF 36-0426
Yes			3	PDF 74-1137	Pattern List #1	BARB_14_MA.brml #1	PDF 74-1137
Yes			4	PDF 72-1245	Pattern List #1	BARB_14_MA.brml #1	PDF 72-1245

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q	d x by	Scan WL
Calcite, syn	CaCO <sub>3</sub>	Star (*)	32.19 %	2.000	0.000	13.8 %	1.0000	Yes
Dolomite	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Star (*)	100.35 %	(1)	0.000	85.8 %	1.0000	Yes
Clinocllore 2M	Al <sub>2</sub> Mg <sub>5</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>	Calculated	0.19 %	0.990	0.000	0.2 %	1.0000	Yes
Albite low	Na(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	Calculated	0.25 %	0.660	0.000	0.3 %	1.0000	Yes

B) Relatório resultante da análise de DRX.



A) Difractograma aspeto geral; B) Difractograma ampliação.

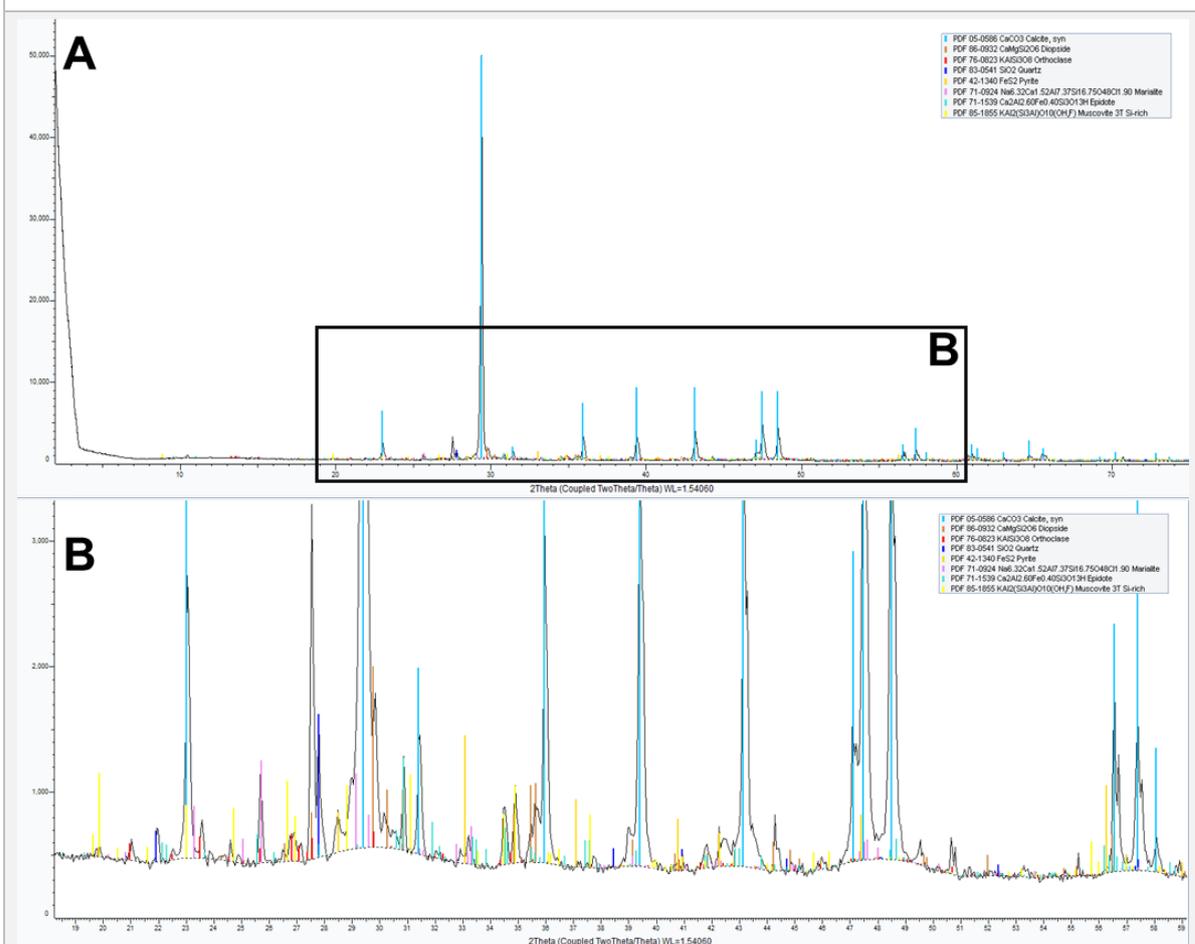
**C**

Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			1	PDF 05-0586	Pattern List #1	BARB_18_MA.brml #1	PDF 05-0586
Yes			2	PDF 76-0824	Pattern List #1	BARB_18_MA.brml #1	PDF 76-0824
Yes			3	PDF 31-1279	Pattern List #1	BARB_18_MA.brml #1	PDF 31-1279
Yes			4	PDF 86-0932	Pattern List #1	BARB_18_MA.brml #1	PDF 86-0932
Yes			5	PDF 09-0466	Pattern List #1	BARB_18_MA.brml #1	PDF 09-0466
Yes			6	PDF 85-1092	Pattern List #1	BARB_18_MA.brml #1	PDF 85-1092

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q
Calcite, syn	CaCO <sub>3</sub>	Star (*)	95.13 %	2.000	0.000	22.5 %
Orthoclase	K <sub>931</sub> Na <sub>0.055</sub> Ca <sub>0.009</sub> Ba <sub>0.005</sub> Al <sub>0.97</sub> Si <sub>3.03</sub> O <sub>8</sub>	Calculated	21.97 %	0.590	0.000	17.6 %
Marialite	(Na,Ca) <sub>2</sub> (Si,Al) <sub>6</sub> (O,OH) <sub>12</sub> (Cl,CO <sub>3</sub> ) <sub>0.5</sub>	Indexed	50.94 %	(1)	0.000	24.1 %
Diopside	CaMgSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	Calculated	65.09 %	1.160	0.000	26.6 %
Albite, ordered	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Star (*)	24.38 %	2.100	0.000	5.5 %
Vesuvianite	Ca <sub>10</sub> Al <sub>4</sub> (MgFe)Si <sub>9</sub> O <sub>34</sub> (OH) <sub>4</sub>	Calculated	6.20 %	0.810	0.000	3.6 %

C) Relatório resultante da análise de DRX.

MON-1



A) Difractograma aspeto geral; B) Difractograma ampliação.

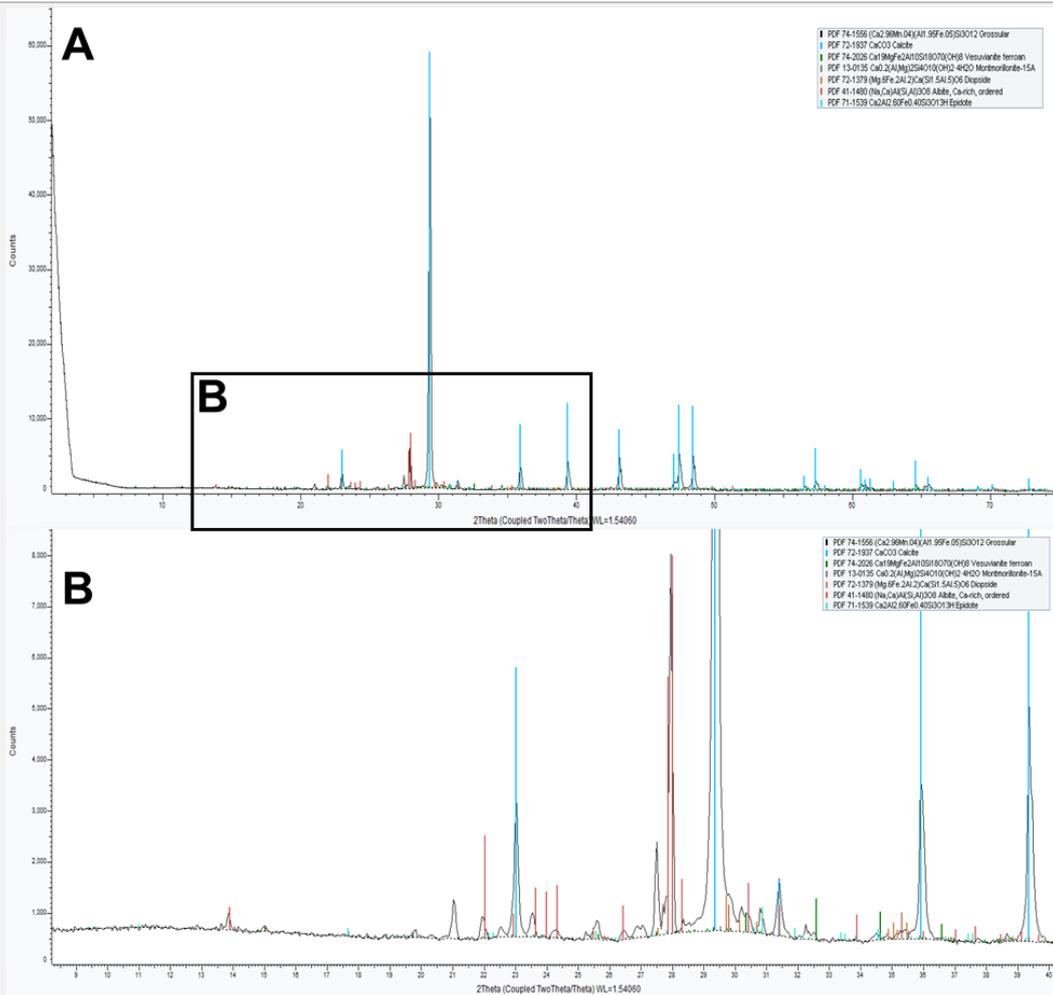
C

Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			1	PDF 05-0586	Pattern List #1	Mon_1_MA.brml #1	PDF 05-0586
Yes			2	PDF 86-0932	Pattern List #1	Mon_1_MA.brml #1	PDF 86-0932
Yes			3	PDF 76-0823	Pattern List #1	Mon_1_MA.brml #1	PDF 76-0823
Yes			4	PDF 83-0541	Pattern List #1	Mon_1_MA.brml #1	PDF 83-0541
Yes			5	PDF 42-1340	Pattern List #1	Mon_1_MA.brml #1	PDF 42-1340
Yes			6	PDF 71-0924	Pattern List #1	Mon_1_MA.brml #1	PDF 71-0924
Yes			7	PDF 71-1539	Pattern List #1	Mon_1_MA.brml #1	PDF 71-1539
Yes			8	PDF 85-1855	Pattern List #1	Mon_1_MA.brml #1	PDF 85-1855

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q
Calcite, syn	CaCO3	Star (*)	99.82 %	2.000	0.000	81.8 %
Diopside	CaMgSi2O6	Calculated	2.90 %	1.160	0.000	4.1 %
Orthoclase	KAlSi3O8	Calculated	0.44 %	0.630	0.000	1.1 %
Quartz	SiO2	Calculated	2.30 %	2.880	0.000	1.3 %
Pyrite	FeS2	Star (*)	2.05 %	1.600	0.000	2.1 %
Marialite	Na6.32Ca1.52Al7.37Si16.75O48Cl1.90	Calculated	1.65 %	1.290	0.000	2.1 %
Epidote	Ca2Al2.60Fe0.40Si3O13H	Calculated	1.48 %	0.820	0.000	3.0 %
Muscovite 3T Si-rich	KAl2(Si3Al)O10(OH,F)	Calculated	1.35 %	0.500	0.000	4.4 %

C) Relatório resultante da análise de DRX.

MONF-2



A) Difractograma aspeto geral; B) Difractograma ampliação.

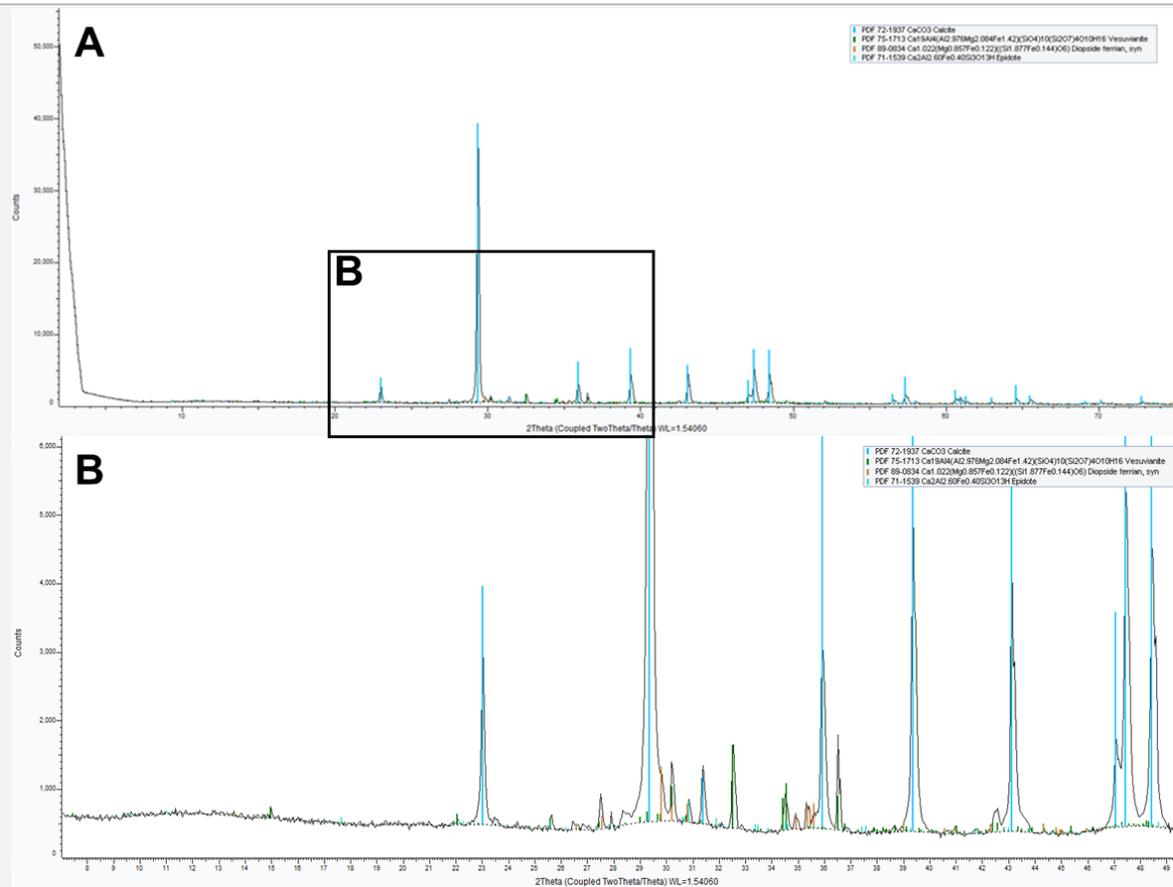
C

Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			1	PDF 74-1556	Pattern List #1	Monf_2_MA.brml #1	PDF 74-1556
Yes			2	PDF 72-1937	Pattern List #1	Monf_2_MA.brml #1	PDF 72-1937
Yes			3	PDF 74-2026	Pattern List #1	Monf_2_MA.brml #1	PDF 74-2026
Yes			4	PDF 13-0135	Pattern List #1	Monf_2_MA.brml #1	PDF 13-0135
Yes			5	PDF 72-1379	Pattern List #1	Monf_2_MA.brml #1	PDF 72-1379
Yes			6	PDF 41-1480	Pattern List #1	Monf_2_MA.brml #1	PDF 41-1480
Yes			7	PDF 71-1539	Pattern List #1	Monf_2_MA.brml #1	PDF 71-1539

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q
Grossular	(Ca <sub>2.96</sub> Mn <sub>0.04</sub> )(Al <sub>1.95</sub> Fe <sub>0.05</sub> )Si <sub>3</sub> O <sub>12</sub>	Calculated	0.07 %	2.340	0.000	0.1 %
Calcite	CaCO <sub>3</sub>	Calculated	100.09 %	3.270	0.000	65.8 %
Vesuvianite ferroan	Ca <sub>19</sub> MgFe <sub>2</sub> Al <sub>10</sub> Si <sub>18</sub> O <sub>70</sub> (OH) <sub>8</sub>	Calculated	1.37 %	0.820	0.000	3.6 %
Montmorillonite-15A	Ca <sub>0.2</sub> (Al,Mg) <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	Blank	0.23 %	(1)	0.000	0.5 %
Diopside	(Mg <sub>0.6</sub> Fe <sub>0.2</sub> Al <sub>0.2</sub> )Ca(Si <sub>1.5</sub> Al <sub>0.5</sub> )O <sub>6</sub>	Calculated	1.20 %	1.240	0.000	2.1 %
Albite, ordered	Ca-rich, (Na,Ca)Al(Si,Al) <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Indexed	12.66 %	1.060	0.000	25.7 %
Epidote	Ca <sub>2</sub> Al <sub>2.60</sub> Fe <sub>0.40</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>13</sub> H	Calculated	0.88 %	0.820	0.000	2.3 %

C) Relatório resultante da análise de DRX.

MONF-3



A) Difractograma aspeto geral; B) Difractograma ampliação.

C

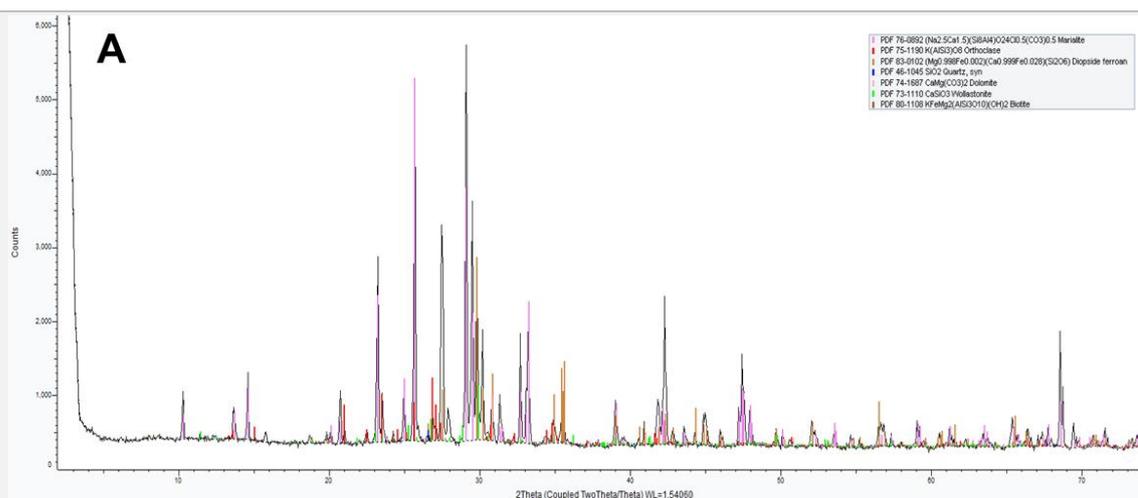
Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			1	PDF 72-1937	Pattern List #1	Monf_3_MA.brml #1	PDF 72-1937
Yes			2	PDF 75-1713	Pattern List #1	Monf_3_MA.brml #1	PDF 75-1713
Yes			3	PDF 89-0834	Pattern List #1	Monf_3_MA.brml #1	PDF 89-0834
Yes			4	PDF 71-1539	Pattern List #1	Monf_3_MA.brml #1	PDF 71-1539

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB
Calcite	CaCO <sub>3</sub>	Calculated	99.68 %	3.270
Vesuvianite	Ca <sub>19</sub> Al <sub>4</sub> (Al <sub>2</sub> .976Mg <sub>2</sub> .084Fe <sub>1.42</sub> )(SiO <sub>4</sub> ) <sub>10</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	Calculated	3.12 %	0.470
Diopside ferrian, syn	Ca <sub>1.022</sub> (Mg <sub>0.857</sub> Fe <sub>0.122</sub> )(Si <sub>1.877</sub> Fe <sub>0.144</sub> )O <sub>6</sub>	Calculated	2.03 %	1.300
Epidote	Ca <sub>2</sub> Al <sub>2.60</sub> Fe <sub>0.40</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>13</sub> H	Calculated	0.79 %	0.820

I/Ic User	S-Q	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group
0.000	76.9 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Rhombo.H.axes	R-3c (167)
0.000	16.7 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Tetragonal	P4/n (85)
0.000	3.9 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Monoclinic	C2/c (15)
0.000	2.4 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Monoclinic	P21/m (11)

C) Relatório resultante da análise de DRX.

## BARB-15



A) Difractograma aspeto geral

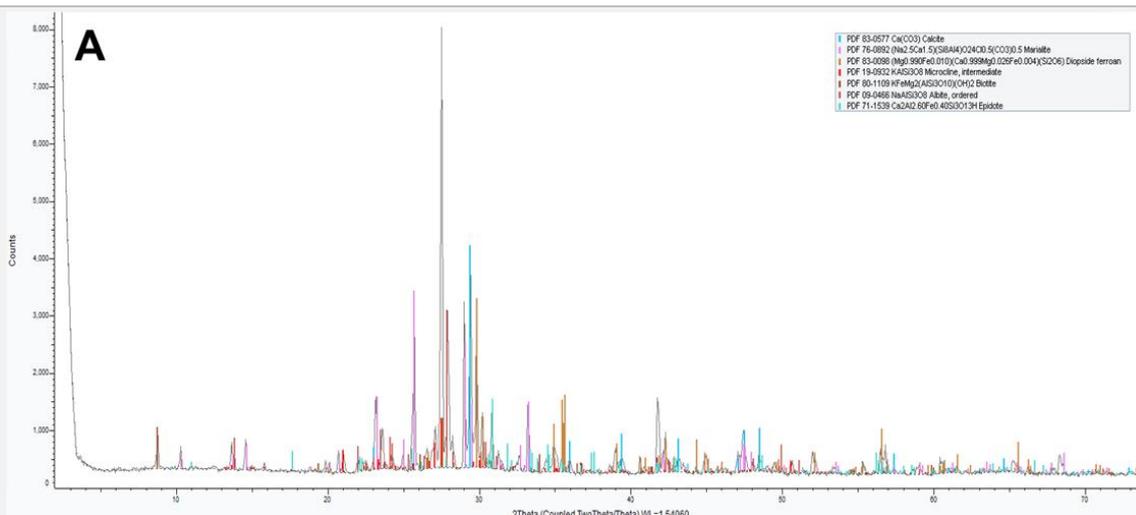
**B**

Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			1	PDF 76-0892	Pattern List #1	BARB_15_MA.brml #1	PDF 76-0892
Yes			2	PDF 75-1190	Pattern List #1	BARB_15_MA.brml #1	PDF 75-1190
Yes			3	PDF 83-0102	Pattern List #1	BARB_15_MA.brml #1	PDF 83-0102
Yes			4	PDF 46-1045	Pattern List #1	BARB_15_MA.brml #1	PDF 46-1045
Yes			5	PDF 74-1687	Pattern List #1	BARB_15_MA.brml #1	PDF 74-1687
Yes			6	PDF 73-1110	Pattern List #1	BARB_15_MA.brml #1	PDF 73-1110
Yes			7	PDF 80-1108	Pattern List #1	BARB_15_MA.brml #1	PDF 80-1108

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q
Marialite	(Na <sub>2.5</sub> Ca <sub>1.5</sub> )(Si <sub>8</sub> Al <sub>4</sub> )O <sub>24</sub> Cl <sub>0.5</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>0.5</sub>	Calculated	91.69 %	1.290	0.000	45.9 %
Orthoclase	K(AlSi <sub>3</sub> )O <sub>8</sub>	Calculated	15.92 %	0.680	0.000	15.1 %
Diopside ferroan	(Mg <sub>0.998</sub> Fe <sub>0.002</sub> )(Ca <sub>0.999</sub> Fe <sub>0.028</sub> )(Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> )	Calculated	46.11 %	1.180	0.000	25.2 %
Quartz, syn	SiO <sub>2</sub>	Star (*)	2.71 %	3.410	0.000	0.5 %
Dolomite	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Calculated	11.38 %	2.790	0.000	2.6 %
Wollastonite	CaSiO <sub>3</sub>	Calculated	13.63 %	0.870	0.000	10.1 %
Biotite	KFeMg <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>2</sub>	Calculated	1.14 %	1.330	0.000	0.6 %

C) Relatório resultante da análise de DRX.

BARB-16



A) Difractograma aspeto geral;

B

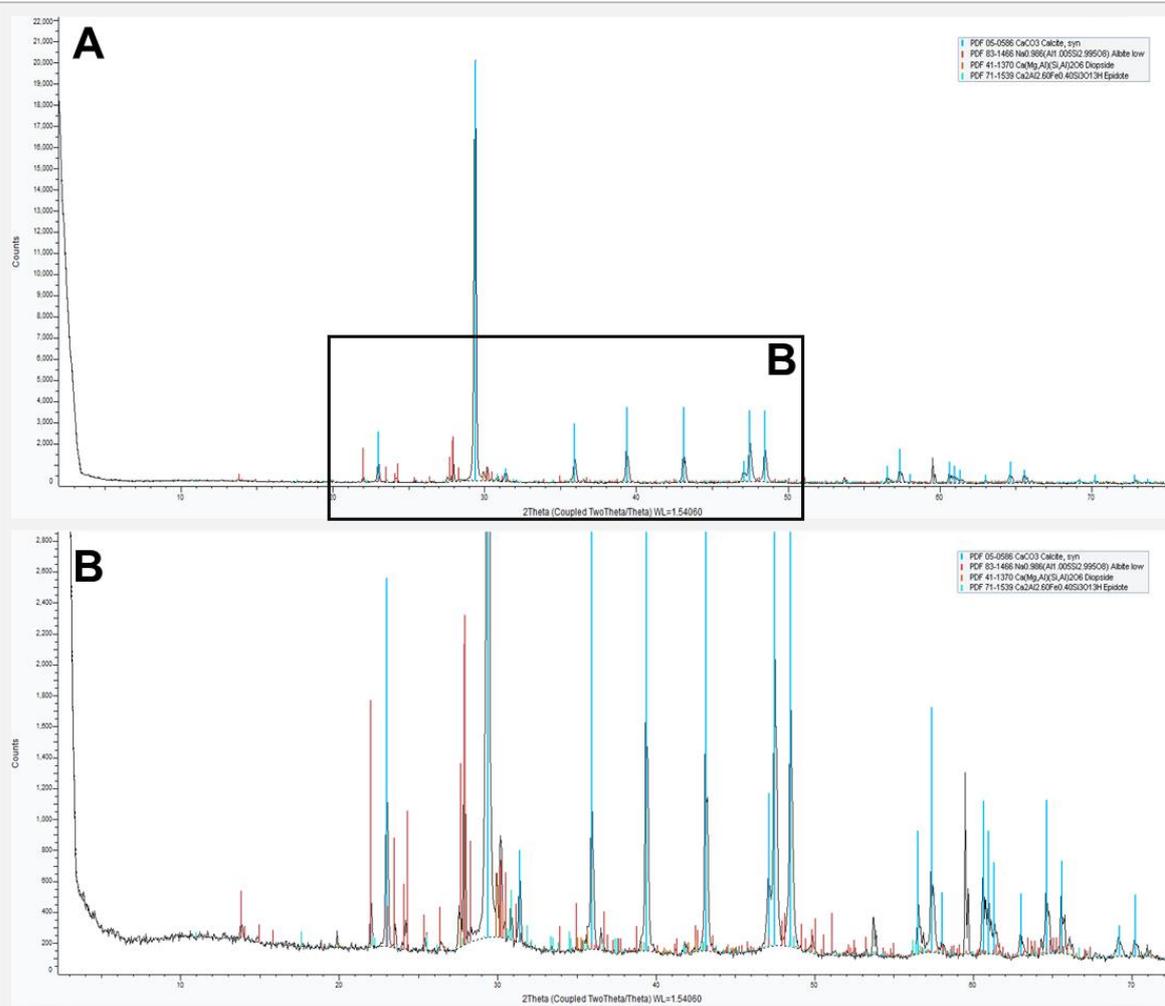
Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			1	PDF 83-0577	Pattern List #1	BARB_16_MA.brml #1	PDF 83-0577
Yes			2	PDF 76-0892	Pattern List #1	BARB_16_MA.brml #1	PDF 76-0892
Yes			3	PDF 83-0098	Pattern List #1	BARB_16_MA.brml #1	PDF 83-0098
Yes			4	PDF 19-0932	Pattern List #1	BARB_16_MA.brml #1	PDF 19-0932
Yes			5	PDF 80-1109	Pattern List #1	BARB_16_MA.brml #1	PDF 80-1109
Yes			6	PDF 09-0466	Pattern List #1	BARB_16_MA.brml #1	PDF 09-0466
Yes			7	PDF 71-1539	Pattern List #1	BARB_16_MA.brml #1	PDF 71-1539

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User
Calcite	Ca(CO <sub>3</sub> )	Calculated	50.37 %	3.210	0.000
Marialite	(Na <sub>2.5</sub> Ca <sub>1.5</sub> )(Si <sub>8</sub> Al <sub>4</sub> )O <sub>24</sub> Cl <sub>0.5</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>0.5</sub>	Calculated	40.62 %	1.290	0.000
Diopside ferroan	(Mg <sub>0.990</sub> Fe <sub>0.010</sub> )(Ca <sub>0.999</sub> Mg <sub>0.026</sub> Fe <sub>0.004</sub> )(Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> )	Calculated	38.32 %	1.150	0.000
Microcline, intermediate	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Indexed	11.31 %	(1)	0.000
Biotite	KFeMg <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>2</sub>	Calculated	9.26 %	1.390	0.000
Albite, ordered	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Star (*)	35.71 %	2.100	0.000
Epidote	Ca <sub>2</sub> Al <sub>2.60</sub> Fe <sub>0.40</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>13</sub> H	Calculated	15.63 %	0.820	0.000

S-Q	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group	a
11.7 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Rhombo.H.axes	R-3c (167)	4.98870 Å
23.4 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Tetragonal	P4 <sub>2</sub> /n (86)	12.08170 Å
24.8 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Monoclinic	C2/c (15)	9.74640 Å
8.4 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Triclinic	C-1 (2)	8.56000 Å
4.9 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Monoclinic	C2/m (12)	5.34500 Å
12.6 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Triclinic	C-1 (2)	8.14400 Å
14.2 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Monoclinic	P2 <sub>1</sub> /m (11)	8.88020 Å

C) Relatório resultante da análise de DRX.

BARB-17



A) Difractograma aspeto geral; B) Difractograma ampliação.

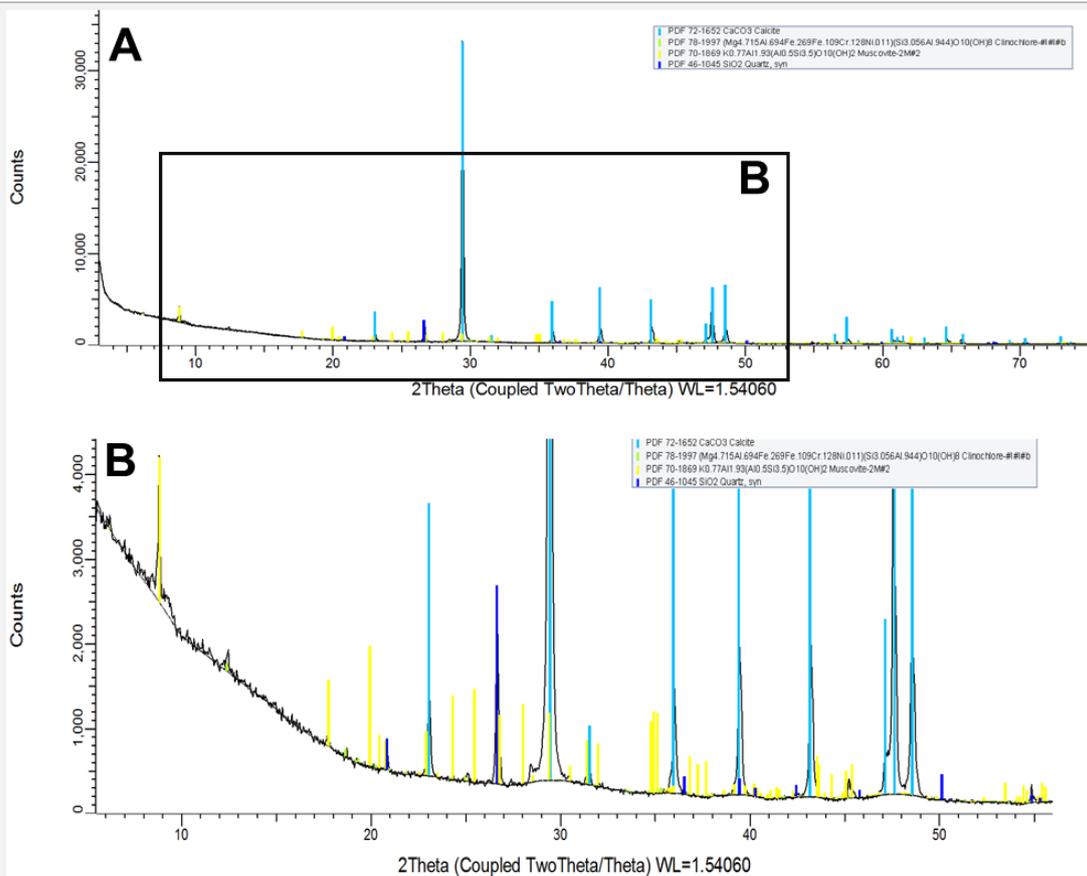
C

Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			1	PDF 05-0586	Pattern List #1	BARB_17_MA.brml #1	PDF 05-0586
Yes			2	PDF 83-1466	Pattern List #1	BARB_17_MA.brml #1	PDF 83-1466
Yes			3	PDF 41-1370	Pattern List #1	BARB_17_MA.brml #1	PDF 41-1370
Yes			4	PDF 71-1539	Pattern List #1	BARB_17_MA.brml #1	PDF 71-1539

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q	d x by
Calcite, syn	CaCO3	Star (*)	99.72 %	2.000	0.000	70.0 %	1.0000
Albite low	Na0.986(Al1.005Si2.995O8)	Calculated	10.73 %	0.640	0.000	23.5 %	1.0000
Diopside	Ca(Mg,Al)(Si,Al)2O6	Star (*)	2.07 %	0.800	0.000	3.6 %	1.0000
Epidote	Ca2Al2.60Fe0.40Si3O13H	Calculated	1.61 %	0.820	0.000	2.8 %	1.0000

C) Relatório resultante da análise de DRX.

MONF-6



A) Difractograma aspeto geral; B) Difractograma ampliação.

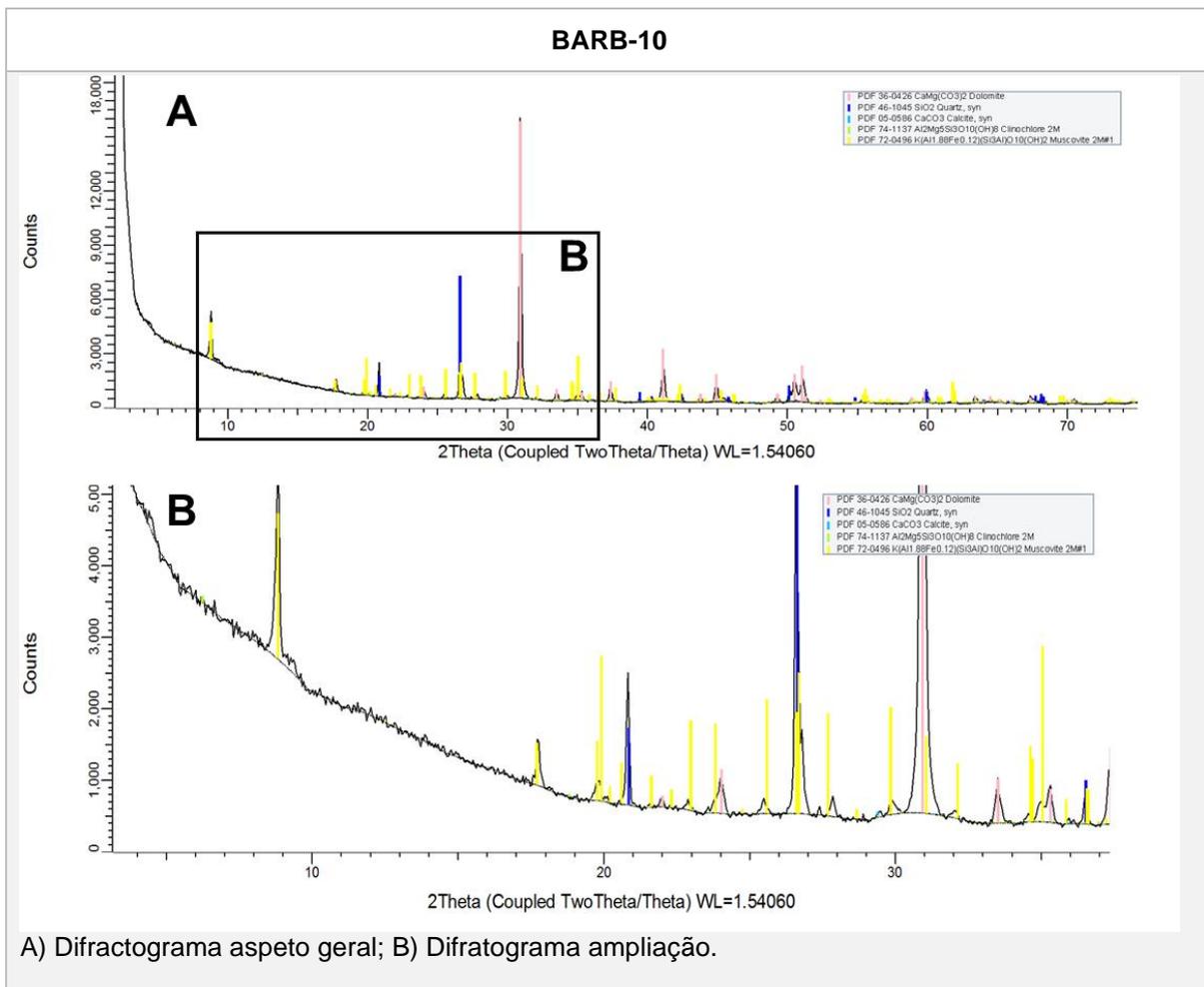
C

Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			1	PDF 72-1652	Pattern List #1	Monf_6_MA.brml #1	PDF 72-1652
Yes			2	PDF 78-1997	Pattern List #1	Monf_6_MA.brml #1	PDF 78-1997
Yes			3	PDF 70-1869	Pattern List #1	Monf_6_MA.brml #1	PDF 70-1869
Yes			4	PDF 46-1045	Pattern List #1	Monf_6_MA.brml #1	PDF 46-1045

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB
Calcite	CaCO3	Calculated	99.80 %	3.200
Clinocllore-##I##B	(Mg4.715Al.694Fe.269Fe.109Cr.128Ni.011)(Si3.056Al.944)O10(OH)8	Calculated	0.30 %	0.670
Muscovite-2M#2	K0.77Al1.93(Al0.5Si3.5)O10(OH)2	Calculated	5.22 %	0.450
Quartz_syn	SiO2	Star (*)	7.12 %	3.410

I/Ic User	S-Q	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group
0.000	68.8 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Rhombo.H.axes	R-3c (167)
0.000	1.0 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Triclinic	C-1 (2)
0.000	25.6 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Monoclinic	C2/c (15)
0.000	4.6 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Hexagonal	P3221 (154)

C) Relatório resultante da análise de DRX.



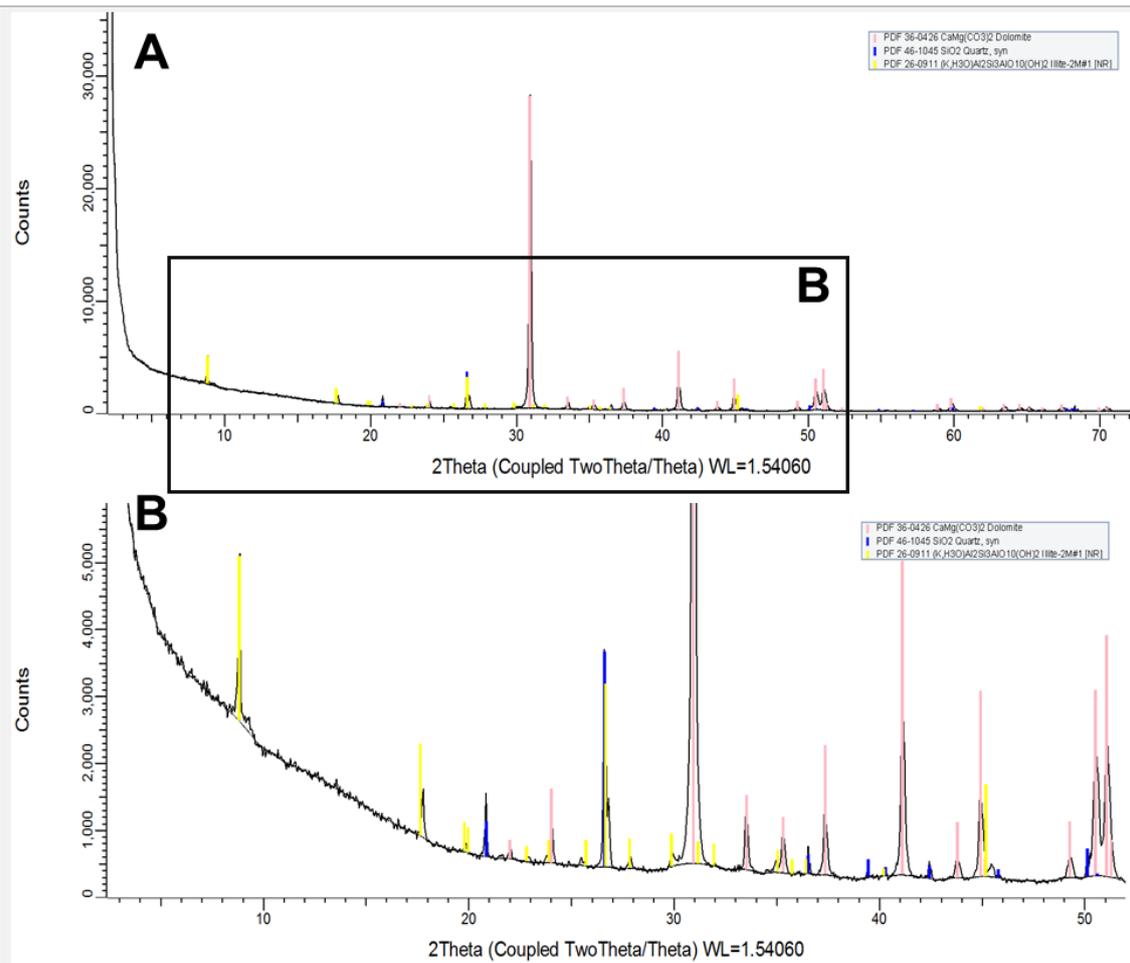
**C**

Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			1	PDF 36-0426	Pattern List #1	BARB_10_MA.brml #1	PDF 36-0426
Yes			2	PDF 46-1045	Pattern List #1	BARB_10_MA.brml #1	PDF 46-1045
Yes			3	PDF 05-0586	Pattern List #1	BARB_10_MA.brml #1	PDF 05-0586
Yes			4	PDF 74-1137	Pattern List #1	BARB_10_MA.brml #1	PDF 74-1137
Yes			5	PDF 72-0496	Pattern List #1	BARB_10_MA.brml #1	PDF 72-0496

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q	d x by
Dolomite	CaMg(CO3)2	Star (*)	98.84 %	(1)	0.000	65.5 %	1.0000
Quartz, syn	SiO2	Star (*)	43.67 %	3.410	0.000	8.5 %	1.0000
Calcite, syn	CaCO3	Star (*)	0.54 %	2.000	0.000	0.2 %	1.0000
Clinocllore 2M	Al2Mg5Si3O10(OH)8	Calculated	0.57 %	0.990	0.000	0.4 %	1.0000
Muscovite 2M#1	K(Al1.88Fe0.12)(Si3Al)O10(OH)2	Calculated	15.79 %	0.410	0.000	25.5 %	1.0000

C) Relatório resultante da análise de DRX.

BARB-11



A) Difractograma aspeto geral; B) Difractograma ampliação.

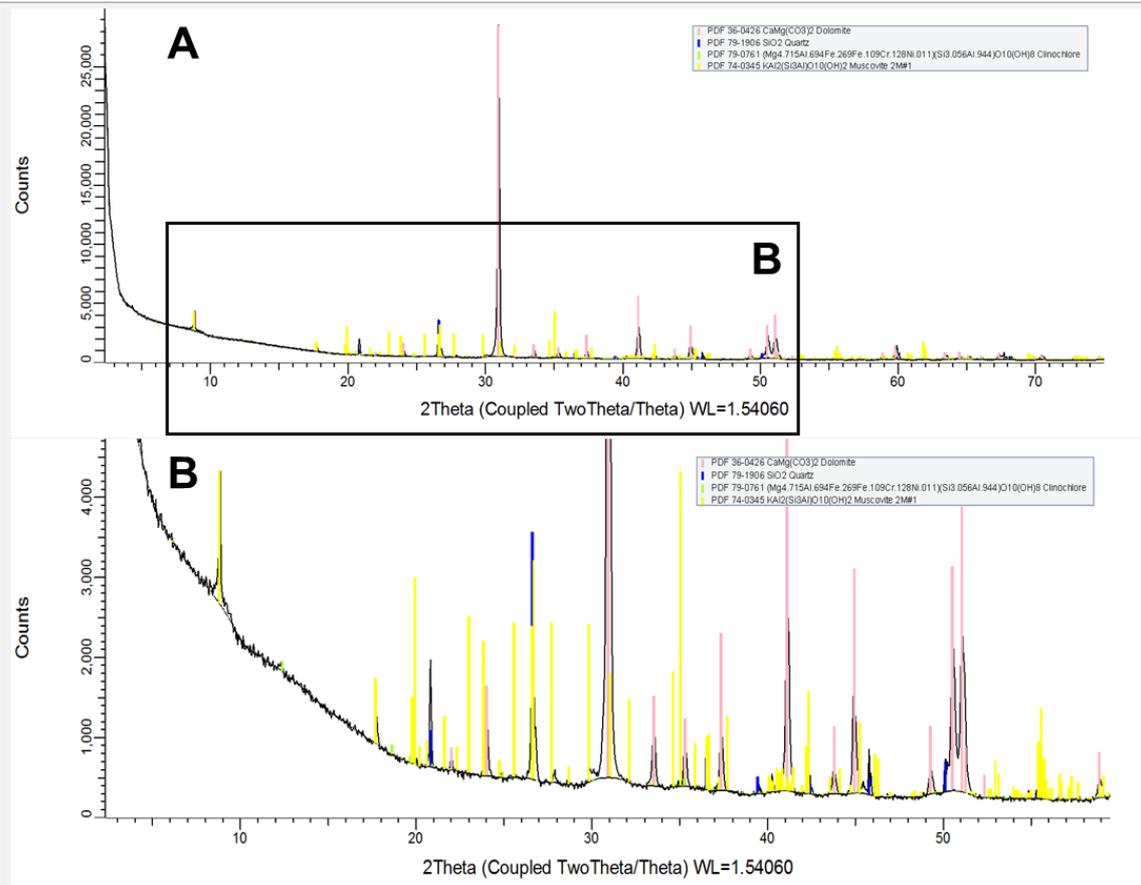
C

Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			1	PDF 36-0426	Pattern List #1	BARB_11_MA.brml #1	PDF 36-0426
Yes			2	PDF 46-1045	Pattern List #1	BARB_11_MA.brml #1	PDF 46-1045
Yes			3	PDF 26-0911	Pattern List #1	BARB_11_MA.brml #1	PDF 26-0911

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q	d x by	Scan WL
Dolomite	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Star (*)	99.61 %	(1)	0.000	88.3 %	1.0000	Yes
Quartz, syn	SiO <sub>2</sub>	Star (*)	11.59 %	3.410	0.000	3.0 %	1.0000	Yes
Illite-2M#1 [NR]	(K,H <sub>3</sub> O)Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> AlO <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	Indexed	9.85 %	(1)	0.000	8.7 %	1.0000	Yes

C) Relatório resultante da análise de DRX.

BARB-12



A) Difractograma aspeto geral; B) Difractograma ampliação.

C

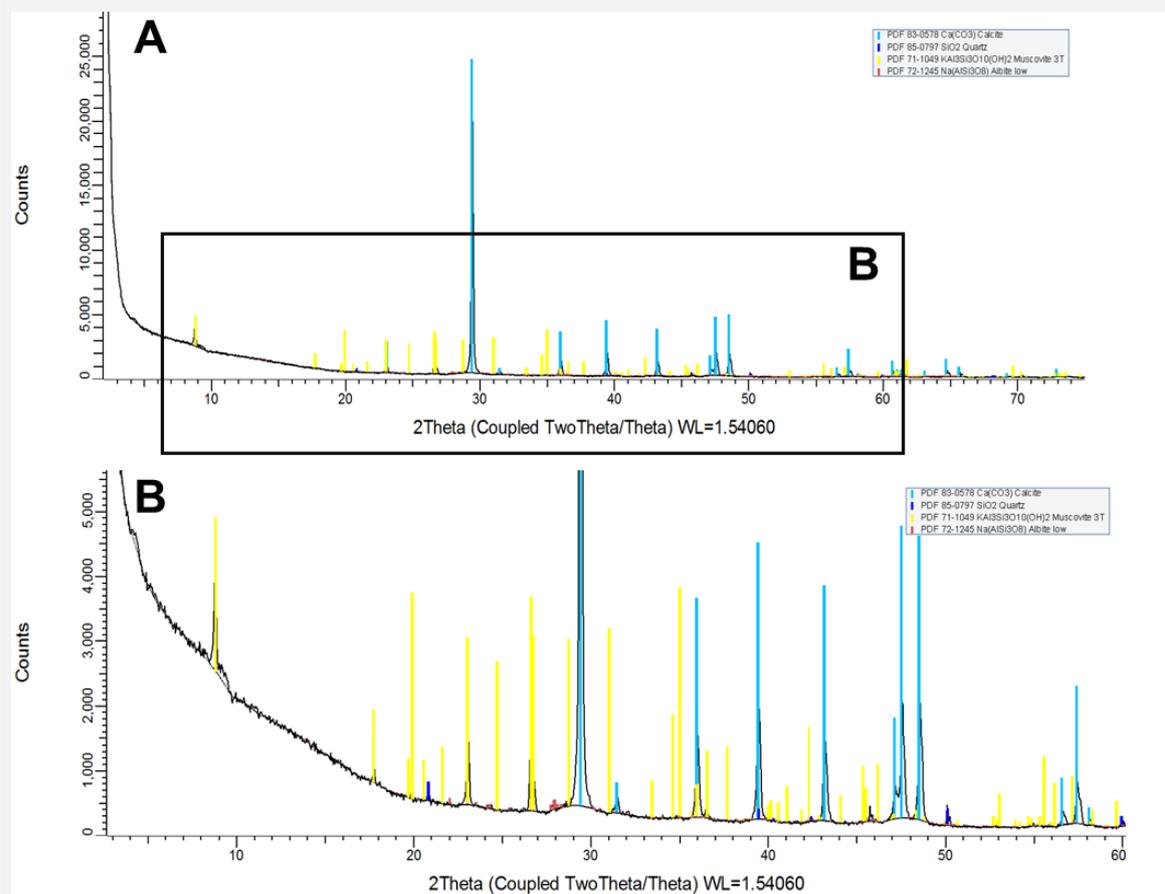
Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			1	PDF 36-0426	Pattern List #1	BARB_12_MA.brml #1	PDF 36-0426
Yes			2	PDF 79-1906	Pattern List #1	BARB_12_MA.brml #1	PDF 79-1906
Yes			3	PDF 79-0761	Pattern List #1	BARB_12_MA.brml #1	PDF 79-0761
Yes			4	PDF 74-0345	Pattern List #1	BARB_12_MA.brml #1	PDF 74-0345

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB
Dolomite	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Star (*)	99.93 %	(1)
Quartz	SiO <sub>2</sub>	Calculated	10.97 %	4.750
Clinocllore	(Mg <sub>4.715</sub> Al <sub>6.94</sub> Fe <sub>2.69</sub> Fe <sub>1.09</sub> Cr <sub>1.28</sub> Ni <sub>0.011</sub> )(Si <sub>3.056</sub> Al <sub>9.44</sub> )O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>	Calculated	0.46 %	0.700
Muscovite 2M#1	KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	Calculated	14.04 %	0.490

I/Ic User	S-Q	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group
0.000	76.0 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Rhombo.H.axes	R-3 (148)
0.000	1.8 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Hexagonal	P3121 (152)
0.000	0.5 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Monoclinic	C2/m (12)
0.000	21.8 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Monoclinic	C2/c (15)

C) Relatório resultante da análise de DRX.

BARB-13



A) Difratograma aspeto geral; B) Difratograma ampliação.

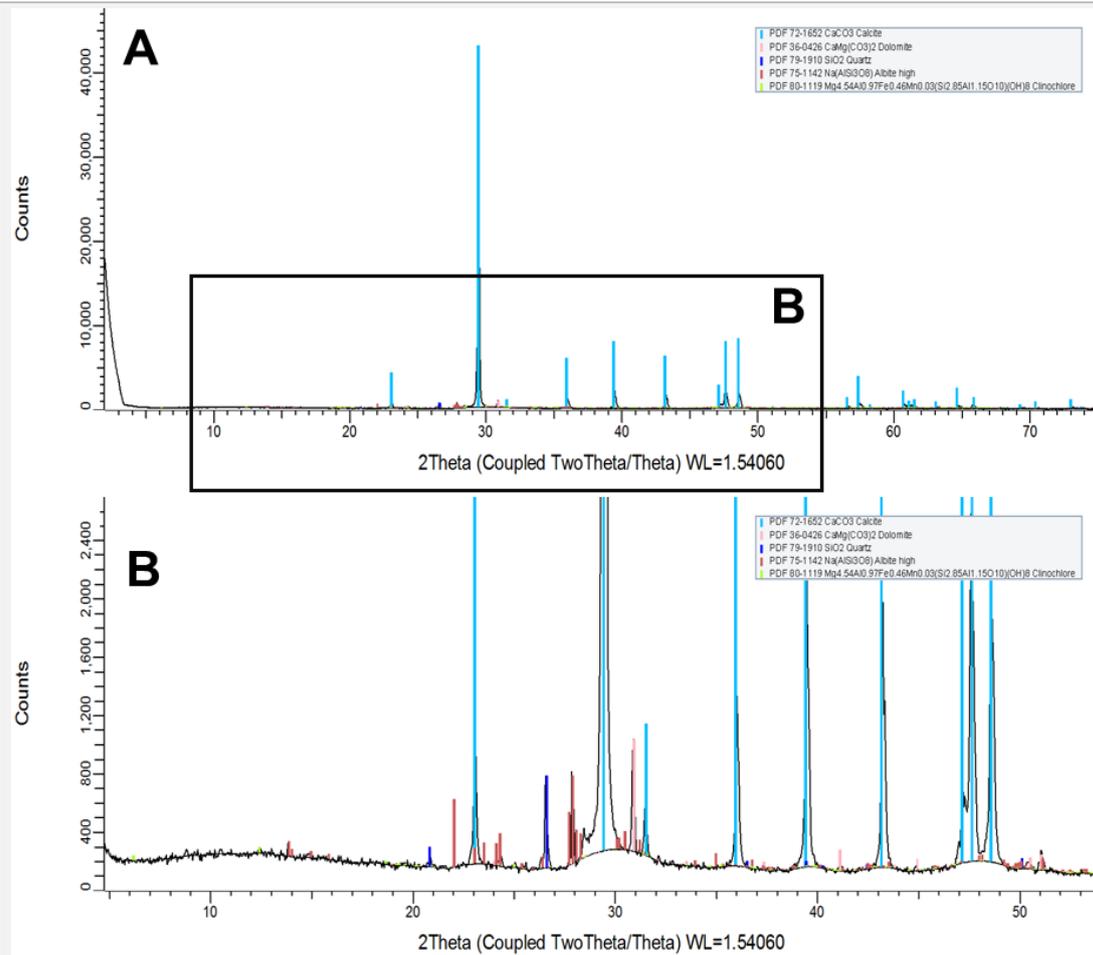
C

Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			1	PDF 83-0578	Pattern List #1	BARB_13_MA.brml #1	PDF 83-0578
Yes			2	PDF 85-0797	Pattern List #1	BARB_13_MA.brml #1	PDF 85-0797
Yes			3	PDF 71-1049	Pattern List #1	BARB_13_MA.brml #1	PDF 71-1049
Yes			4	PDF 72-1245	Pattern List #1	BARB_13_MA.brml #1	PDF 72-1245

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q	d x by	Scan WL
Calcite	Ca(CO <sub>3</sub> )	Calculated	100.55 %	3.210	0.000	53.0 %	1.0000	Yes
Quartz	SiO <sub>2</sub>	Calculated	8.99 %	3.310	0.000	4.6 %	1.0000	Yes
Muscovite 3T	KAl <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	Calculated	14.71 %	0.610	0.000	40.8 %	1.0000	Yes
Albite low	Na(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	Calculated	0.60 %	0.660	0.000	1.6 %	1.0000	Yes

C) Relatório resultante da análise de DRX.

BARB-19



A) Difractograma aspeto geral; B) Difractograma ampliação.

C

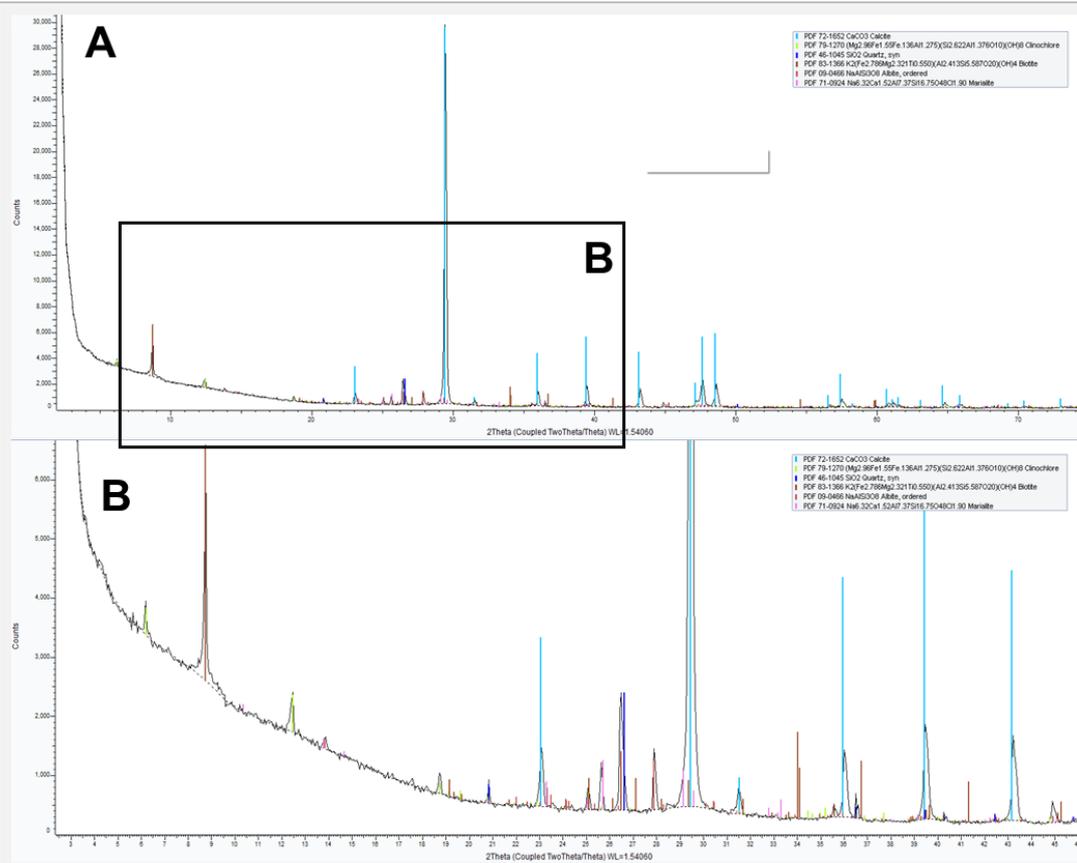
Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			1	PDF 72-1652	Pattern List #1	BARB_19_MA.brml #1	PDF 72-1652
Yes			2	PDF 36-0426	Pattern List #1	BARB_19_MA.brml #1	PDF 36-0426
Yes			3	PDF 79-1910	Pattern List #1	BARB_19_MA.brml #1	PDF 79-1910
Yes			4	PDF 75-1142	Pattern List #1	BARB_19_MA.brml #1	PDF 75-1142
Yes			5	PDF 80-1119	Pattern List #1	BARB_19_MA.brml #1	PDF 80-1119

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User
Calcite	CaCO3	Calculated	100.34 %	3.200	0.000
Dolomite	CaMg(CO3)2	Star (*)	1.79 %	(1)	0.000
Quartz	SiO2	Calculated	1.48 %	3.070	0.000
Albite high	Na(AlSi3O8)	Calculated	1.40 %	0.630	0.000
Clinocllore	Mg4.54Al0.97Fe0.46Mn0.03(Si2.85Al1.15O10)(OH)8	Calculated	0.09 %	0.680	0.000

S-Q	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group	a
87.1 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Rhombo.H.axes	R-3c (167)	4.99000 Å
5.0 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Rhombo.H.axes	R-3 (148)	4.80920 Å
1.3 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Hexagonal	P3121 (152)	4.91400 Å
6.2 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Triclinic	C-1 (2)	8.13800 Å
0.4 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Triclinic	C-1 (2)	5.32500 Å

C) Relatório resultante da análise de DRX.

MONF-7



A) Difractograma aspeto geral; B) Difractograma ampliação.

C

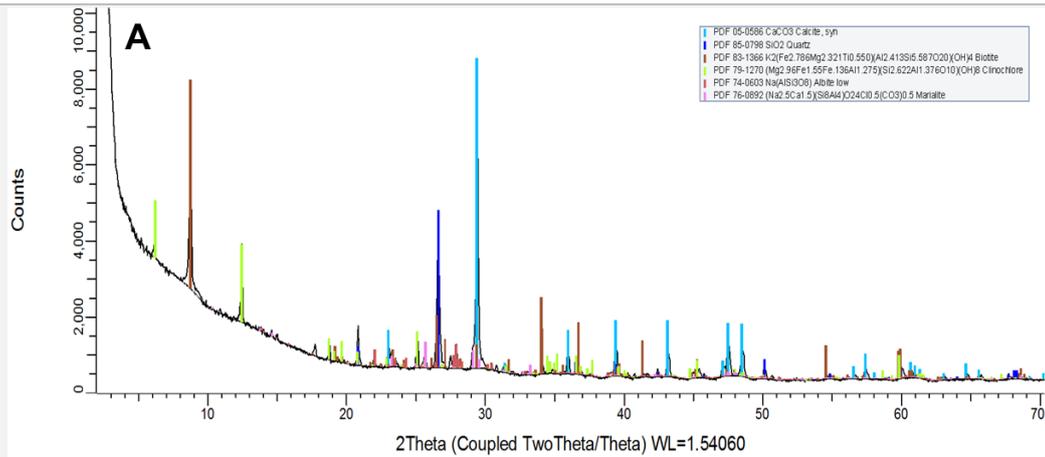
Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			1	PDF 72-1652	Pattern List #1	Monf_7_MA.brml #1	PDF 72-1652
Yes			2	PDF 79-1270	Pattern List #1	Monf_7_MA.brml #1	PDF 79-1270
Yes			3	PDF 46-1045	Pattern List #1	Monf_7_MA.brml #1	PDF 46-1045
Yes			4	PDF 83-1366	Pattern List #1	Monf_7_MA.brml #1	PDF 83-1366
Yes			5	PDF 09-0466	Pattern List #1	Monf_7_MA.brml #1	PDF 09-0466
Yes			6	PDF 71-0924	Pattern List #1	Monf_7_MA.brml #1	PDF 71-0924

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User
Calcite	CaCO3	Calculated	99.32 %	3.200	0.000
Clinocllore	(Mg2.96Fe1.55Fe1.36Al1.275)(Si2.622Al1.376O10)(OH)8	Calculated	2.13 %	1.000	0.000
Quartz, syn	SiO2	Star (*)	6.76 %	3.410	0.000
Biotite	K2(Fe2.786Mg2.321Ti0.550)(Al2.413Si5.587O20)(OH)4	Calculated	13.49 %	1.730	0.000
Albite, ordered	NaAlSi3O8	Star (*)	2.91 %	2.100	0.000
Marialite	Na6.32Ca1.52Al7.37Si16.75O48Cl1.90	Calculated	2.84 %	1.290	0.000

S-Q	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group	a
66.7 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Rhombo.H.axes	R-3c (167)	4.99000 Å
4.6 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Monoclinic	C2/m (12)	5.35000 Å
4.3 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Hexagonal	P3221 (154)	4.91344 Å
16.8 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Monoclinic	C2/c (15)	5.35700 Å
3.0 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Triclinic	C-1 (2)	8.14400 Å
4.7 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Tetragonal	I4/m (87)	12.06000 Å

C) Relatório resultante da análise de DRX.

MONF-8



A) Difractograma aspeto geral; B) Difractograma ampliação.

B

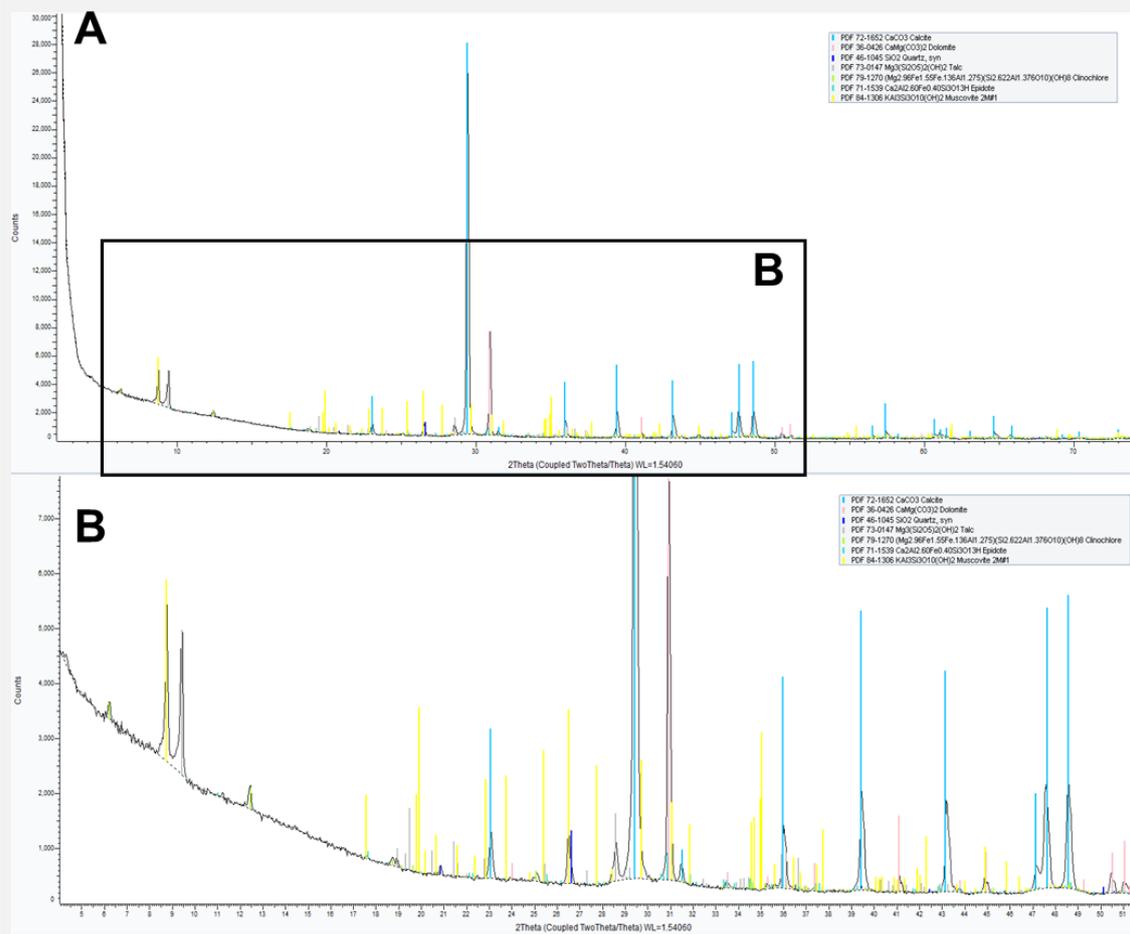
Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			1	PDF 05-0586	Pattern List #1	Monf_8_MA.brml #1	PDF 05-0586
Yes			2	PDF 85-0798	Pattern List #1	Monf_8_MA.brml #1	PDF 85-0798
Yes			3	PDF 83-1366	Pattern List #1	Monf_8_MA.brml #1	PDF 83-1366
Yes			4	PDF 79-1270	Pattern List #1	Monf_8_MA.brml #1	PDF 79-1270
Yes			5	PDF 74-0603	Pattern List #1	Monf_8_MA.brml #1	PDF 74-0603
Yes			6	PDF 76-0892	Pattern List #1	Monf_8_MA.brml #1	PDF 76-0892

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User
Calcite, syn	CaCO <sub>3</sub>	Star (*)	100.40 %	2.000	0.000
Quartz	SiO <sub>2</sub>	Calculated	51.02 %	3.340	0.000
Biotite	K <sub>2</sub> (Fe <sub>2.786</sub> Mg <sub>2.321</sub> Ti <sub>0.550</sub> )(Al <sub>2.413</sub> Si <sub>5.587</sub> O <sub>20</sub> )(OH) <sub>4</sub>	Calculated	67.76 %	1.730	0.000
Clinocllore	(Mg <sub>2.96</sub> Fe <sub>1.55</sub> Fe <sub>1.36</sub> Al <sub>1.275</sub> )(Si <sub>2.622</sub> Al <sub>1.376</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>8</sub>	Calculated	25.21 %	1.000	0.000
Albite low	Na(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	Calculated	7.56 %	0.640	0.000
Marialite	(Na <sub>2.5</sub> Ca <sub>1.5</sub> )(Si <sub>8</sub> Al <sub>4</sub> )O <sub>24</sub> Cl <sub>0.5</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>0.5</sub>	Calculated	8.28 %	1.290	0.000

S-Q	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group	a
33.9 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Rhombo.H.axes	R-3c (167)	4.98900 Å
10.3 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Hexagonal	P3221 (154)	4.91400 Å
26.4 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Monoclinic	C2/c (15)	5.35700 Å
17.0 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Monoclinic	C2/m (12)	5.35000 Å
8.0 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Triclinic	C-1 (2)	8.13800 Å
4.3 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Tetragonal	P42/n (86)	12.08170 Å

C) Relatório resultante da análise de DRX.

MONF-9



A) Difractograma aspeto geral; B) Difractograma ampliação.

C

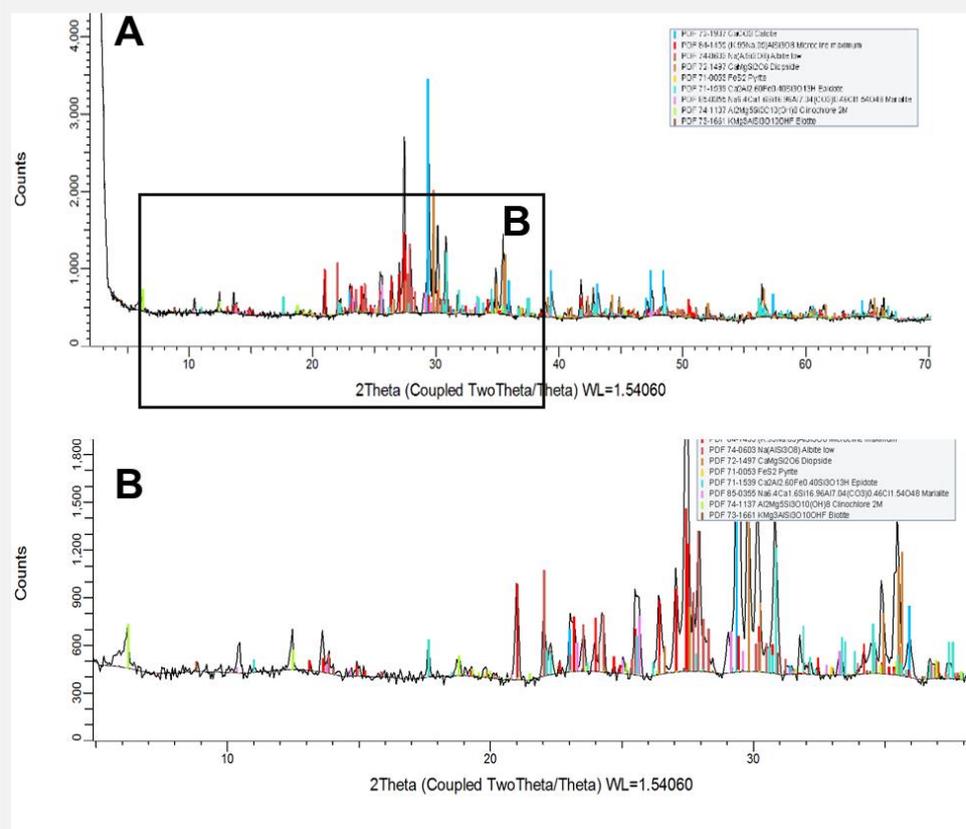
Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			1	PDF 72-1652	Pattern List #1	Monf_9_MA.brml #1	PDF 72-1652
Yes			2	PDF 36-0426	Pattern List #1	Monf_9_MA.brml #1	PDF 36-0426
Yes			3	PDF 46-1045	Pattern List #1	Monf_9_MA.brml #1	PDF 46-1045
Yes			4	PDF 73-0147	Pattern List #1	Monf_9_MA.brml #1	PDF 73-0147
Yes			5	PDF 79-1270	Pattern List #1	Monf_9_MA.brml #1	PDF 79-1270
Yes			6	PDF 71-1539	Pattern List #1	Monf_9_MA.brml #1	PDF 71-1539
Yes			7	PDF 84-1306	Pattern List #1	Monf_9_MA.brml #1	PDF 84-1306

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User
Calcite	CaCO3	Calculated	100.08 %	3.200	0.000
Dolomite	CaMg(CO3)2	Star (*)	26.44 %	(1)	0.000
Quartz, syn	SiO2	Star (*)	3.46 %	3.410	0.000
Talc	Mg3(Si2O5)2(OH)2	Calculated	9.52 %	1.050	0.000
Clinocllore	(Mg2.96Fe1.55Fe.136Al1.275)(Si2.622Al1.376O10)(OH)8	Calculated	1.42 %	1.000	0.000
Epidote	Ca2Al2.60Fe0.40Si3O13H	Calculated	1.74 %	0.820	0.000
Muscovite 2M#1	KAl3Si3O10(OH)2	Calculated	11.95 %	0.370	0.000

S-Q	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group	a
30.2 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Rhombo.H.axes	R-3c (167)	4.99000 Å
25.5 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Rhombo.H.axes	R-3 (148)	4.80920 Å
1.0 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Hexagonal	P3221 (154)	4.91344 Å
8.8 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Triclinic	C-1 (2)	5.29300 Å
1.4 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Monoclinic	C2/m (12)	5.35000 Å
2.0 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Monoclinic	P21/m (11)	8.88020 Å
31.2 %	1.0000	Yes	1.54060 Å	Monoclinic	C2/c (15)	5.18900 Å

C) Relatório resultante da análise de DRX.

BAT-1



A) Difractograma aspeto geral; B) Difractograma ampliação.

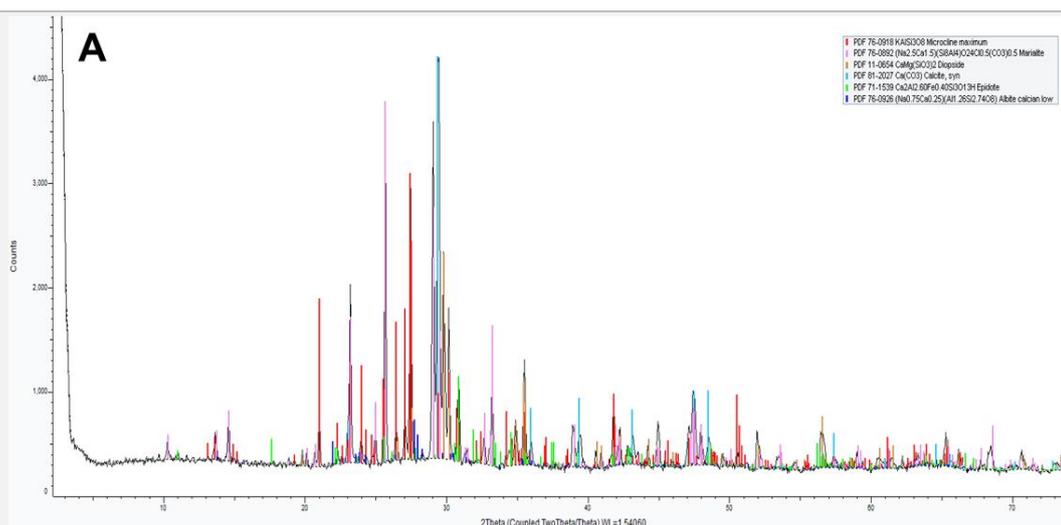
C

Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			1	PDF 72-1937	Pattern List #1	BAT_1_MA.brml #1	PDF 72-1937
Yes			2	PDF 84-1455	Pattern List #1	BAT_1_MA.brml #1	PDF 84-1455
Yes			3	PDF 74-0603	Pattern List #1	BAT_1_MA.brml #1	PDF 74-0603
Yes			4	PDF 72-1497	Pattern List #1	BAT_1_MA.brml #1	PDF 72-1497
Yes			5	PDF 71-0053	Pattern List #1	BAT_1_MA.brml #1	PDF 71-0053
Yes			6	PDF 71-1539	Pattern List #1	BAT_1_MA.brml #1	PDF 71-1539
Yes			7	PDF 85-0355	Pattern List #1	BAT_1_MA.brml #1	PDF 85-0355
Yes			8	PDF 74-1137	Pattern List #1	BAT_1_MA.brml #1	PDF 74-1137
Yes			9	PDF 73-1661	Pattern List #1	BAT_1_MA.brml #1	PDF 73-1661

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q
Calcite	CaCO3	Calculated	99.98 %	3.270	0.000	13.2 %
Microcline maximum	(K,95Na,05)AlSi3O8	Calculated	33.99 %	0.580	0.000	25.3 %
Albite low	Na(AlSi3O8)	Calculated	29.36 %	0.640	0.000	19.8 %
Diopside	CaMgSi2O6	Calculated	52.42 %	1.210	0.000	18.7 %
Pyrite	FeS2	Calculated	1.65 %	2.820	0.000	0.3 %
Epidote	Ca2Al2.60Fe0.40Si3O13H	Calculated	26.24 %	0.820	0.000	13.8 %
Marialite	Na6.4Ca1.6Si16.96Al7.04(CO3)0.46Cl1.54O48	Calculated	12.51 %	1.290	0.000	4.2 %
Clinocllore 2M	Al2Mg5Si3O10(OH)8	Calculated	9.24 %	0.990	0.000	4.0 %
Biotite	KMg3AlSi3O10OHF	Calculated	2.16 %	1.040	0.000	0.9 %

C) Relatório resultante da análise de DRX.

## BAT-2



A) Difractograma aspeto geral; B) Difractograma ampliação.

## B

Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			1	PDF 76-0918	Pattern List #1	BAT_2_MA.brml #1	PDF 76-0918
Yes			2	PDF 76-0892	Pattern List #1	BAT_2_MA.brml #1	PDF 76-0892
Yes			3	PDF 11-0654	Pattern List #1	BAT_2_MA.brml #1	PDF 11-0654
Yes			4	PDF 81-2027	Pattern List #1	BAT_2_MA.brml #1	PDF 81-2027
Yes			5	PDF 71-1539	Pattern List #1	BAT_2_MA.brml #1	PDF 71-1539
Yes			6	PDF 76-0926	Pattern List #1	BAT_2_MA.brml #1	PDF 76-0926

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q
Microcline maximum	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Calculated	71.38 %	0.600	0.000	39.7 %
Marialite	(Na <sub>2.5</sub> Ca <sub>1.5</sub> )(Si <sub>8</sub> Al <sub>4</sub> )O <sub>24</sub> Cl <sub>0.5</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>0.5</sub>	Calculated	89.97 %	1.290	0.000	23.3 %
Diopside	CaMg(SiO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Indexed	51.16 %	1.400	0.000	12.2 %
Calcite, syn	Ca(CO <sub>3</sub> )	Calculated	100.19 %	3.230	0.000	10.4 %
Epidote	Ca <sub>2</sub> Al <sub>2.60</sub> Fe <sub>0.40</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>13</sub> H	Calculated	21.23 %	0.820	0.000	8.6 %
Albite calcian low	(Na <sub>0.75</sub> Ca <sub>0.25</sub> )(Al <sub>1.26</sub> Si <sub>2.74</sub> O <sub>8</sub> )	Calculated	10.02 %	0.580	0.000	5.8 %

C) Relatório resultante da análise de DRX.

## **Anexo VI**

### **Publicações no âmbito da dissertação**



X Congresso Jovens

Investigadores em Geociências, LEG 2020

Livro de Actas  
Abstracts

# X Congresso Jovens Investigadores em Geociências, LEG 2020



**20 a 22.Novembro.2020**  
**Pólo de Estremoz da Universidade de Évora**



# ***Mineralogia das rochas carbonatadas do Setor de Alter do Chão-Elvas; alterações mineralógicas associadas à intrusão do Complexo Plutónico de Santa Eulália (Zona de Ossa-Morena, Portugal)***

*Mineralogy of carbonate rocks in the Alter do Chão-Elvas Sector; mineralogical modification related with the intrusion of the Santa Eulália Plutonic Complex (Ossa-Morena Zone, Portugal)*

L. Andrade<sup>1\*</sup>, J. Pedro<sup>1,2</sup>, N. Moreira<sup>2</sup>, P. Moita<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Geociências da Universidade Évora, Colégio Luís António Verney Rua Romão Ramalho, 59, 7000-671 Évora

<sup>2</sup> Instituto de Ciências da Terra (Pólo de Évora), Colégio Luís António Verney, Rua Romão Ramalho, 59, 7000-671 Évora

<sup>3</sup> Laboratório HERCULES, Palácio do Vimioso, Largo Marquês de Marialva, 8, 7000-809 Évora

\* laura11.and@hotmail.com

**Resumo:** A Formação Carbonatada de Elvas, Setor de Alter do Chão-Elvas, caracteriza-se pela presença de uma espessa sucessão de rochas carbonatadas, sendo intruída pelo Complexo Plutónico de Santa Eulália durante o Carbónico. O objetivo do trabalho é caracterizar a variação mineralógica e textural resultante do metassomatismo associado a esta intrusão. Nos domínios sem evidências macroscópicas de metassomatismo, a mineralogia não carbonatada é composta por quartzo, micas (moscovite e biotite), clorite, plagioclase, escapolite, epidoto e talco, enquanto nas regiões afetadas por metassomatismo a mineralogia não carbonatada é mais diversificada com plagioclase, piroxena (diópsido), epidoto, feldspatos, escapolite, vesuvianite e ainda granada. Esta variação mineralógica permite concluir que o aumento de temperatura e/ou o metassomatismo associado ao Complexo Plutónico de Santa Eulália altera de forma significativa a mineralogia das rochas carbonatadas.

**Palavras-chave:** Formação Carbonatada de Elvas, Setor Alter do Chão-Elvas, Complexo Plutónico de Santa Eulália, metassomatismo

**Abstract:** The Elvas Carbonate Formation, Alter do Chão-Elvas Sector, is characterized of a thick succession of carbonated rocks, intruded by the Santa Eulália Plutonic Complex during the Carboniferous times. This work aims to characterize the mineralogical and textural modification resulting from the metasomatism associated with this plutonic complex. In samples without macroscopic evidence of metasomatism, the non-carbonated mineralogy is composed of quartz, micas (muscovite and biotite), chlorite, plagioclase, scapolite, epidote and talc, while in those affected by metasomatism, the non-carbonated mineralogy is diverse with plagioclase, pyroxene, epidote, feldspars, scapolite, vesuvianite and garnet. The mineralogical variation allows to conclude that the increase of temperature and/or the metasomatism associated with the Santa Eulália Plutonic Complex significantly changes those carbonated rocks.

**Key-words:** Elvas Carbonate Formation, Alter do Chão-Elvas Setor, Santa Eulália Plutonic Complex, metasomatism

## **INTRODUÇÃO**

As rochas carbonatadas da Formação Carbonatada de Elvas (FCE) (Setor de Alter do Chão-Elvas) resultam de um dos quatro episódios de sedimentação marinha descritos na Zona de Ossa Morena (ZOM), nomeadamente do episódio do Câmbrico Inferior (Ovetiano-Marianiano; e.g. Gozalo et al., 2003). Este episódio é o mais bem representado cartograficamente em toda a ZOM, caracterizando-

se por uma espessa sucessão carbonatada, interpretada como resultante dos processos de *rifting* intra-continental associado ao estiramento do bordo norte da Gondwana durante o Paleozóico inferior (Oliveira et al., 1991; Moreira et al., 2019). A sucessão carbonatada caracteriza-se pela predominância de calcários, dolomias e margas, com intercalações de rochas vulcânicas e siliciclásticas subordinadas (Oliveira et al., 1991). Em consequência dos processos tectono-metamórficos e magmáticos variscos, alterações texturais e mineralógicas ocorrem nestas rochas carbonatadas, obliterando em muitos casos as suas características primárias.

O presente trabalho, integrado num trabalho mais amplo com objetivo de caracterização petrográfica e isotópica das rochas carbonatadas da FCE, apresenta os primeiros dados relativos à caracterização textural e mineralógica, bem como das alterações metassomáticas destas rochas carbonatadas resultantes da intrusão de corpos plutónicos posteriores ao episódio de sedimentação carbonatada, nomeadamente o Complexo Plutónico de Santa Eulália (CPSE).

### ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

O Setor de Alter do Chão – Elvas representa um dos setores litoestratigráficos setentrionais da ZOM (Oliveira et al., 1991; Araújo, et al. 2013). Neste setor, a sucessão litoestratigráfica inicia-se com a Formação de Mosteiros (Neoproterozóico), seguindo-se uma sucessão de idade câmbrica; da base para o topo: Conglomerado de Base Câmbrico; FCE; Formação de Vila Boim; Barra Quartzítica; Complexo Vulcano-sedimentar da Terrugem; e Formação de Fatuquedo (Oliveira et al., 1991).

A FCE caracteriza-se por uma sucessão de rochas carbonatadas, geralmente dolomíticas e de textura maciça, sem conteúdo fóssilífero, com espessura na ordem dos 500m (Oliveira et al., 1991). A FCE é considerada equivalente litoestratigráfica das formações de Alconera e Pedroche (Espanha), onde ocorrem fósseis de arqueociatos, estromatólitos e trilobites (e.g. Gozalo et al., 2003; Creveling et al., 2013), permitindo definir a idade destas unidades como sendo Ovetiana-Marianiana - Série 2 do Câmbrico da Tabela Cronostratigráfica Internacional (Gozalo et al., 2003).

A FCE é intruída por corpos plutónicos variscos, de idades compreendidas entre o Câmbrico Superior-Ordovício e o Carbónico (Carrilho Lopes, 2020), entre os quais se destaca o CPSE. O CPSE é um complexo anelar com uma fácies periférica de granito rosa, de grão médio a grosseiro, e uma fácies central de granito monzonítico cinzento, de grão médio a fino (Sant’Ovaia, et al. 2015; Carrilho Lopes, 2020); ambos os granitos apresentam natureza calco-alcalina (Pereira et al., 2017; Roseiro et al., 2019; Carrilho Lopes, 2020). A fácies periférica é intruída por corpos de natureza máfica (Carrilho Lopes, 2020). O CPSE tem idade carbónica (300-305 Ma; Pereira et al., 2017; Roseiro et al., 2019), incluindo-se nos eventos magmáticos tardios do Ciclo Varisco na ZOM (e.g. Moreira et al., 2014).

## FORMAÇÃO CARBONATADA DE ELVAS; CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA

As amostras estudadas da FCE foram sujeitas a estudos petrográficos, apoiados por estudos de difração de Raios-X (Laboratório HERCULES, Universidade de Évora), e subdivididas em dois grupos de acordo com a proximidade ao CPSE: (1) Domínios externos, sem evidências macroscópicas de metassomatismo (10 amostras); (2) Domínios com evidência de metassomatismo (10 amostras).

O Grupo 1 inclui as amostras geograficamente distantes do CPSE; apresentam geralmente elevada proporção de carbonatos (calcite e/ou dolomite; 50 - 90%), e duas representativas de rochas carbonatadas impuras (calcite = 20 - 35%). Os carbonatos apresentam granularidade fina a muito fina (Fig. 1A), com grãos de calcite bem definidos e baixa recristalização (maclas tipo I e II). A mineralogia não carbonatada de todas as amostras do Grupo 1 é composta por quartzo, micas (moscovite e biotite), alguma clorite (geralmente associada à substituição da biotite), plagioclase e mais raramente escapolite, epídoto e talco.

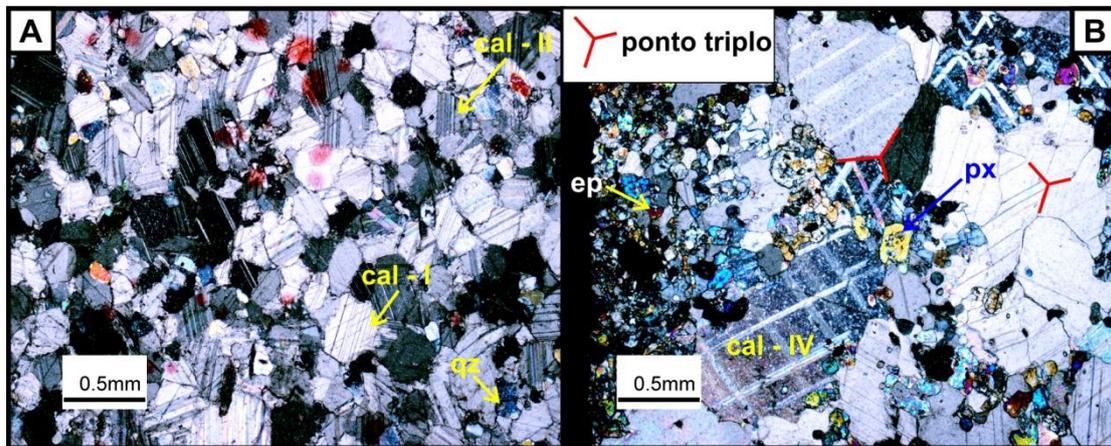


Figura 1 - Fotomicrografias em nicóis cruzados de rochas carbonatadas da FCE - (A) Grupo 1: Essencialmente constituída por calcite (Cal-I) com contornos irregulares e quartzo subordinado. (B) Grupo 2: Essencialmente constituída por calcite (Cal-IV) com evidências de recristalização (pontos triplos), piroxenas e epídoto (abreviaturas: Cal-I calcite com macla tipo I; Cal-II calcite com macla tipo II; qz quartzo; ep- epídoto; px- piroxena; Cal-IV Calcite com macla tipo IV).

O grupo 2, localiza-se na auréola de metamorfismo associada à instalação do CPSE (quer no *Roof Pendant* quer no contacto externo do granito). As amostras são heterogéneas relativamente à proporção em carbonatos, distinguindo-se: (1) rochas carbonatadas ricas em calcite (60 - 90 %; #4) ou dolomite e calcite (85 e 10 %; respetivamente #1); (2) rochas silico - carbonatadas com calcite (10 - 50 %; #4) ou dolomite (<5 %; #1) como fase carbonatada presente. Estas amostras apresentam uma textura granoblástica, de grão médio a grosseiro, evidenciando intensa recristalização e poligonização dos grãos de carbonatos, com abundantes maclas do tipo IV (Fig. 1B). A mineralogia não carbonatada é constituída por quartzo, clorite e micas (moscovite e biotite), associados a plagioclase, piroxena (diópsido), epídoto, feldspatos, escapolite, rara vesuvianite e granada (grossulária).

## DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstram que a mineralogia das rochas carbonatadas da FCE, com evidências de metamorfismo regional de baixo grau (Grupo 1), é modificada nas regiões proximais ao CPSE, com o aparecimento de uma mineralogia diversificada de natureza calco-silicatada (e.g. piroxena, vesuvianite, escapolite, epidoto). Este incremento de silicatos de cálcio na composição mineralógica das rochas carbonatadas (Grupo 2) em direção ao CPSE, pode ser interpretado como resultante do aumento de temperatura ou do processo de metassomatismo associado à instalação deste complexo granítico, o que também está de acordo com as modificações texturais observadas. Os resultados agora obtidos mostram a presença de uma mineralogia silicatada mais diversificada do que a previamente apresentada por Cruz (2013), embora ambos os trabalhos mostrem que o metassomatismo dos litótipos da FCE, associado à instalação do CPSE, diversifica a mineralogia e modifica a textura das rochas carbonatadas previamente atingidas pelo metamorfismo regional.

## Agradecimentos

Este trabalho é financiado por fundos nacionais através da comparticipação financeira da FCT Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P. concedido ao ICT (UIDB/04683/2020). Autores agradecem os contributos dos revisores (Professor Alexandre Araújo e Professora Maria dos Anjos Ribeiro).

## Bibliografia

- ARAÚJO, A., PIÇARRA, J., BORREGO, J. PEDRO, J. OLIVEIRA, T., (2013) – As regiões central e sul da Zona de Ossa-Morena. In: DIAS, R., et al. (Eds.), *Geologia de Portugal*, Escolar Editora, vol. 1: 509-549.
- CARRILHO LOPES, J.C (2020) – Magmatismo Intrusivo no Ciclo Varisco (Alentejo NE, Portugal). Universidade de Évora, 566 p. ISBN:978-972-778-130.
- CREVELING, J.R., FERNÁNDEZ-REMOLAR, D., RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ, M., MENÉNDEZ, S., BERGMANN, K.D., GILL, B.C., ABELSON, J. AMILS, R., EHLMANN, B.L., GARCÍA-BELLIDO, D.C, GROTZINGER, J.P., HALLMANN, C., STACK, K.M., KNOLL, A.H. (2013) – Geobiology of a Lower Cambrian Carbonate Platform, Pedroche Formation, Ossa Morena Zone, Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 386: 459-478.
- CRUZ, C. (2013) – Efeitos metamórficos e fluidos do Complexo Plutónico de Santa Eulália. Tese de Mestrado, Universidade do Porto, 92p.
- GOZALO, R., LIÑÁN, E., PALACIOS, T., GÁMEZ VINTANED, J.A., MAYORAL, E. (2003) – The Cambrian of the Iberian Peninsula: an overview. *Geologica Acta* 1, 103–112.
- MOREIRA, N., ARAÚJO, A., PEDRO, J.C., DIAS, R. (2014) – Evolução geodinâmica da Zona de Ossa-Morena no -contexto do SW Ibérico durante o Ciclo Varisco. *Comunicações Geológicas*, vol. 101(I): 275-278.
- MOREIRA, N., PEDRO, J., SANTOS, J.F., ARAÚJO, A., DIAS, R., RIBEIRO, S., ROMÃO, J., MIRÃO, J. (2019) – <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr applied to age discrimination of the Palaeozoic carbonates of the Ossa-Morena Zone (SW Iberia Variscides). *International Journal of Earth Sciences*, vol. 108(3), 963–987.
- OLIVEIRA, J. T., OLIVEIRA, V., PIÇARRA, J. M. (1991) – Traços gerais da evolução tectono-estratigráfica da Zona de Ossa-Morena, em Portugal. *Cuadernos Lab. Xeolóxico de Laxe*. vol. 16: 221-250.
- PEREIRA, M.F., GAMA, C., RODRIGUEZ, C. (2017) – Coeval interaction between magmas of contrasting composition (Late Carboniferous Early Permian Santa Eulália Monforte massif, Ossa Morena Zone): field relationships and geochronological constraints. *Geologica Acta*, vol. 15(4): 409-428.
- ROSEIRO, J., NOGUEIRA, P., MOREIRA, N. (2019) – Review of the Santa Eulália Plutonic Complex chemistry: Implications for petrogenesis and ore-forming systems. Jornadas do ICT (livro de resumos), Évora, 30p.
- SANT’OVAIA, H., NOGUEIRA, P., CARRILHO LOPES, J., GOMES, C., RIBEIRO, M.A., MARTINS, H.C.B., DÓRIA, A., CRUZ, C., LOPES, L., SARDINHA, R., ROCHA, A., NORONHA, F. (2015) – Building up of a nested granite intrusion: magnetic fabric, gravity modelling and fluid inclusion planes studies in Santa Eulália Plutonic Complex (Ossa Morena Zone, Portugal). *Geological Magazine*, vol. 152(4): 648-667.