

Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Ciências da Terra e da Atmosfera

Área de especialização | Meteorologia e Geofísica

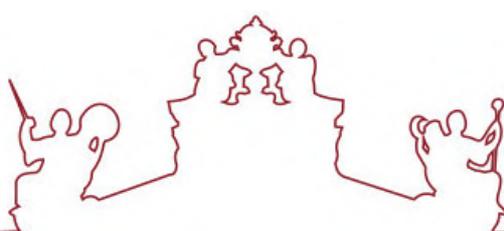
Dissertação

Geofísica e Química Mineral na região de Batigelas, Zona Ossa-Morena. Um caso de estudo de ocorrências de metais básicos no Setor de Alter do Chão - Elvas

Paula Alexandra Afonso Viegas

Orientador(es) | Pedro Miguel Nogueira
José Fernando Borges
João Manuel Xavier de Matos

Évora 2022



Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Ciências da Terra e da Atmosfera

Área de especialização | Meteorologia e Geofísica

Dissertação

Geofísica e Química Mineral na região de Batigelas, Zona Ossa-Morena. Um caso de estudo de ocorrências de metais básicos no Setor de Alter do Chão - Elvas

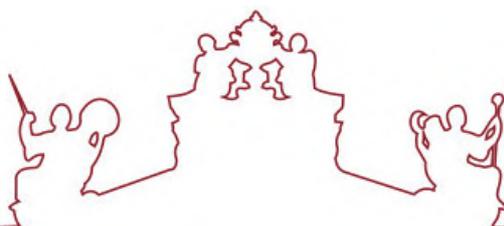
Paula Alexandra Afonso Viegas

Orientador(es) | Pedro Miguel Nogueira

José Fernando Borges

João Manuel Xavier de Matos

Évora 2022



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

Presidente | Rita Maria Fonseca (Universidade de Évora)

Vogais | João Manuel Xavier de Matos (LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia) (Orientador)
Rui Jorge Oliveira (Universidade de Évora) (Arguente)

À minha Família
e à memória de
João Afonso e José Viegas

“... the only way of discovering the limits of the possible is to venture a little way past them into the impossible.”

Arthur C. Clarke

Índice

Índice	I
Índice de figuras	IV
Índice de tabelas	X
Índice de estampas	XI
Abreviaturas, Acrónimos e Siglas	XIII
Resumo	XIV
Abstract	XV
Agradecimentos	XVI
Capítulo 1 - Introdução	2
1.1. Introdução	2
1.2. Estrutura do trabalho	3
Capítulo 2 - Enquadramento	6
2.1. Enquadramento Geográfico	6
2.2. Enquadramento Geológico	7
2.2.1. O Maciço Ibérico	7
2.2.2. A Zona de Ossa-Morena	7
2.2.3. O Setor Alter do Chão - Elvas	9
2.2.4. Região de Cabeço de Vide	12
2.2.4.1. Área de Estudo de Batigelas	14
2.3. Enquadramento Metalogénico	15
2.3.1. A Zona de Ossa-Morena	15
2.3.2. A Faixa Alter do Chão-Elvas	17
2.3.3. Área de Estudo de Batigelas	18
Capítulo 3 - Metodologias	20
3.1. Geologia	20

3.1.1. Trabalhos de campo	20
3.1.1.1. Cartografia	20
3.1.1.2. Amostragem	20
3.1.2. Trabalho laboratorial	21
3.1.2.1. Análise macroscópica e preparação de amostras	21
3.1.2.2. Produção de Superfícies Polidas	22
3.1.2.3. Produção de taliscas para medição de Suscetibilidade Magnética	23
3.1.2.4. Análise metalogénica	23
3.1.2.5. Química mineral	24
3.1.2.5.1. Microscopia eletrónica de varrimento com espectroscopia de dispersão de eletrões (SEM-EDS)	24
3.1.2.5.2. Difração de raios-X	24
3.2. Geofísica	25
3.2.1. Método magnético	25
3.2.1.1. Conceitos básicos	25
3.2.1.2. Campo magnético terrestre	28
3.2.1.3. Tipos de magnetismo	29
3.2.1.4. Aquisição e processamento de dados magnéticos	30
Capítulo 4 - Apresentação de resultados	37
4.1. Estudo metalogénico	37
4.1.1. Arcoses	40
4.1.2. Rochas Calcossilicatadas	42
4.1.3. Rochas Básicas	47
4.1.4. Associação mineral	54
4.1.5. Química mineral	55
4.1.5.1. Rochas Calcossilicatadas	55
4.1.5.2. Rochas Básicas	61
4.1.6. Síntese mineral	81
4.2. Geofísica	84
4.2.1. Suscetibilidade magnética	84

4.2.2. Método magnético	87
4.3. Resultados estruturais	95
Capítulo 5 - Discussão e conclusão	98
5.1. Geologia	98
5.2. Geofísica	100
5.3. Conclusão	103
Capítulo 6 - Trabalhos futuros	105
Referências Bibliográficas	106
Anexos	112
Anexo I - SFM (Cartas - magnética, geoquímica e geológica)	
Anexo II - Rio Narcea (Mapa aeromagnético)	
Anexo III - Fluxograma	
Anexo IV - Tabelas (Dados suscetibilidade magnética e fórmulas químicas de minerais)	
Anexo V - Fotografias dos testemunhos da sondagem SD18	
Anexo VI - Fichas Metalogénicas (Seleção de fichas com análises SEM-EDS incluídas)	
Anexo VII - Mapas geológicos (Localização de cortes geológicos)	
Anexo VIII - Trabalhos publicados (Encontros nacionais)	

Índice de figuras

Capítulo 2 - Enquadramento

- Figura 2.1 - **A:** Localização geográfica da área de estudo (retângulo vermelho); **B:** Região de Cabeço de Vide; **C:** Ortofotografia da região de Batigelas, com localização da sondagem SD18 (estrela). 6
- Figura 2.2 - Setores/Domínios tectono-estratigráficos da Zona de Ossa-Morena (adaptado de Oliveira *et al.*, 1991). 8
- Figura 2.3 - Sequência estratigráfica geral do SACE, sem escala vertical (Adaptado de Oliveira *et al.*, 1991). 11
- Figura 2.4 - Geologia geral do SACE (Adaptado de Araújo *et al.*, 2013). 12
- Figura 2.5 - Mapa geológico simplificado do Complexo básico-ultrabásico de Cabeço de Vide, à escala 1:500 000 (adaptado de Gonçalves, 1973a; Sistema de Coordenadas Hayford-Gaus Lisboa IPCC em metros). 13
- Figura 2.6 - Mapa geológico simplificado do Complexo básico-ultrabásico de Cabeço de Vide à escala 1:10 000 (adaptado de Pinto *et al.*, 2006b). Esta imagem não sofreu alterações, pelo que não deve ser considerado o perfil A-B-C. 14
- Figura 2.7 - Mapa geológico simplificado da região de Batigelas, à escala 1:5 000 (adaptado de Peleja, A. & Jardim, J., 1974; Sistema de Coordenadas Hayford-Gaus Lisboa IPCC em metros). 15
- Figura 2.8 - Faixas com potencial mineiro da ZOM em território Português (adaptado de Mateus *et al.*, 2013; digitalização por Pedro Gonçalves - LNEG - Projeto ZOM-3D). 17

Capítulo 3 - Metodologias

- Figura 3.1 - Fluxo magnético entre dois polos de um íman (Adaptado de Kearey *et al.*, 2002). 26
- Figura 3.2 - Percurso realizado na totalidade das 4 campanhas de prospeção magnética na região de Batigelas (Sistema de Coordenadas Hayford-Gaus Lisboa IPCC em metros). 32
- Figura 3.3 - Aquisição de dados com um sensor acoplado a GPS. 33
- Figura 3.4 - **A:** Mapa de anomalias magnéticas com *outliers* em relação à base diurna de Batigelas. Interpolação realizada em MATLAB e mapa produzido em QGIS. **B:** Mapa de anomalias magnéticas após extração de *outliers* em relação à base

diurna de Batigelas. Interpolação realizada em MATLAB e mapa final produzido em QGIS. 35

Figura 3.5 - **A:**Caixa de bigodes com *outliers*. **B:**Caixa de bigodes após extração de *outliers*. 35

Capítulo 4 - Apresentação de resultados

Figura 4.1 - Perfil simplificado da sondagem SD18, com localização das amostras em profundidade. A vermelho estão assinaladas as amostras selecionadas para SEM. 37

Figura 4.2 - Sondagem SD18 (~77m). Rochas Calcossilicatadas, amostra bt#10. 42

Figura 4.3 - Sondagem SD18 (~183m). Rochas Básicas, amostra bt#29. 48

Figura 4.4 - Sondagem SD18 (~221m). Rochas Básicas, amostra bt#34. 48

Figura 4.5 - Associação mineral para os grupos de mineralização de Batigelas.
Py-Pirite; **Ccp**-Calcopirite; **Po**-Pirrotite; **Hem**-Hematite; **Ttn**-Titanite; **Ilm**-Ilmenite; **Mrc**-Marcassite; **Sp**-Esfalerite; **Pn**-Pentlandite; **Gn**-Galena; **Mag**-Magnetite; **Spc**-Espicularite; **Pyrl**-Pirolusite; **Rt**-Rútilo. 54

Figura 4.6 - Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#4_2 (Estampa 2A -Hematite). 55

Figura 4.7 - Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#4_2 (Estampa 2A -Rútilo). 56

Figura 4.8 - Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#4_2 (Estampa 2A -Titanite). 56

Figura 4.9 - **A'**: Imagem de SEM assinalada com ponto de micoanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro (**A**) de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#4_1 (Estampa 2B - Pirite).
B': Imagem de SEM assinalada com ponto de micoanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro (**B**) de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#4_1 (Estampa 2B - Ilmenite). 57

Figura 4.10 - **A:** Mapa composicional combinado para Ca e Fe, com o respetivo espectro de análise composicional (EDS), apara a amostra Bt#44_3 (Estampa 3E - Magnetite).
B: Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro de análise composicional (EDS). 58

Figura 4.11 - **A:** Mapa composicional combinado para Al, Ca, Mg e Ti, com o respetivo espectro de análise composicional (EDS), apara a amostra Bt#44 (Matriz).

- B:** Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#44 (Titanite). 59
- Figura 4.12 - Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#44 (Apatite). 59
- Figura 4.13 - **A:** Mapa composicional combinado para Si, S, Ca e Mg, com o respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#44_2 (Estampa 3A - Pirite).
B: Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#44_2. 60
- Figura 4.14 - **A:** Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#6.1 (Estampa 4A - Hematite).
B: Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#6.1 (Zircão). 61
- Figura 4.15 - Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#6.1 (Estampa 4A - Pirite). 62
- Figura 4.16 - **A:** Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#6.1_2 (Estampa 4B - Ilmenite).
B: Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#6.1_2 (Estampa 4B - Hematite). 62
- Figura 4.17 - **A:** Mapa composicional combinado para Zr, Ti e Fe, com o respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#6.1_2 (Estampa 4B - exsolução).
B: Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#6.1 (Apatite). 63
- Figura 4.18 - **A':** Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro (**A**) de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#6.1 (Pirite).
B': Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro (**B**) de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#6.1 (Calcopirite). 64
- Figura 4.19 - **A:** Mapa composicional combinado para Ca e Ti, com o respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#25.2_7.

- B:** Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#25.2_7 (Titanite). 65
- Figura 4.20 - **A:** Mapa composicional combinado para Ca e Ti; **B:** Mapa de EDS com combinação do elemento Ti; **C:** Mapa de EDS com combinação do elemento Ca; espectro de análise composicional (EDS) para a zona da imagem, da amostra Bt#25.2_7. 65
- Figura 4.21 - **A:** Mapa composicional combinado para Si, Ca, Fe e Zn, com o respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#25.2_6.
B: Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#25.2_6 (Pirite). 66
- Figura 4.22 - **A:** Mapa composicional combinado para Fe, Ni e Cu; **B:** Mapa de EDS com combinação do elemento Ti, Fe e Cu; espectro de análise composicional (EDS) para a zona da imagem, da amostra Bt#25.2_4 (Estampa 4F). 67
- Figura 4.23 - Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#25.2_4 (Estampa 4F - Pirite). 67
- Figura 4.24 - Mapa composicional combinado para Fe, Ni, Cu, Zn e Pb, com o respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#25.2_2 (Estampa 4D). 68
- Figura 4.25 - Imagem de SEM assinalada com pontos de microanálise por EDS (A, B, C, D e E cruz verde) para a amostra Bt#25.2_2 (Estampa 4D); **A:** espectro de análise composicional (EDS) - Calcopirite; **B:** espectro de análise composicional (EDS) - Pirrotite; **C:** espectro de análise composicional (EDS) - Esfalerite; **D:** espectro de análise composicional (EDS) - Pentlandite; **E:** espectro de análise composicional (EDS) - Galena. 68
- Figura 4.26 - Mapa composicional combinado para Fe, Ni, Cu e Zn, com o respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#25.2_3 (Estampa 4E). 69
- Figura 4.27 - Imagem de SEM assinalada com pontos de microanálise por EDS (A, B, C e D cruz verde) para a amostra Bt#25.2_2 (Estampa 4D); **A:** espectro de análise composicional (EDS) - Esfalerite; **B:** espectro de análise composicional (EDS) - Pentlandite; **C:** espectro de análise composicional (EDS) - Calcopirite; **D:** espectro de análise composicional (EDS) - Pirite. 70
- Figura 4.28 - **A:** Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#25.2_3 (Estampa 4E - Pirrotite).

- B:** Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#25.2_3 (Estampa 4E - Pirrotite). 71
- Figura 4.29 - Mapa composicional combinado para Ca, Fe e Ti, com o respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#27.2_2 (Estampa 5A). 72
- Figura 4.30 - Imagem de SEM assinalada com pontos de microanálise por EDS (A e B cruz verde) para a amostra Bt#27.2_2 (Estampa 5A); **A:** espectro de análise composicional (EDS) - Rútilo; **B:** espectro de análise composicional (EDS) - Titanite. 72
- Figura 4.31 - Mapa composicional combinado para Fe, Cu e Sb, com o respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#30_1 (Estampa 5B). 73
- Figura 4.32 - Imagem de SEM assinalada com pontos de microanálise por EDS (A e B cruz verde) para a amostra Bt#30_1 (Estampa 5B); **A:** espectro de análise composicional (EDS) - Pirite; **B:** espectro de análise composicional (EDS) - Tetraedrite. 73
- Figura 4.33 - Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#30_3 (Estampa 5C - Ulmanite). 74
- Figura 4.34 - **A:** Mapa composicional combinado para Fe e Cu, com o respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#30_3 (Estampa 5C).
B: Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#30_3 (Estampa 5C - Pirrotite). 75
- Figura 4.35 - Imagem de SEM assinalada com pontos de microanálise por EDS (A e B cruz verde) para a amostra Bt#30_2; **A:** espectro de análise composicional (EDS) - Calcopirite; **B:** espectro de análise composicional (EDS) - Marcassite. 75
- Figura 4.36 - Imagem de SEM assinalada com pontos de microanálise por EDS (A e B cruz verde) para a amostra Bt#30_4; **A:** espectro de análise composicional (EDS) - Titanite; **B:** espectro de análise composicional (EDS) - Pirite. 76
- Figura 4.37 - Imagem de SEM assinalada com pontos de microanálise por EDS (A, B e C cruz verde) para a amostra Bt#31_1 (Estampa 5D); **A:** espectro de análise composicional (EDS) - Calcopirite; **B:** espectro de análise composicional (EDS) - Galena; **C:** espectro de análise composicional (EDS) - Marcassite. 77
- Figura 4.38 - **A:** Mapa composicional combinado para S, Ca, Fe, Cu, Zn e Pb; **B:** Imagem de SEM correspondente ao mapa A; espectro de análise composicional (EDS) para a zona da imagem, da amostra Bt#31_3. 77
- Figura 4.39 - Imagem de SEM assinalada com pontos de microanálise por EDS (A, B, C e D cruz verde) para a amostra Bt#31_3; **A:** espectro de análise composicional (EDS) - Pirite; **B:** espectro de análise composicional (EDS) - Calcopirite; **C:**

- espectro de análise composicional (EDS) - Esfalerite; **D**: espectro de análise composicional (EDS) - Galena. 78
- Figura 4.40 - Mapa composicional combinado para Mg, S, Ti e Fe, com o respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#33.2_4. 79
- Figura 4.41 - **A'**: Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro (**A**) de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#33.2_4 - Ilmenite.
B': Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro (**B**) de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#33.2_4 - Pirite (?). 79
- Figura 4.42 - Imagens de SEM assinaladas com pontos de microanálise por EDS (A, B, C e D cruz verde) para a amostra Bt#33.2_5 (Estampa 6A); **A**: espectro de análise composicional (EDS) - Calcopirite; **B**: espectro de análise composicional (EDS) - Marcassite; **C**: espectro de análise composicional (EDS) - Pirrotite; **D**: espectro de análise composicional (EDS) - Marcassite. 80
- Figura 4.43 - Imagem representativa das quantidades aproximadas de diversas fases minerais presentes na sondagem SD18. 83
- Figura 4.44 - Relação entre os diferentes tipos de rocha presentes na sondagem SD18 e a suscetibilidade magnética medida ao longo da mesma. **A**: Valores de suscetibilidade magnética com *outliers* incluídos; **B**: Valores de suscetibilidade magnética sem *outliers* incluídos. 85
- Figura 4.45 - Carta de anomalias magnéticas em relação à base local (triângulo verde). Sistema de Coordenadas Hayford-Gaus Lisboa IPCC em metros. 87
- Figura 4.46 - Carta do campo magnético subtraído do IGRF para a região de Batigelas com a sobreposição dos limites geológicos. **α** - Arcoses e Metavulcanitos Ácidos; **β** - Rochas Básicas; **κ** - Rochas Calcossilicatadas; **π** - Pórfiro de carácter ácido; **Zm** - Zona mineralizada. Sistema de Coordenadas Hayford-Gaus Lisboa IPCC em metros. 89
- Figura 4.47 - Carta do campo magnético subtraído do IGRF, com assinaturas magnéticas correspondentes aos perfis assinalados. 90
- Figura 4.48 - Exemplos de perfis de anomalias magnéticas positivas sobre possíveis diferentes fontes geológicas (**B** - Campo geomagnético). A figura apresenta uma seleção de alguns exemplares. Adaptado de Breiner (1973) e Hinze *et al.*, (2013). 91
- Figura 4.49 - Carta do campo magnético subtraído do IGRF, com assinaturas magnéticas dos perfis traçados na Falha de Batigelas. 91
- Figura 4.50 - Anomalia magnética antes e após a redução ao polo. Adaptado de Blakely (1996). 92

Figura 4.51 - Carta do campo magnético reduzido ao polo para a região de Batigelas. α - Arcoses e Metavulcanitos Ácidos; β - Rochas Básicas; κ - Rochas Calcoossilicatadas; π - Pórfiro de carácter ácido; Zm - Zona mineralizada. Sistema de Coordenadas Hayford-Gaus Lisboa IPCC em metros.	92
Figura 4.52 - Carta do campo magnético reduzido ao polo, com assinaturas magnéticas correspondentes aos perfis assinalados.	93
Figura 4.53 - Carta do campo magnético reduzido ao polo, com assinaturas magnéticas dos perfis traçados na Falha de Batigelas.	94
Figura 4.54 - A-B: Corte geológico simplificado do setor de Alter do Chão - Elvas (<i>vide</i> localização do corte A-B no Anexo VIII, Fig. AI). Sem escala vertical. A'-B': Corte geológico simplificado da região de Batigelas e sondagem SD18 (<i>vide</i> localização do corte A'-B' no Anexo VIII, Fig. AII).	96

Capítulo 5 - Discussão e conclusão

Figura 5.1 - Corte sondagem SD18 com síntese de informação mineralógica. Identificação de falhas detetadas ao longo da sondagem.	99
Figura 5.2 - Método gráfico para estimativa de profundidade de um corpo magnético. Adaptado de Reynolds, 2011.	100
Figura 5.3 - Estimativa gráfica da profundidade do corpo anómalo de Batigelas.	101

Índice de tabelas

Tabela 3.1 - Susceptibilidades magnéticas de alguns minerais, adaptado de Sant'Ovaia, 2008 e Hrouda <i>et al.</i> , 2009.	30
Tabela 4.1 - Log simplificado da sondagem SD18.	38
Tabela 4.2 - Composições químicas das análises pontuais apresentadas na Fig. 4.28.	71
Tabela 4.3 - Composição química da análise pontual apresentada na Fig. 4.30	74
Tabela 4.4 - Composições químicas de análises pontuais realizadas em Py (pirite), Mrc (marcassite) e Po (pirrotite).	81
Tabela 4.5 - Composições químicas para 3 exemplos de análises pontuais em Cpy (calcopirites).	82
Tabela 4.6 - Composições químicas para 3 exemplos de análises pontuais em Ttn (titanites).	82
Tabela 4.7 - Valores comparativos de suscetibilidade magnética da sondagem SD18.	86

Índice de estampas

- Estampa 1 - Características microscópicas das mineralizações presentes no conjunto litológico Arcoses.
- Hem**-Hematite; **Spc**-Espicularite; **Py**-Pirite.
- A - Espicularite em forma lamelar (Bt#1.1_2) 10X.
- B - Espicularite em forma lamelar (Bt#1.1_2+) nicóis cruzados.
- C - Hematite de forma euédrica a subeuédrica (Bt#1.1_1) 20X.
- D - Pirites euédricas dispersas na matriz (Bt#2_2) 10X.
- E - Espicularite lamelar. Na zona inferior da microfotografia observam-se pirites dispersas pela matriz (Bt#2_1) 10x.
- F - Espicularite lamelar, zona inferior da microfotografia apresenta pirites dispersas pela matriz (Bt#2_1+) nicóis cruzados. 41
- Estampa 2 - Características microscópicas das mineralizações presentes nas Rochas Calcossilicatadas a diversas metragens.
- Ilm**-Ilmenite; **Hem**-Hematite; **Ttn**-Titanite; **Rt**-Rútilo; **Po**-Pirrotite; **Py**-Pirite; **Ccp**-Calcopirite; **Mrc**-Marcassite.
- A - Rútilo sob o efeito de deformação, titanite e hematite euédricas (Bt#4_2) 20X.
- B - Agregado de pirite com inclusões de ilmenite (Bt#4_1) 10X.
- C - Pirites euédricas associada a pirrotite I (Bt#13_2) 20X.
- D - Pirite I com inclusões de pirrotite e calcopirite I associada (Bt#17.2_1) 20X.
- E - Aglomerado de grãos de pirite com inclusões de calcopirite, associada a marcassite e com pirrotite como produto de alteração desta (?) (Bt#15_2) 10X.
- F - Aglomerado de grãos de pirite com inclusões de calcopirite, associada a marcassite e com pirrotite como produto de alteração desta (?) (Bt#15_2+) nicóis cruzados. 44
- Estampa 3 - Características microscópicas das mineralizações presentes nas Rochas Calcossilicatadas.
- Py**-Pirite; **Ccp**-Calcopirite; **Po**-Pirrotite; **Sp**-Esfalerite; **Mag**-Magnetite; **Ttn**-Titanite; **Hem**-Hematite; **Ilm**-Ilmenite.
- A - Esfalerite a substituir pirrotite (?) e a ser substituída por calcopirite (Bt#19_3) 10X.
- B - Pirite I euédrica e disseminada pela matriz e pirite II a preencher fraturas existentes na matriz (Bt#37.2_1)10X.
- C - Calcopirite II a preencher fraturas da pirite (Bt#38_1) 10X.
- D - Agregado titanite+ilmenite disseminado e com pirite disseminada associada (Bt#43_1) 10X.
- E - Magnetite euédrica disseminada presente em mármore (Bt#44_1) 10X.
- F - Hematite com auréola de alteração de ilmenite (Bt#45_1) 20X. 46

Estampa 4 - Características microscópicas das mineralizações presentes nas Rochas Básicas a diversas metragens.

Py-Pirite; **Ccp**-Calcopirite; **Po**-Pirrotite; **Sp**-Esfalerite; **Pn**-Pentlandite; **Gn**-Galena; **Hem**-Hematite; **Ilm**-Ilmenite.

A - Hematite II ao longo de fraturas e espaços entre a pirite I (Bt#6.1_1) 10X.

B - Solução sólida ilmenite+hematite com texturas de exsolução de titânio associada (Bt#6.1_2) 20X.

C - Pirite II e esfalerite a preencher pequenas fraturas (Bt#9_3) 20X.

D - Mineralização presente em veios de carbonatos; agregado de galena+calcopirite+pirrotite (Bt#25.2_2)20X.

E - Mineralização presente em veios de carbonatos; pirrotite III disseminada; agregado de pentlandite+calcopirite+esfalerite (Bt#25.2_3) 20X.

F - Mineralização presente em veios de carbonatos; agregado de pirite+pirrotite+pentlandite+calcopirite (Bt#25.2_4) 20X. 50

Estampa 5 - Características microscópicas das mineralizações presentes nas Rochas Básicas entre as metragens 140 e os 211 metros.

Py-Pirite; **Ccp**-Calcopirite; **Po**-Pirrotite; **Mrc**-Marcassite; **Gn**-Galena; **Ul**-Ulmanite; **Ttr**-Tetraedrite; **Ilm**-Ilmenite; **Ttn**-Titanite; **Rt**-Rútilo; **Pyrl**-Pirolusite.

A - Agregado titanite+rútilo associado a pirite I (Bt#27.2_2) 10X.

B - Tetraedrite a substituir calcopirite I, que envolve uma pirite cúbica que apresenta pequenas fraturas (Bt#30_1) 10X.

C - Ulmanite associada a calcopirite I e tetraedrite (Bt#30_3) 10X.

D - Aglomerado de calcopirite+marcassite+galena; a pirite ocorre disseminada (Bt#31_1) 20X.

E - Aglomerado de pirite+marcassite, associado a calcopirite (variedade acastanhada) (Bt#33.2_1) 10X.

F -Pirolusite (?) com exsoluções de manganês associadas (Bt#33.2_2) 10X. 52

Estampa 6 - Características microscópicas das mineralizações presentes nas Rochas Básicas entre as metragens 211 e os 227 metros.

Py-Pirite; **Ccp**-Calcopirite; **Po**-Pirrotite; **Mrc**-Marcassite.

A - Marcassite como produto de alteração (?) da pirrotite, com calcopirite (variedade acastanhada) associada (Bt#33.2_5) 10X.

B - Pirite I sob a forma disseminada (Bt#34.1_2) 10X.

C - Inclusões de calcopirite II e pirrotite II em pirite (Bt#35_2) 10X. 53

Abreviaturas, Acrónimos e Siglas.

AEB - Área de Estudo de Batigelas

Ccp - Calcopirite

CCV - Complexo básico/ultrabásico de Cabeço de Vide

DRX - Difração de Raio-X

Gn - Galena

GPS - *Global Positioning System*

Hem - Hematite

IGRF - *International Geomagnetic Reference Field*

Ilm - Ilmenite

LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia

MAC - Maciço de Alter do Chão

Mag - Magnetite

Mrc - Marcassite

Pn - Pentlandite

Po - Pirrotite

Py - Pirite

Pyrl - Pirolusite

RCV - Região de Cabeço de Vide

RPM - Rotações por minuto

Rt - Rútilo

SACE - Setor Alter do Chão-Elvas

SEM-EDS - Microscópio Eletrónico de Varrimento acoplada à espectroscopia dispersiva de raios-X (*Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray*)

SFM - Serviço de Fomento Mineiro

SM - Suscetibilidade Magnética

SP - Superfícies Polidas

Sp - Esfalerite

Spc - Especularite

Ttn - Titanite

Ttr - Tetraedrite

UI - Ulmanite

FBM - Faixa Blastomilonítica

ZCI - Zona Centro-Ibérica

ZCTPBC - Zona de Cisalhamento de Tomar-Portalegre-Badajoz-Cordova

ZOM - Zona de Ossa-Morena

ZOM-3D - Modelos metalogénicos 3D da zona de Ossa Morena: valorização dos recursos minerais do Alentejo

ZSP - Zona Sul Portuguesa

As abreviaturas de minerais apresentam-se de acordo com Whitney e Evans (2010), à excepção da especularite, pirolusite e ulmanite.

Geofísica e Química Mineral na região de Batigelas, Zona Ossa-Morena. Um caso de estudo de ocorrências de metais básicos no Setor de Alter do Chão - Elvas

Resumo

A investigação decorreu na região de Batigelas, localizada a nordeste de Cabeço de Vide, no Setor Alter do Chão-Elvas da Zona de Ossa-Morena (ZOM). O estudo desenvolveu-se sobre uma anomalia magnética positiva aqui detetada pelo Serviço de Fomento Mineiro (1970s), com sobreposição com um halo geoquímico de metais pesados em solos. Estes resultados justificaram a realização da sondagem SD18, alvo deste estudo, a qual intersecta arcoses, rochas calcossilicatadas e rochas básicas. Associadas a estas litologias identificaram-se mineralizações maioritariamente disseminadas e em veios de sulfuretos (predominantes) e óxidos. O processamento dos dados magnéticos mostra que a anomalia principal se encontra deslocada face ao posicionamento do furo SD18 encontrando-se relacionada com a presença de minerais magnéticos como a pirrotite, magnetite e pentlandite. As mineralizações de Fe, Ni, Pb e Zn de Batigelas mostram um contexto favorável em termos de prospeção mineral para este setor da ZOM.

Palavras Chave: Prospeção Magnética; Mineralogia; Geofísica; Mineralizações de Sulfuretos; Zona de Ossa-Morena.

Geophysics and Mineral Chemistry in the region of Batigelas, Ossa-Morena Zone. A case study of occurrences of base metals in the Alter do Chão - Elvas Sector

Abstract

The research took place in the Batigelas region, located northeast of Cabeço de Vide, in the Ossa-Morena Zone Alter do Chão-Elvas sector. Batigelas is characterized by a positive magnetic anomaly detected in the region by the Serviço de Fomento Mineiro (1970's), which overlaps with a geochemical anomaly of heavy metals in soils. The research was focused in the study of the SD18 exploration drill hole intersected mineralizations and arkoses, calc-silicate, and basic host rocks. The disseminated and vein mineralization include sulphides and oxides. The magnetic data processing shows that the main anomaly is displaced in relation to the SD18 location. This setting is related to the presence of magnetic minerals such as pyrrhotite, magnetite and pentlandite. The Fe, Ni, Pb and Zn mineralizations of Batigelas show a favorable context in terms of mineral prospecting for this sector of the ZOM.

Keywords: Magnetic Prospecting, Mineralogy, Geophysics, Sulphide Mineralizations, Ossa-Morena Zone.

Agradecimentos

A realização desta dissertação só foi possível graças ao contributo e apoio, de forma direta ou indireta, de várias pessoas, às quais estarei sempre grata.

Ao Professor Doutor Pedro Nogueira quero agradecer por ter acreditado em mim ainda antes de terminar a minha licenciatura, por tudo aquilo que me ensinou e me mostrou ser possível fazer. Estarei eternamente grata por isso.

Ao Professor Doutor João Xavier Matos, que foi sem dúvida mais que coorientador e que a distância não se fez sentir. Quero agradecer pela enorme paciência que sempre demonstrou comigo. Obrigada pela disponibilidade constante, pelo profissionalismo e pelo seu contributo que enriqueceu exponencialmente este trabalho.

Ao Professor Doutor José Borges, agradeço por ter aceite este desafio, por todo o apoio logístico, pelas discussões geofísicas, pelas palavras de incentivo, quando a inspiração desaparecia e pela preocupação demonstrada para a redação desta dissertação.

Quero agradecer ao Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) pela cedência da sondagem estudada, bem como toda a bibliografia e informação, que foram fundamentais para o decorrer deste trabalho. Uma palavra de agradecimento ao Pedro Gonçalves, que prontamente respondia aos meus pedidos de informação. Um agradecimento especial ao Fábio Marques por toda a transmissão de conhecimento, apoio e paciência (que foi muita).

Ao Laboratório HERCULES da Universidade de Évora, através do Professor Doutor José Mirão quero agradecer a disponibilidade e apoio na utilização dos mais diversos equipamentos, e por todo o conhecimento transmitido. À Professora Doutora Patrícia Moita agradeço tudo o que me ensinou. Uma palavra de agradecimento também à Mafalda Costa por todas as dicas e disponibilidade sempre que precisei.

À Professora Doutora Helena Sant'Ovaia da Universidade do Porto, deixo o meu agradecimento pela realização das medições de suscetibilidade magnética, bem como o esclarecimento de dúvidas e a partilha bibliográfica.

Ao Professor Doutor Bento Caldeira quero agradecer a disponibilidade em acompanhar as campanhas geofísicas. Ao Professor Doutor Mourad Bezzeghoud pelas constantes palavras de incentivo.

Ao Professor Doutor Carlos Ribeiro, ao Professor Doutor Jorge Pedro e ao Professor Doutor Ruben Martins um agradecimento especial por durante este tempo em que realizei o meu trabalho, me terem concedido oportunidades inescrutáveis que não só contribuíram para o meu percurso académico e profissional, como pessoal.

À Professora Doutora Maria João Costa agradeço a disponibilidade para as mais diversas questões e a amabilidade com que tratou cada uma delas e claro, a oportunidade que tive ao trabalhar com ela durante este percurso, mesmo que numa área diferente da minha. Ao Miguel Potes agradeço também essa oportunidade, bem como todo o conhecimento transmitido, todos os bons momentos em campo e a disponibilidade sempre para ajudar. E claro, um obrigada ao Gonçalo Rodrigues, pelo apoio e boa disposição.

Quero agradecer ao Sérgio Aranha, técnico dos Laboratórios do Departamento de Física, por ter sempre uma solução para todos os problemas. Ao Jorge Velez e à Sandra Velez, técnicos dos Laboratórios do Departamento de Geociências, deixo também uma palavra de agradecimento, pois foi junto a eles que iniciei a minha vida de laboratório.

Uma palavra de agradecimento aos meus colegas Diogo Ramalho, José Roseiro e Noel Moreira pela valiosa ajuda quer na amostragem da sondagem, quer nas saídas de campo e campanhas geofísicas. Um agradecimento especial ao Noel Moreira pela incrível ajuda na realização dos cortes geológicos, por todos os esclarecimentos, pela paciência e pelo carinho. Não posso deixar de agradecer ao Daniel Garcia, à Inês Brandão, ao João Meireles e ao Sérgio Matias pela ajuda facultada nas campanhas geofísicas, vocês foram extraordinários. Ao João Vieira um agradecimento especial pela ajuda nos dados geofísicos. E ao meu colega e amigo Sandro Vicente, uma palavra também por todo o apoio e ajuda.

Ao Luís Rosa quero agradecer pela disponibilidade que teve ao conceder informações fundamentais para o arranque deste trabalho, pela amizade e por todas as vezes que me deu na cabeça.

Ao Rui Oliveira, um agradecimento especial por toda ajuda e apoio que me deu nestes últimos anos. Foi certamente uma das pessoas com quem mais discuti esta tese, que me ensinou tudo o que sabia da melhor forma. Obrigada pelo incrível apoio na geofísica.

Ao João Fontiela deixo uma palavra de carinho e agradecimento pelo incansável apoio e disponibilidade que sempre demonstrou. Pelas conversas e ensinamentos, pelos bons momentos e preocupação comigo e com o meu trabalho, pela amizade e pelas viagens intemporais aos Açores.

Ao meu querido amigo Pedro Mendes, não há obrigada nenhum no mundo que consiga expressar o agradecimento que tenho por te ter conhecido. Obrigada por teres iniciado este longo caminho comigo, sem ti não sei se esta tese teria descolado. Obrigada por todos os dias de campo (dentro e fora deste trabalho), por tudo aquilo que me ensinaste e mostraste sem medos. Obrigada pelas nossas longas horas no laboratório 024, onde me ensinaste tanto e ajustaste em tudo o que havia para fazer. Obrigada pelas nossas viagens aventureiras, pelas conversas infinitas, por me teres defendido sempre e pelas pessoas que colocaste na minha vida. Obrigada “amiga”!

Aos amigos que Évora me deu. À minha afilhada Laura Andrade, obrigada pelo apoio. À Ana “Coelha”, obrigada por me apoiares e ajudares sempre. À Marisa Coelho que de geologia percebe pouco, mas de apoio percebe muito. E claro, um agradecimento especial à Patricia Brito e à Marcia Manita, que não percebem nada de geologia, mas que me ouvem sempre de forma entusiasta.

Por último, mas que foram os primeiros a quem agradei, à minha família, a quem dedico esta dissertação. Aos meus pais, a quem devo tudo o que tenho e o que sou. Aos meus tios por todo o apoio e palavras de incentivo nas mais difíceis horas, merci! À minha avó, que nunca deixou de acreditar em mim. E claro ao meu Gabriel, que apesar de já ser grande, só daqui a alguns anos irá compreender o quanto ajudou a tia.

A todos, o meu mais sincero obrigada!

Capítulo 1

Introdução

Capítulo 1 - Introdução

1.1. Introdução

A Zona de Ossa-Morena caracteriza-se por conter numerosas ocorrências de depósitos minerais metálicos dos mais diversos tipos. Deste modo, esta unidade geotectónica do Maciço Ibérico, apresenta uma especial importância na história da exploração mineira em Portugal. Dezenas destas estruturas mineralizadas identificadas foram em tempos exploradas, enquanto que outras foram, e são ainda atualmente, alvo de campanhas de prospeção quer por companhias mineiras privadas, quer pelo Estado, através do Serviço de Fomento Mineiro (SFM), atual Laboratório Nacional de Energia e Geologia.

A progressão do conhecimento científico, tem permitido identificar novos locais com potencial metalogénico. Com o objetivo de contribuir para o conhecimento e desenvolvimento científico, surge o caso de estudo da região de Batigelas, na qual se insere esta dissertação intitulada “Geofísica e Química Mineral na região de Batigelas, Zona de Ossa-Morena. Um caso de estudo de ocorrências de metais básicos no Setor de Alter do Chão-Elvas”. O trabalho insere-se no Mestrado em Ciências da Terra e da Atmosfera, na área de especialização Meteorologia e Geofísica (antiga Geofísica Interna), do Departamento de Física da Universidade de Évora, tendo beneficiado do apoio logístico do projeto ZOM 3D, “Modelos metalogénicos 3D da Zona de Ossa-Morena: valorização dos recursos minerais do Alentejo”, com a referência ALT20-03-0145-FEDER-000028.

A investigação aqui apresentada inclui um conjunto de dados significativo, com uma abordagem multidisciplinar das Ciências da Terra, que engloba resultados dentro da Geologia e da Geofísica Aplicada, através da utilização de técnicas de geoquímica, mineralogia, química mineral, geologia estrutural, suscetibilidade magnética e pelo método magnético. Contudo, esta recolha de dados não deve ser tomada como terminada, e esta investigação não deve ser interpretada como o fim de um estudo, mas sim como o princípio de um trabalho maior.

Esta dissertação tem como objetivo o estudo de uma anomalia magnética positiva detetada na região de Batigelas pelo SFM na década de 1970. Como descreve Alvoeiro (1972b) esta destacou-se da assinatura magnética do Maciço de Cabeço de Vide, por apresentar um elevado *background* magnético com grandes perturbações. No Anexo I - Fig. AIV encontra-se a carta magnética para o Complexo Básico-Ultrabásico de Cabeço de Vide, onde se assinala a região de Batigelas. A carta de isogamas da componente vertical do campo magnético para esta região (nº48/-54, escala 1:5.000), apresenta valores máximos de 1474 nT¹. Coincidente com a anomalia magnética positiva, foi detetada pelo SFM na mesma década uma anomalia de geoquímica de solos, que apresenta valores máximos de 264 ppm de teor em metais pesados, num fundo regional de 0,2 ppm². Segundo Alvoeiro (1972b), foram encontradas pequenas amostras de cromite que se revelaram magnéticas, nas

¹ Fig. AI do Anexo I (Alvoeiro, 1970a).

² Fig. AII do Anexo I (Alvoeiro, 1970b).

sanjas realizadas em Batigelas. Resultados estes que justificaram a realização de uma sondagem mecânica (SD18) pelo SFM em 1974, com 269,7 m de profundidade, 45° de inclinação e com azimute 217,9°. No decorrer deste trabalho foram aplicadas diversas metodologias, tais como o estudo mineralógico da sondagem SD18, com especial ênfase para os minerais opacos com propriedades magnéticas, e consequente paragénese mineralógica, e o estudo petrofísico (magnetismo das rochas e minerais) da mesma sondagem. Foram ainda realizadas campanhas de aquisição de dados geofísicos, privilegiando o método magnético, para redefinir a anomalia magnética positiva.

Complementarmente aos trabalhos efetuados, foi realizada uma campanha, no âmbito do projeto ZOM-3D, com o intuito de obter dados de geoquímica de solos de alta resolução, com recurso a um equipamento de Fluorescência de Raio-X Portátil (*Skyray Instrument Explorer 9000*) (Nogueira *et al.*, 2020).

No decorrer dos trabalhos de investigação conducentes à realização da presente dissertação foram publicados os seguintes trabalhos:

Nogueira, P., **Afonso, P.**, Roseiro, J., Maia, M., São Pedro, D., Moreira, N., Matos, J.X., Batista, M. J. (2020) - Portable X-ray fluorescence and clustering methods applied to mineral exploration: the significance and nature of Batigelas anomaly (Ossa-Morena Zone - Cabeço de Vide, Portugal). *Comunicações Geológicas* (2020) 107, Edição Especial II, 47-53

Afonso, P., Borges, J. F., Nogueira, P. (2019) - Magnetometria de alta resolução no setor de alter do Chão (Batigelas). *Jornadas do ICT 2019*, Universidade de Évora.

Afonso, P., Borges, J. F., Nogueira, P. (2018) - Magnetometria na Região de Cabeço de Vide – Sector de Alter do Chão – Elvas. *V Workshop em Ciências da Terra, Atmosfera e Espaço 2019*. ISBN (versão online):978-989-98836-3-5. ISBN (versão impressa): 978-989-98836-4-2

Afonso, P., Oliveira, R. J., Mendes, P., Borges, J. F., Caldeira, B., Gonçalves, P., Matos, J.X., Nogueira, P. (2018) - Magnetometria e geoquímica de metais pesados na região Cabeço de Vide – sector de Alter do Chão – Elvas. *Livro de actas do VIII Congresso Jovens Investigadores em Geociências LEG 2018*, Estremoz.

1.2. Estrutura do trabalho

Esta dissertação está dividida em seis capítulos:

A esta Introdução, segue-se o **Capítulo 2 - Enquadramento**, onde é efetuado um breve enquadramento geográfico da área de estudo, é feito ainda um enquadramento geológico onde são abordados temas como o Maciço Ibérico, a Zona de Ossa-Morena, o Setor Alter do Chão-Elvas, a geologia de Cabeço de Vide até chegarmos à área de estudo de Batigelas. É ainda efetuado o enquadramento metalogénico da Zona de Ossa-Morena, da Faixa Alter do Chão-Elvas e por fim da área de estudo de Batigelas.

No **Capítulo 3 - Metodologias**, são apresentadas as metodologias utilizadas nesta dissertação tanto a nível geológico como geofísico. Para a geologia, foi feita uma descrição das diferentes etapas dos trabalhos de campo, cartográfico e de amostragem da sondagem

SD18. Descreve-se sucintamente a preparação das amostras, tanto para superfícies polidas como para as taliscas para medição de suscetibilidade magnética, e ainda as metodologias utilizadas na análise metalogénica e de química mineral. Para a geofísica, foi feito um enquadramento do método magnético, do campo magnético terrestre e dos tipos de magnetismo. Foi ainda realizada uma descrição sucinta das diferentes etapas deste a aquisição até ao processamento dos novos dados magnéticos.

No **Capítulo 4 - Apresentação de resultados**, como o próprio nome indica são apresentados os resultados deste trabalho, quer mineralógicos, de química mineral, de suscetibilidade magnética, do método magnético e estruturais.

No **Capítulo 5 - Discussão e conclusões**, é apresentada uma discussão dos resultados obtidos bem como as conclusões dela retiradas.

Por último, no **Capítulo 6 - Trabalhos futuros**, são referidas questões em aberto, que são pertinentes e que devem ser abordadas em planos de investigação oportunos a realizarem-se na região.

Capítulo 2
Enquadramento

Capítulo 2 - Enquadramento

2.1. Enquadramento Geográfico

A área de estudo que dá pelo nome de Batigelas, localiza-se no distrito de Portalegre no concelho de Alter do Chão, aproximadamente 6 km a norte de Cabeço de Vide.

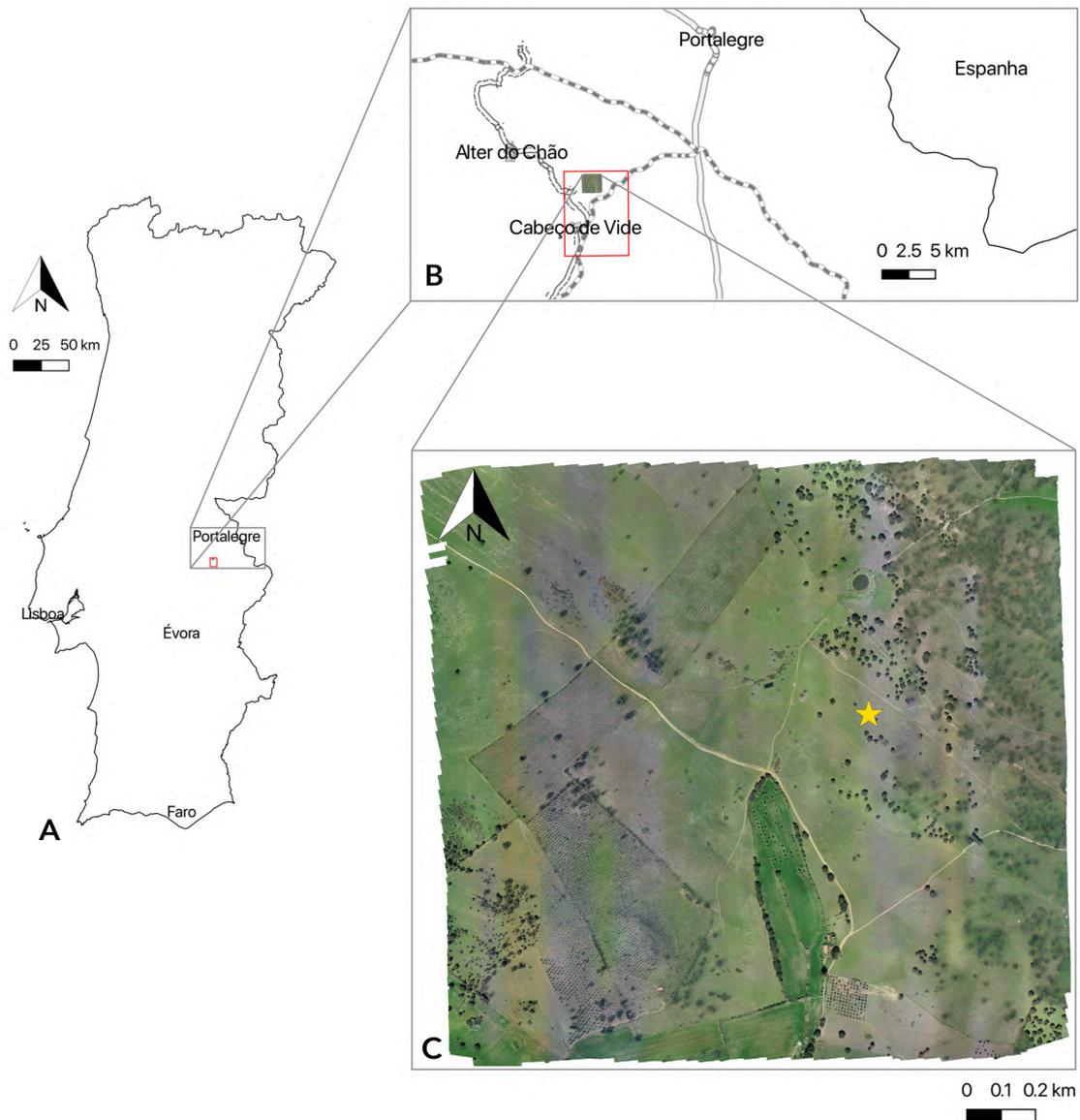


Figura 2.1 - **A:** Localização geográfica da área de estudo (retângulo vermelho); **B:** Região de Cabeço de Vide; **C:** Ortofotografia da região de Batigelas, com localização da sondagem SD18 (estrela).

Na Fig. 2.1, encontramos representado pelo retângulo vermelho a região de Cabeço de Vide (RCV) com aproximadamente 48 km², a ortofotografia apresentada no seu interior mostra a Área de Estudo de Batigelas (AEB) com aproximadamente 4 km², tendo sido este local o objeto da investigação.

Do ponto de vista geológico, a RCV insere-se no Complexo Básico-Ultrabásico de Cabeço de Vide (CCV), que se localiza a SE do alinhamento do Maciço de Alter do Chão (MAC), por sua vez pertencente ao Setor Alter do Chão-Elvas (SACE) da Zona de Ossa-Morena (ZOM) (Oliveira *et al.*, 1991). Este maciço, essencialmente constituído por rochas básicas e ultrabásicas, apresenta-se intruso na série carbonatada do Câmbrico tendo todo este conjunto de rochas, sido afetado pelo metamorfismo regional. A série carbonatada apresenta ainda metamorfismo de contacto sobreposto, o que levou ao desenvolvimento de corneanas presentes no local (Gonçalves, 1973a; Carrilho, 2004). Encontra-se ainda a SE do alinhamento do SACE, o Complexo Plutónico de Santa Eulália (CPSE), que corta as unidades litológicas deste setor (Gonçalves, 1975; Sant’Ovaia *et al.*, 2015; Pereira *et al.*, 2017).

2.2. Enquadramento Geológico

2.2.1. O Maciço Ibérico

O Maciço Ibérico, também conhecido como Maciço Hespérico, foi inicialmente subdividido em 1945 por Lotze, em 6 zonas diferenciadas pelas características petrográficas, estruturais e litoestratigráficas. Deste modo, foram designadas de nordeste para sudoeste a Zona Cantábrica, a Zona Astúrico-ocidental-Leonesa, a Zona Galaico-Castelhana, a Zona Luso Oriental-Alcúdice, a Zona de Ossa-Morena e a Zona Luso Meridional. Posteriormente, a divisão de Lotze é revista por Julivert *et al.* (1974) onde é feita a proposta da divisão do Maciço Ibérico nas Zonas Cantábrica, Astúrico-ocidental-Leonesa, Centro Ibérica, Ossa-Morena e Sul Portuguesa.

Posteriormente, Quesada (1991) define a Zona de Galiza-Trás-os-Montes, localizada na Zona Centro-Ibérica, retirando-lhe o título de sub-zona e introduz ainda, o Domínio de Pulo do Lobo entre a Zona de Ossa-Morena e a Zona Sul Portuguesa. Entre as zonas de Ossa-Morena e Pulo de Lobo, foi introduzida por Munhá *et al.* (1986) e Quesada *et al.* (1994) o Complexo Ofiolítico de Beja-Acebuches.

2.2.2. A Zona de Ossa-Morena

A ZOM está localizada a sul da Zona Centro-Ibérica (ZCI) e a norte da Zona Sul Portuguesa (ZSP), tendo sido dividida em setores/domínios tectono-estratigráficos em função da litoestratigrafia, por Oliveira *et al.* (1991), de norte para sul designados por, Faixa Blastomilonítica (FBM), Alter do Chão-Elvas, Estremoz-Barrancos (distinção do Anticlinal de Estremoz), Montemor-Ficalho (separação do Sinclinal de Cabrela), Maciço de Beja (Subsector Santa Susana-Odivelas) e Complexo Ofiolítico de Beja-Acebuches (Fig. 2.2). Estes sectores têm ainda a sua correspondência com as unidades definidas no território espanhol, a SE.

A evolução da Cadeia Varisca Ibérica representada na ZOM apresenta uma grande diversificação devido à sua sectorização em várias bacias sedimentares, apresentando

sempre um soco pré-Varisco e uma sequência do Câmbrico Inferior muito semelhante e homogénea.

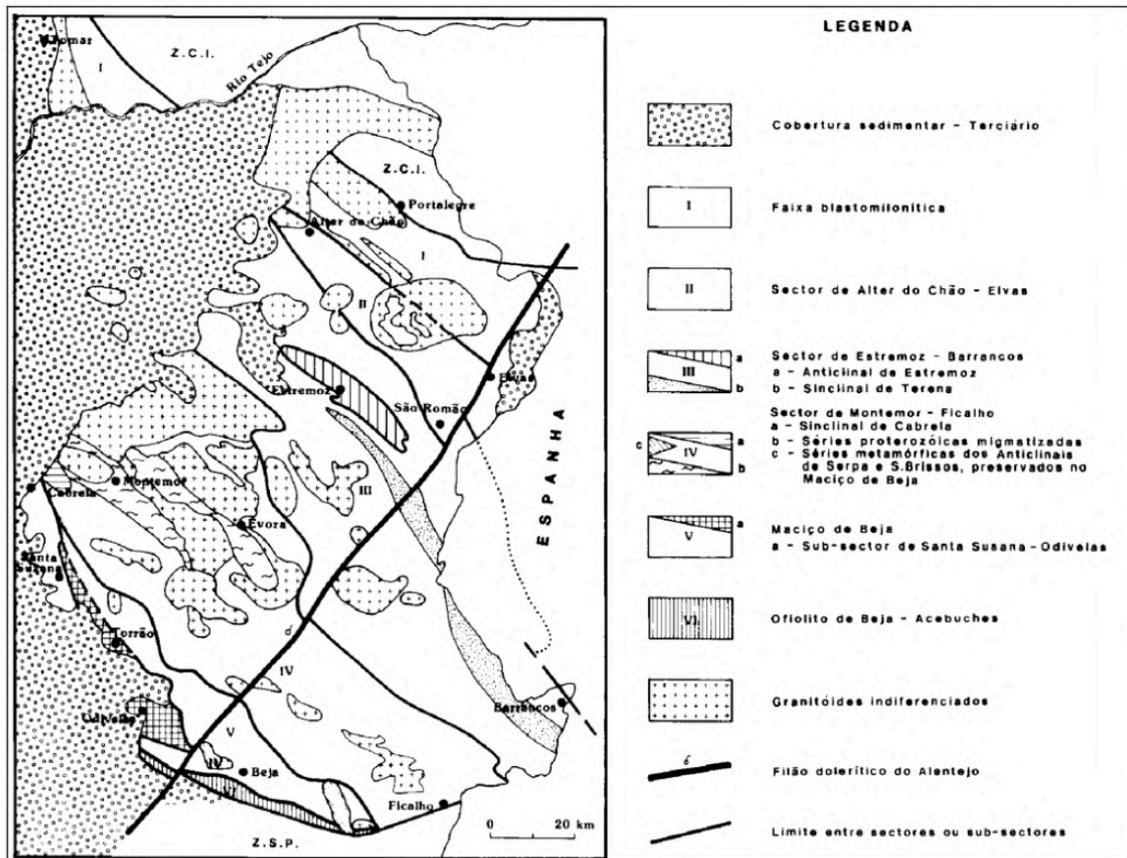


Figura 2.2 - Setores/Domínios tectono-estratigráficos da Zona de Ossa-Morena (adaptado de Oliveira *et al.*, 1991).

O Proterozóico Superior (Neoproterozóico) apresenta características muito semelhantes e constantes na ZOM, sendo representado por um conjunto de rochas muito deformadas e com um elevado grau metamórfico (Araújo, 2013). As rochas mais antigas conhecidas como Formação de Campo Maior, são essencialmente constituídas por gnaisses, migmatitos e anfibolitos (Oliveira *et al.*, 1991). Esta formação aflora ao longo do eixo de maior deformação presente na Zona de Cisalhamento de Tomar-Portalegre-Badajoz-Cordova (ZCTPBC), cavalcando outras estruturas a NE e a SW (Araújo, 2013). Sobre esta formação está assente um conjunto de rochas designada por Série Negra (localmente designadas por Formação de Morenos e Formação de Mosteiros; Oliveira *et al.*, 1991) essencialmente constituídas por micaxistos na grande maioria biotíticos, onde se encontram algumas intercalações de metachertes e quartzitos negros, bem como alguns grauvaques e anfibolitos, com raras intercalações de rochas carbonatadas (Araújo, 2013).

No Câmbrico Inferior está assinalada uma sequência em transgressão, caracterizada por rochas carbonatadas que se depositaram sobre níveis de conglomerados e rochas vulcânicas, essencialmente dispostas de forma discordante sobre a Série Negra (Araújo, 2013). Sobre estas litologias ocorre uma extensa plataforma carbonatada que está presente em toda a ZOM (Oliveira *et al.*, 1991; Araújo, 2013). Estes eventos indicam uma situação de *rifting* intracontinental, corroborado pela presença de um magmatismo toleítico bimodal

(Mata & Munhá, 1990; Oliveira *et al.*, 1991). Sobre as rochas de idade Câmbrico Médio, depositaram-se os arenitos da base do Ordovícico, o que aponta para uma lacuna de todo o Câmbrico Superior na ZOM (Oliveira *et al.*, 1991).

A sedimentação de rochas de idade Silúrica, está representada na ZOM de uma forma mais regular, sendo constituída por xistos negros, liditos e carbonatos (Oliveira *et al.*, 1991). As rochas de idade do Silúrico, relatam ainda um importante marco bioestratigráfico ao apresentar uma grande abundância de fósseis por toda a ZOM neste período (ex. graptólitos; Piçarra, 2000).

No Devónico Inferior, inicia-se um episódio de colisão com correspondente subducção na margem SW da ZOM, marcando assim a passagem de margem passiva a margem ativa. Durante o Devónico Médio e Superior, instala-se a sul o Complexo Ofiolítico de Beja-Acebuches, implicando que neste setor teríamos a presença de uma bacia do tipo *back-arc* (Araújo *et al.*, 2005; Pedro *et al.*, 2006).

A subducção da margem SW da ZOM, levou à criação de um prisma de acreção conhecido como Complexo Filonítico de Moura. Contemporâneo a este evento, a ZCTPBC é reativada num regime transpressivo esquerdo, o que levou à formação de uma “*flower structure*” característica da Faixa Blatomilonítica e do Setor de Alter do Chão-Elvas (Araújo, 2013). Após este conjunto de eventos, a ZOM passa a apresentar uma evolução com pouca deformação e um baixo grau metamórfico presente nos Setores de Alter do Chão-Elvas e Estremoz-Barrancos (Oliveira *et al.*, 1991; Araújo, 2013).

No final do Devónico, inicia-se a instalação do Complexo Ígneo de Beja e do Maciço de Évora fruto do magmatismo orogénico estabelecido neste período e que se prolonga pelo Carbónico (Araújo, 2013).

No Carbónico Inferior, sedimentos marinhos e séries vulcano-sedimentares, depositaram-se discordantes dos Maciços de Évora e Beja, enquanto que no Carbónico Superior, apenas há registo da deposição de sedimentos aluviais outrora acumulados num fosso intra-montanoso, constituintes da Formação de Santa Susana (Araújo, 2013).

O fim do Ciclo Varisco acontece no Pérmico, onde se regista um conjunto de desligamentos NE-SW esquerdos, a reativação de cavalgamentos pré-existentes com uma direção próxima de E-W, com vergência para sul, que resultam numa deformação frágil bem vincada na ZOM (Araújo, 2013).

2.2.3. O Setor Alter do Chão - Elvas

O Setor de Alter do Chão-Elvas (SACE), localiza-se na região norte da ZOM. O seu limite superior é feito com a Faixa Blastomilonítica, pelo cavalgamento de Alter do Chão, enquanto que o seu limite a sul não é consensual entre os diversos autores. Para alguns autores (Gonçalves, 1971; Araújo, 1995) trata-se de um carreamento (Carreamento da Juromenha), que promove o contacto entre o SACE e o Setor de Estremoz-Barrancos. Para outros autores (Oliveira *et al.*, 1991; Piçarra, 2000) o limite é definido pela presença de uma

discordância câmbrico-ordovícica. Ou ainda, interpretado como um cavalgamento por Silva (1997).

A sequência estratigráfica geral do SACE, encontra-se esquematizada na Fig. 2.3 e em mapa na Fig. 2.4.

Segundo Araújo *et al.* (2013), a sequência estratigráfica geral deste setor inicia-se da base para o topo pela Formação de Mosteiros, constituída essencialmente por xistos negros e grauvaques com intercalações de chertes negros e fósseis de idade Neoproterozóica, discordante de um conjunto de conglomerados, arcoses e intercalações de rochas vulcânicas ácidas (presentes em Alter do Chão), de espessura bastante variável. Os conglomerados apresentam clastos do soco proterozóico, que se apresentam bastante estirados, com ênfase para os de chertes negros, o que comprova a existência de uma deformação anterior desta unidade, provavelmente durante a orogenia Cadomiana.

Para Oliveira *et al.* (1991), a sequência estratigráfica do SACE inicia-se pelo nível de conglomerados e arcoses com intercalações de rochas vulcânicas ácidas (setor de Alter do Chão), uma vez que para estes autores a Formação de Mosteiros pertence à Faixa Blastomilonítica.

Segue-se a Formação Carbonatada, constituída por calcários dolomitizados, conglomerados e rochas vulcânicas ácidas na base (Oliveira *et al.*, 1991). Estas bancadas carbonatadas, apresentam-se com laminação paralela e possíveis estruturas estromatolíticas, e com 500 m de espessura (Araújo *et al.*, 2013). Esta formação não tem idade rigorosa atribuída face à inexistência de fósseis de idade contudo, é correlacionada com a Formação de Alconera (região de Badajoz), que apresenta fósseis do Câmbrico inferior (Oliveira *et al.*, 1991; Araújo *et al.*, 2013 e referências inclusas).

Em concordância com a formação anteriormente referida, está a Formação de Vila Boim (Câmbrico inferior), constituída por cerca de 600 m, de alternância de xistos, arenitos, grauvaques com intercalações de rochas félsicas e máficas (Oliveira *et al.*, 1991; Araújo *et al.*, 2013). Esta formação termina com bancadas quartzíticas que podem atingir espessuras na ordem dos 100 m, tendo a denominação de “Barra Quartzítica”, conjunto de extrema importância no setor e região, considerada do Câmbrico médio (Oliveira *et al.*, 1991; Araújo *et al.*, 2013).

Sobre a Barra Quartzítica, segue-se em concordância o Complexo Vulcano-Sedimentar de Terrugem, constituído por xistos e arenitos grauvacóides, e intercalações de rochas vulcânicas félsicas, basaltos alcalinos (localmente designados por espilitos) com lavas em almofada e rochas vulcânicas peralcalinas extrusivas, podendo este complexo atingir uma espessura até 2000 m (Oliveira *et al.*, 1991; Araújo *et al.*, 2013).

Para Araújo *et al.* (2013), a sucessão estratigráfica deste setor termina com a deposição alternada de xistos cinzentos, psamitos (com octaedros de magnetite) e grauvaques apresentando intercalações de conglomerados na parte superior. Segundo Oliveira *et al.*, (1991), este conjunto é equivalente à Formação de Fatuquedo, registada na região de Barrancos.

Por outro lado, Oliveira *et al.* (1991) descreve o final da sucessão estratigráfica do SACE com a deposição, sobre uma discordância, de xistos cinzentos-escuros e psamitos, arenitos ferruginosos e conglomerados na base, como sendo a base da Formação de Barrancos.

Neste setor, ocorrem ainda as rochas intrusivas (rochas magmáticas indiferenciadas; Araújo *et al.*, 2013), representadas por corpos básicos e ultrabásicos (maciços de Alter do Chão e Elvas), no interior da sequência carbonatada do Câmbrico, alongados segundo a direção NW-SE (Ribeiro *et al.*, 1992) e acompanhadas por um conjunto de rochas peralcalinas (Díez Fernández *et al.*, 2014). Este enquadramento evidencia um metamorfismo regional de baixo grau, por vezes de contacto associado à instalação dos corpos magmáticos (gabros de idade Ordovícico e granitos de idade Carbónico - Pereira & Silva, 2006). Dentro do conjunto de rochas intrusivas, está incluído o CPSE, que corta as litologias do SACE. Este corpo plutónico de idade carbónica (303-297 Ma; Pereira *et al.*, 2017) caracteriza-se do bordo para o centro por, um complexo anelar granítico rosa de grão médio-grosseiro e um complexo central de granito cinzento de grão médio (Sant’Ovaia *et al.*, 2013).

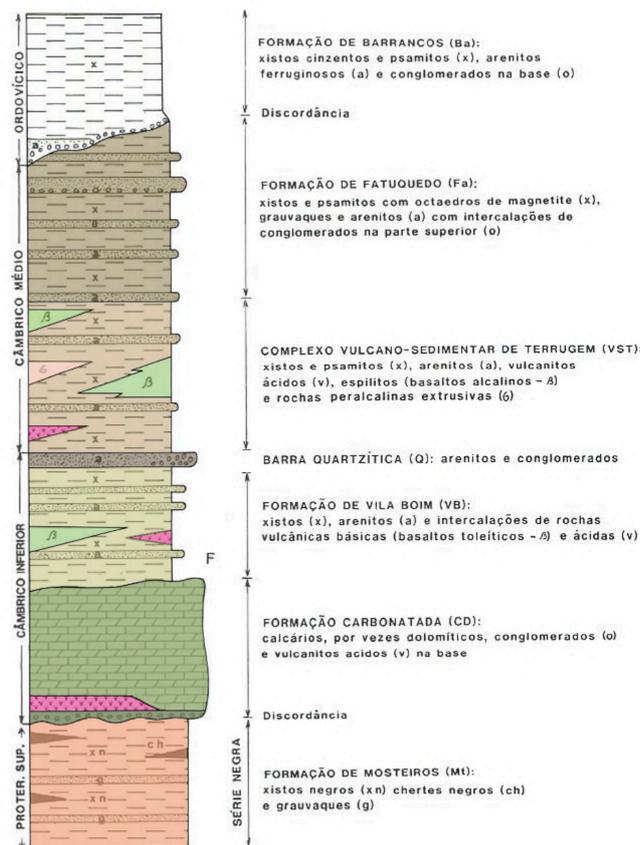


Figura 2.3 - Sequência estratigráfica geral do SACE, sem escala vertical (adaptado de Oliveira *et al.*, 1991).

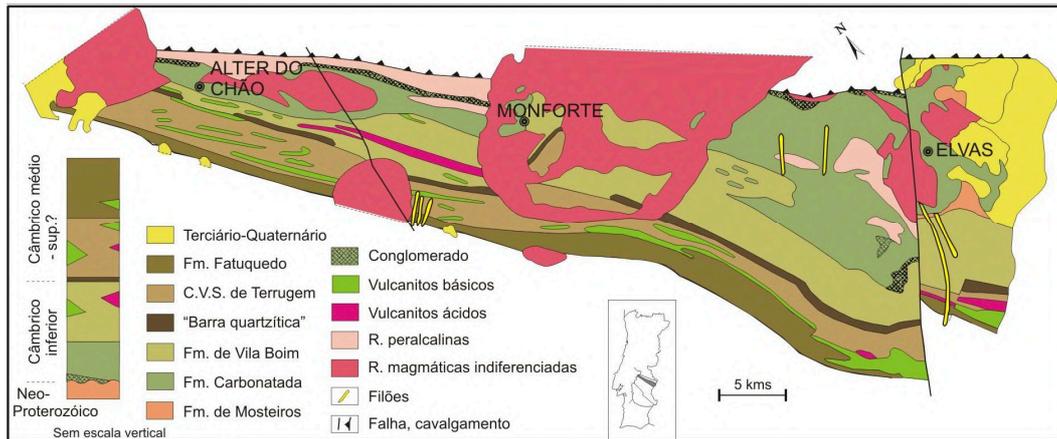


Figura 2.4 - Geologia geral do SACE (adaptado de Araújo *et al.*, 2013).

2.2.4. Região de Cabeço de Vide

A região de Cabeço de Vide, situa-se a SE do alinhamento do Maciço de Alter do Chão, este maciço é constituído essencialmente por rochas ígneas básicas e ultrabásicas, num extenso afloramento segundo uma direção NW-SE, intruso na série carbonatada do Câmbrico, o que levou à formação de uma orla de metamorfismo de contacto bem acentuada e visível em afloramento (Gonçalves, 1973a).

O Complexo Básico-Ultrabásico de Cabeço de Vide (Fig. 2.5) é constituído, segundo Gonçalves (1973a), da parte interior para a exterior, por gabros (basitos) e peridotitos (ultrabasitos). Os primeiros são considerados como as litologias mais antigas deste maciço. Aos segundos é atribuída a idade de Ordovícico por Díez Fernández *et al.*, (2014). Ambas as litologias apresentam um grau de alteração bastante elevado e a presença de minerais metálicos. Envolve a este conjunto máfico-ultramáfico encontram-se as rochas calcossilicatadas (rochas metamórficas de contacto), tais como corneanas e mármore (Câmbrico superior, Díez Fernández *et al.*, 2014). Associadas a estas encontram-se rochas carbonatadas não metamorfizadas, entre as quais, calcários e dolomitos. Em contacto com as litologias anteriormente mencionadas, foi descrita apenas a NE uma bancada de conglomerados, arcoses e metavulcanitos ácidos. No topo encontram-se as rochas peralcalinas que constituem o limite do maciço de Cabeço de Vide a NE e em contacto com a Zona Blastomilonítica, sendo separadas desta por um cavalgamento. A SW do maciço e em contacto com as rochas calcossilicatadas encontra-se a Formação de Vila Boim formada por uma alternância de bancadas de arenitos, xistos e grauvaques com intercalações de rochas vulcânicas félsicas e máficas (Oliveira *et al.*, 1991; Araújo *et al.*, 2013).

Em trabalhos recentes de cartografia, promovidos por empresas de prospeção mineira (Pinto *et al.* 2006b), o maciço de Cabeço de Vide é dividido em quatro unidades geológicas: rochas ultrabásicas, neste caso peridotitos que se encontram mais ou menos serpentinizados; litologias gabróicas em contacto com as rochas ultramáficas; um domínio metassomático, constituído essencialmente por *skarns* e corneanas e as rochas encaixantes não metamorfizadas, correspondentes aos calcários do Câmbrico.

Pinto *et al.* (2006b), colocam a possibilidade de dois episódios intrusivos no maciço de Cabeço de Vide, sendo um primeiro episódio ultrabásico constituído por peridotitos serpentinizados, serpentinitos e troctolitos, este conjunto litológico apresenta-se fortemente alterado, e um segundo episódio básico, mais tardio, constituído por mesogabros piroxénicos, meso-leuco gabros olivínicos e melagabros. Estas litologias não apresentam um grau de metamorfismo tão elevado como as rochas ultrabásicas.

A Fig. 2.6, representa a cartografia da região de Cabeço de Vide realizada pela empresa Rio Narcea Gold Mines S.A.

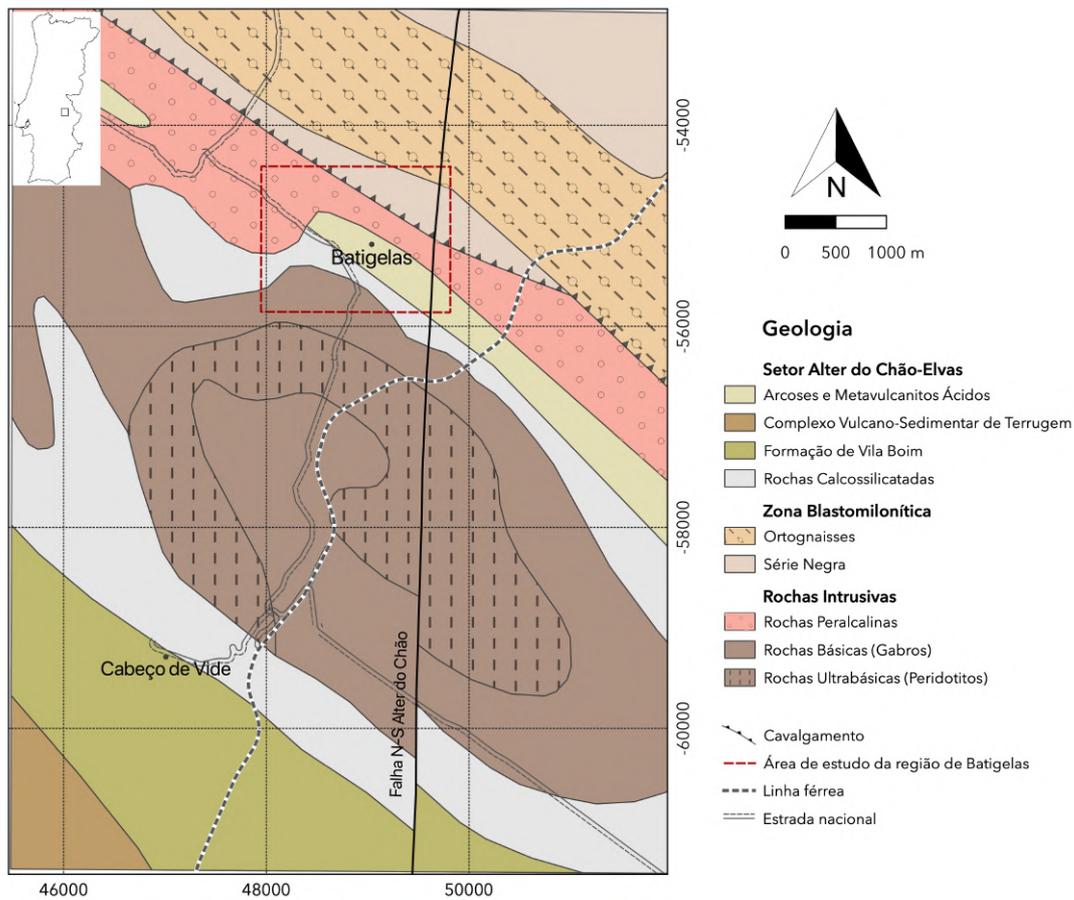


Figura 2.5 - Mapa geológico simplificado do Complexo básico-ultrabásico de Cabeço de Vide, à escala 1:50 000 (adaptado de Gonçalves, 1973a; Sistema de Coordenadas Hayford-Gaus Lisboa IPCC em metros).

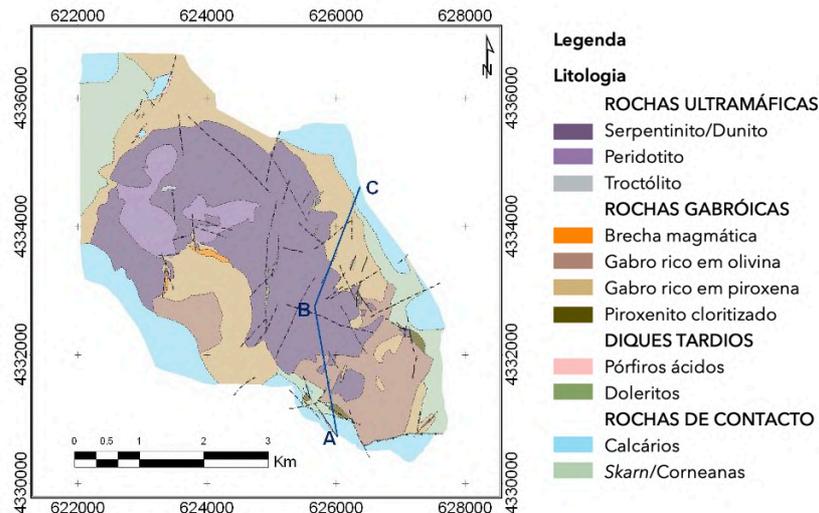


Figura 2.6 - Mapa geológico simplificado do Complexo básico-ultrabásico de Cabeço de Vide à escala 1:10 000 (adaptado de Pinto *et al.*, 2006b; Sistema de Coordenadas UTM Zona 29N). Esta imagem não sofreu alterações, pelo que não deve ser considerado o perfil A-B-C.

Associado aos trabalhos de cartografia desenvolvidos pela empresa Rio Narcea Gold Mines S.A., Dias *et al.* (2006) revela que a região apresenta a ocorrência de platinóides nas rochas básicas e ultrabásicas, sendo que esta ocorre em dois episódios de deposição primária relacionada com os processos de fracionamento das unidades ultrabásicas do CCV.

Mais recentemente, Rocha *et al.* (2017) apresenta um estudo mineralógico e geoquímico onde são evidentes as alterações hidrotermais presentes nas rochas do CCV, o que sugere diferentes estágios de evolução.

2.2.4.1. Área de Estudo de Batigelas

Batigelas, é uma ocorrência mineral de chumbo e zinco expressa pela presença de metais pesados no solo identificada pelos levantamentos de geoquímica do SFM. Ocorrem ainda neste setor mineralizações de níquel e cobre associadas a rochas máficas-ultrabásicas, observadas em sondagem de prospeção (Mateus *et al.*, 2013). A área de estudo encontra-se indicada na Fig. 2.5 pelo retângulo vermelho a tracejado. A cartografia geológica do setor de Batigelas foi realizada inicialmente por Gonçalves (1973a) e posteriormente melhorada por Peleja & Jardim (1974) orientada por Oliveira & Camarinhas (cartografia inédita SFM, anos 80 século XX).

Nos trabalhos de cartografia de detalhe, desenvolvidos pelos autores referidos, foi identificada uma zona mineralizada, definida como rocha siliciosa totalmente impregnada de óxidos, que não teria sido identificada no mapa geológico 1:50 000.

No setor de Batigelas foi efetuado um mapa geológico com base na cartografia preexistente, nomeadamente à escala 1:50 000 (Gonçalves, 1973a) e 1:5 000 (Peleja & Jardim, 1974), e novos reconhecimentos associados a diversos trabalhos desenvolvidos no

desenvolvidos no âmbito do projeto ZOM-3D e em parceria com o LNEG. A Fig. 2.7 mostra a nova proposta cartográfica.

A região de Batigelas abrange a FBM - Ortognaisses e Série Negra - que contacta pelo cavalgamento de Alter do Chão a NE com as rochas intrusivas da região, nomeadamente rochas peralcalinas. Estas litologias encontram-se em contacto com Arcoses e Metavulcanitos Ácidos. Este conjunto litológico, apresenta intercalações de pórfiros de carácter ácido cartografados na área. Uma zona mineralizada assinala o contacto entre este conjunto e as rochas calcossilicatadas que se apresentam ainda intruídas por gabros.

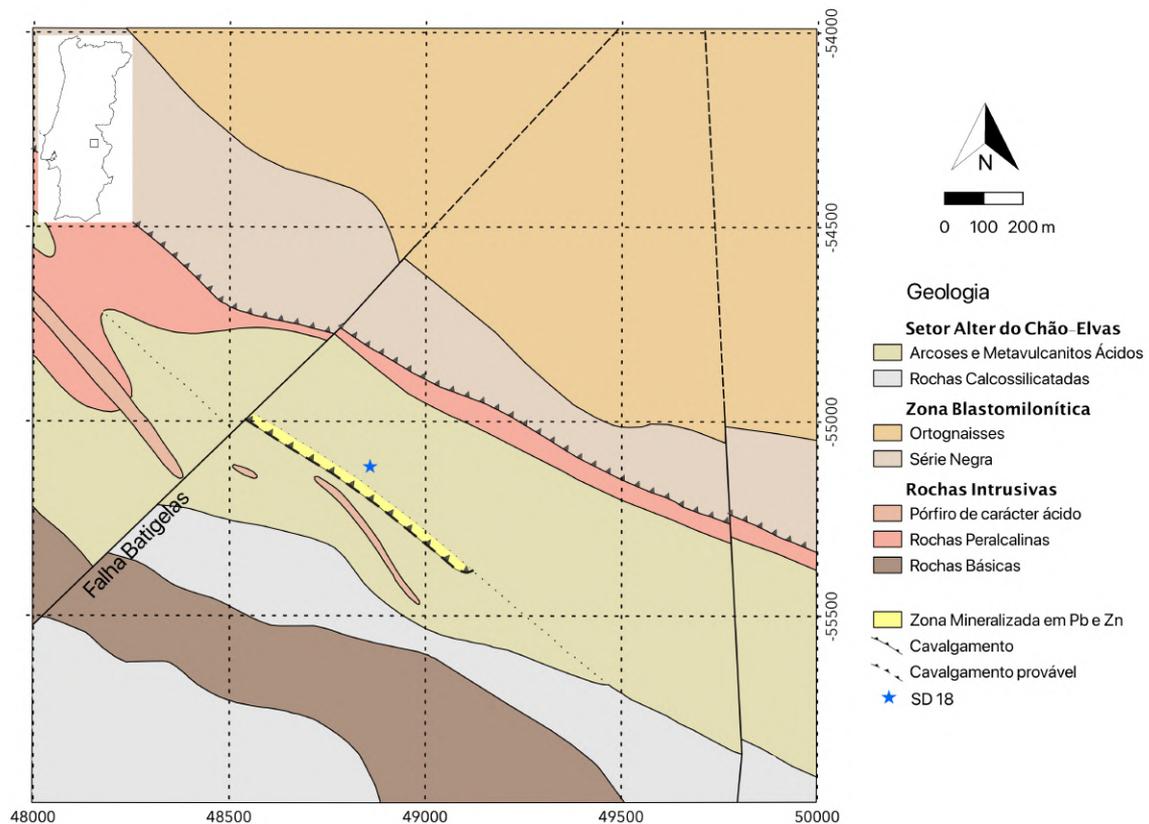


Figura 2.7 - Mapa geológico simplificado da região de Batigelas, à escala 1:5 000 (adaptado de Peleja & Jardim, 1974; Sistema de Coordenadas Hayford-Gaus Lisboa IPCC em metros).

2.3. Enquadramento Metalogénico

2.3.1. A Zona de Ossa-Morena

A Zona de Ossa-Morena, encontra-se dividida não só por setores/domínios tectono-estratigráficos, tendo como principal fator diferenciador as características litoestratigrafia, mas também por faixas metalogénicas. Esta divisão por faixas, tal como a divisão por setores, foi efetuada tanto em território Português, como em território Espanhol, devido às

diferentes características que as distinguem (Tornos *et al.*, 2004; Mateus *et al.*, 2013). Por vezes as designações são diferentes em ambos os países.

Os processos geológicos ocorridos ao longo dos ciclos Cadomiano e Varisco, possibilitaram o desenvolvimento de diversos depósitos e ocorrências minerais ao longo da ZOM. As mineralizações desenvolvidas durante o ciclo Cadomiano são características de processos mineralizantes ocorridos em arcos insulares, levando à formação de jazigos de sulfuretos maciços, jazigos de barite e jazigos do tipo SEDEX (Tornos *et al.*, 2004). Durante o ciclo Varisco, a atividade magmática, metamórfica e tectónica que se fez sentir, levou à formação de diferentes depósitos minerais, desde metais básicos, jazidas de sulfuretos maciços polimetálicos, *skarns* de óxidos de ferro, jazigos magmáticos de magnetite e de Cu-Ni, depósitos de Pb-Zn, entre tantos outros pela ZOM (Tornos *et al.*, 2004), perfazendo um total de 286 ocorrências minerais no território Português. A distribuição das mineralizações pelo território Português é apresentado por Matos & Filipe, Eds., (2013) na Carta de Ocorrências Minerais do Alentejo e Algarve, LNEG.

Mateus *et al.* (2013), definiram para a ZOM em Portugal sete faixas com potencialidade mineira, de norte para sul: Arronches - Campo Maior; Alter do Chão - Elvas; Sousel - Barrancos; Arraiolos - Sto. Aleixo; Montemor-o-Novo - Ficalho; S. Cristóvão - Beja - Serpa e Ferreira do Alentejo - Mombeja - Beja (Fig. 2.8).

A Faixa Arronches - Campo Maior, tem a sua correspondência em Espanha com a Faixa *Arronches - Córdoba* (Tornos *et al.*, 2004), esta faixa em território Português tem essencialmente mineralizações de Au(-As) e Cu-(Pb) (Mateus *et al.*, 2013).

Segue-se a Faixa Alter do Chão - Elvas, onde se insere a zona de estudo do presente trabalho, com mineralizações de Zn-Pb, Fe, Ni-Cu-Co(-EGPt, Au) e Sn-(W-F) (Mateus *et al.*, 2013), tendo a sua equivalência no território Espanhol com a Faixa Centro-Norte definida por Tornos *et al.* (2004).

A sul em Espanha, encontra-se a Faixa Centro-Sul (Tornos *et al.*, 2004), que engloba duas faixas presentes em Portugal, a Faixa Sousel - Barrancos, essencialmente com mineralizações de Cu e Cu(-Au), e a Faixa Arraiolos - Sto. Aleixo mais a sul, igualmente com mineralizações de Cu (Mateus *et al.*, 2013).

A Faixa Montemor-o-Novo - Ficalho tem a sua correspondência à Faixa *Évora - Aracena* definida por Tornos *et al.*, 2004, sendo que os principais sistemas mineralizantes destas faixas são Fe, Zn(-Pb), Zn(-Pb-Ag), Zn,Pb(Ag-Sb-Au), Au-As-Bi, Sb, Au (Mateus *et al.*, 2013).

Por fim, as faixas S. Cristóvão - Beja - Serpa e Ferreira do Alentejo - Mombeja - Beja, são denominadas em Espanha por *S. Cristóvão - Beja - Serpa* e *Beja - Complexo Ofolítico de Acebuches*, definido mais uma vez por Tornos *et al.* (2004) em que as principais mineralizações são de Fe-Ti-V, Ni-Cu, Cu-(Ag-Au), Fe e Sb,Cu(As-Au), e Cr, Ni-Cu-(Co), Cu (Mateus *et al.*, 2013), respetivamente.

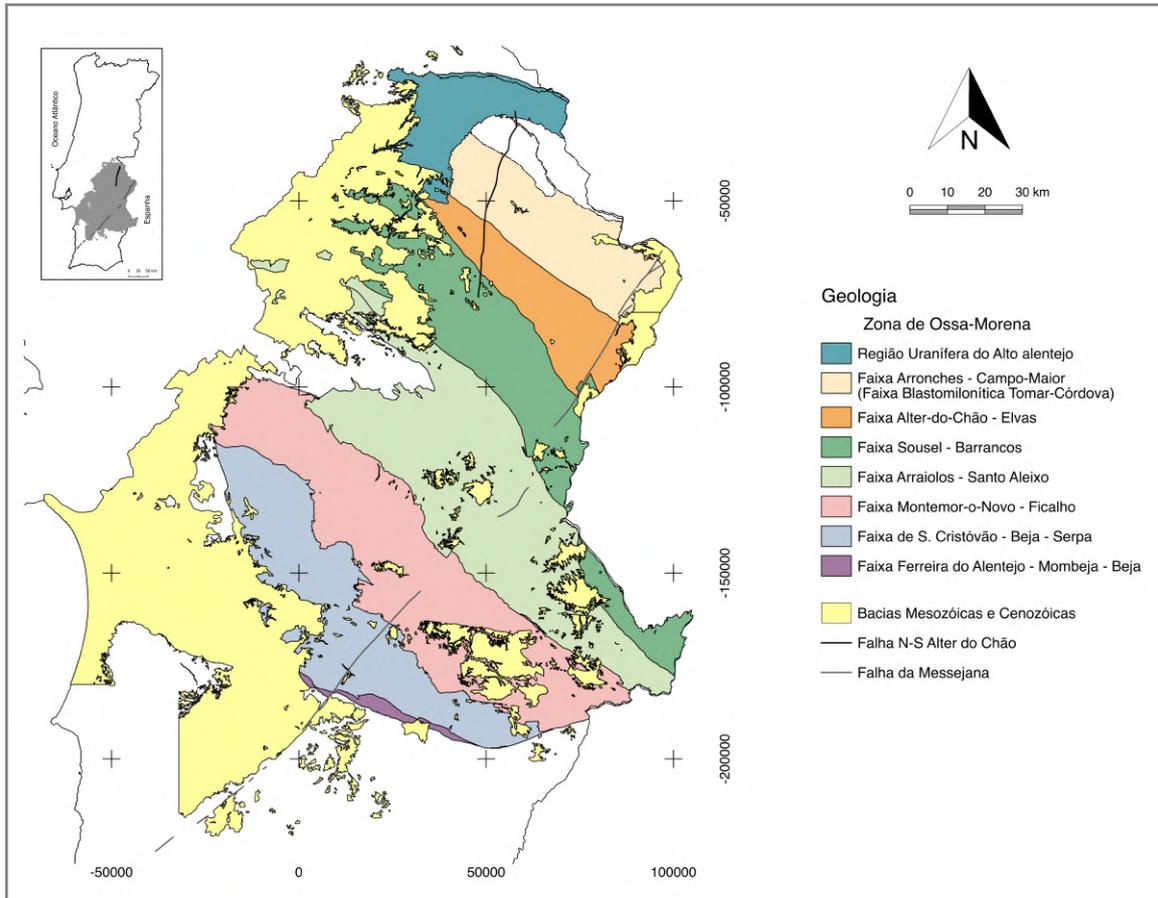


Figura 2.8 - Faixas com potencial mineiro da ZOM em território Português (adaptado de Mateus *et al.*, 2013; digitalização por Pedro Gonçalves - LNEG - Projeto ZOM-3D).

2.3.2. A Faixa Alter do Chão - Elvas

A Faixa Alter do Chão - Elvas (Mateus *et al.*, 2013), coincide com o setor tectono-estratigráfico Alter do Chão - Elvas (Oliveira *et al.*, 1991). Esta faixa descrita inicialmente por Oliveira (1986), foi identificada com ocorrências de Cu, Pb e Zn associadas a metavulcanitos intermédios a ácidos do Câmbrio Inferior, tal como mineralizações de Pb-Zn na Formação Carbonatada também do Câmbrio Inferior. Ainda dentro do mesmo período geológico e na mesma formação, foi identificada uma ocorrência de Fe em *skarns*, no contacto com o Complexo Ígneo de Elvas.

Segue-se o Maciço Granítico de Santa Eulália, alvo de inúmeros estudos e explorações efetuadas. Este maciço apresenta mineralizações de Sn e W essencialmente, e sulfuretos de metais básicos, arsenopirite e pirite, estas mineralizações distribuem-se por veios e filões de quartzo associada à zona interior porfirítica do maciço. Esta região apresenta ainda minerais de elementos do Grupo das Terras Raras, assim como cassiterite e ilmenite em depósitos aluvionares e eluvionares, anteriormente já alvo de prospeção mineira (Oliveira, 1986; Mateus *et al.*, 2013).

Na zona mais oeste desta faixa, e num alinhamento NW-SE encontra-se o Complexo Plutónico Máfico-Ultramáfico de Alter do Chão com ocorrências de Fe(-V), resultantes da diferenciação magmática e instaladas na parte interior das litologias gabróicas do maciço de Alter do Chão (Mateus *et al.*, 2013).

No Complexo Básico-Ultrabásico de Cabeço de Vide, mais a SE, foram identificadas ocorrências de Ni-Cu-Co e ainda mineralizações de EGPt e Au, ainda que em pequenas quantidades, estas mineralizações estão relacionadas com os processos de fracção das litologias ultramáficas desta região (Dias *et al.*, 2006; Pinto *et al.*, 2006b; Mateus *et al.*, 2013).

2.3.3. Área de Estudo de Batigelas

Batigelas é uma ocorrência mineral, que se caracteriza por duas anomalias distintas, uma primeira anomalia de metais pesados no solo (Pb-Zn), com um grande contraste no enquadramento geoquímico regional e por uma segunda anomalia magnética profunda possivelmente associada à presença de rochas máficas-ultramáficas identificadas na região com bons indícios de mineralizações de Ni-Cu.

Nos trabalhos realizados pelo SFM a primeira anomalia é referenciada como estando relacionada com a zona mineralizada cartografada à escala 1:5.000³. Esta mineralização surge entre duas litologias: “Arcoses e conglomerados, por vezes, com intercalações de metavulcanitos ácidos” e “Metavulcanitos ácidos”. Nos reconhecimentos efetuados na presente investigação o limite geológico não foi identificado em afloramento, pelo que o conjunto litológico, foi designado por “Arcoses e Metavulcanitos Ácidos” (Fig. 2.7).

³ Mapa geológico Batigelas à escala 1:5 000 (Peleja & Jardim, 1974), Fig. AIII - Anexo I

Capítulo 3
Metodologías

Capítulo 3 - Metodologias

3.1. Geologia

3.1.1. Trabalhos de campo

3.1.1.1. Cartografia

Nos trabalhos de campo conducentes à elaboração do mapa geológico sobre o setor de Batigelas (ver Fig. 2.7, Cap. 2), utilizou-se como base cartográfica a carta geológica e mineira n° +48/-54 à escala 1:5.000 (Peleja & Jardim, 1974) do antigo SFM, atual LNEG. Em complemento, com esta informação foram ainda utilizadas as cartas geológicas de Portugal na escala 1:50.000, folhas 32-B (Portalegre) (Gonçalves, 1973a) e 32-D (Sousel) (Gonçalves, 1973b) da Direção Geral de Minas e Serviços Geológicos. No mapeamento foi também considerada a informação presente na Notícia Explicativa da Folha 32-B (Portalegre) (Gonçalves, 1973a).

Entre outubro de 2018 e maio de 2019, foram realizadas diversas campanhas de campo em Batigelas, e, em particular sobre o Complexo Básico-Ultrabásico de Cabeço de Vide (CCV). Em outubro de 2018, foi efetuado o reconhecimento do CCV, para tal foram utilizados como apoio os relatórios inéditos efetuados para a empresa de prospeção e pesquisa Rio Narcea Gold Mines, S.A. que laborou na região entre 2003 e 2006 (Pinto *et al.*, 2004a, 2004b, 2005, 2006a).

O conjunto de dados recolhidos que culminou na Fig. 2.7 do Cap. 2, foi elaborado com o apoio do sistema SIG usando o software QuantumGis (v.2.18.24), ver Fig. 2.5 e Fig. 2.8 apresentadas também no mesmo capítulo.

3.1.1.2. Amostragem

No decorrer das campanhas de prospeção efetuadas pelo SFM na ZOM, entre as décadas de 40 e 80, foi efetuada na região de Batigelas uma sondagem carotada com o código SD18. Este furo foi realizado com uma inclinação de 45° e um azimute de 217,9°, tendo chegado aos 269,70 m de comprimento. O objetivo da sua realização foi investigar anomalias de Pb, Zn e Cu. Da superfície para o seu término a sondagem intersectou as seguintes litologias: arcoses até aos 28 metros de profundidade, rochas calcossilicatadas entre os 28 e os 40 metros, rochas básicas entre os 40 e os 77 metros, novamente rochas calcossilicatadas entre os 77 e os 140 metros, e rochas básicas entre os 140 e os 227 metros, terminando com rochas calcossilicatadas aos 269,7 metros. A amostragem desta sondagem decorreu nos dias 6 e 7 de dezembro de 2018 na litoteca de Aparis, propriedade do LNEG. Como base à amostragem foi utilizado o *log* do SFM, realizado por Vitor Oliveira, esta informação foi sempre complementada com a avaliação *in situ* dos testemunhos, deste modo

foi possível elaborar um novo *log* de acordo com os objectivos da amostragem (ver Tabela 4.1 - Cap. 4). Foram recolhidas 48 conjuntos de amostras por todo o comprimento da sondagem, de acordo com os objetivos do projeto ZOM-3D e da presente dissertação.

A recolha de testemunhos para estudo deste trabalho, focou-se sobretudo nas mineralizações metálicas com especial ênfase para as litologias máficas e ultramáficas.

3.1.2. Trabalho laboratorial

3.1.2.1. Análise macroscópica e preparação de amostras

A análise macroscópica dos testemunhos de sondagem selecionados em laboratório, teve início com um registo fotográfico, onde as amostras foram molhadas para que as litologias fossem realçadas. Foi utilizada uma escala comum a todas as fotografias bem como um fundo branco. Nas etiquetas encontramos o local de estudo, o número da sondagem e a referência escolhida (Anexo V).

Numa segunda etapa, os testemunhos foram cortados de modo a seleccionar zonas de interesse mineralógico, para tal recorreu-se à serra de precisão Discoplan-TS, com um disco Microdiamant de 200 mm x 1,5 mm x 22 mm. Após, este corte mais grosseiro obtivemos fatias de rocha que foram analisadas macroscopicamente com recurso a uma lupa binocular Leica ZOOM 2000, onde foram descritas as texturas mineralógicas e selecionados locais de estudo para execução de Superfícies Polidas (SP) e taliscas para a medição da Suscetibilidade Magnética (SM).

Os locais escolhidos para a produção de SP, foram delimitados num formato circular com um máximo de 24 mm de diâmetro, de modo a serem inseridos no molde de impregnação. Estes locais, tiveram em conta as características texturais encontradas a cada corte, e sempre que possível foi efetuado um corte paralelo à mineralização e outro perpendicular.

As taliscas para a medição da SM, foram delimitadas num formato retangular com 40 mm x 25 mm x 10 mm, estas medidas nem sempre foram cumpridas devido à natureza litológica das amostras. Foram escolhidos locais que tentassem assegurar ao máximo uma representatividade da amostra.

Após a marcação dos locais de interesse, todos eles foram referenciados e fotografados, seguindo-se novamente o corte de precisão na Discoplan-TS, com um disco Microdiamant de 200 mm x 1,0 mm x 22 mm. Este corte fino, permitiu a seleção de novos locais de estudo de grande interesse para SP, até então não detetados num corte mais grosseiro.

Numa fase posterior, foram apenas selecionadas algumas amostras para a execução de SP de acordo com os objectivos da dissertação em causa, tendo sido armazenadas as restantes amostras de testemunho de sondagem de modo a assegurar possíveis trabalhos futuros.

3.1.2.2. Produção de Superfícies Polidas

As secções de amostras previamente selecionadas e cortadas de modo a serem inseridas nos moldes de elaboração de superfícies polidas, foram referenciadas no seguimento do código previamente definido. Para esta dissertação, foram realizadas 66 superfícies polidas.

Para proceder à impregnação das amostras foi utilizada Resina Epoxy Epothin com o Endurecedor Epothin, ambos da Buehler, a mistura foi feita conforme as especificações da marca. Para garantir o rigor necessário recorreu-se à pesagem da resina e do endurecedor, na balança de precisão OHAUS GT4100V. De forma a assegurar a qualidade de impregnação, esta foi realizada em duas etapas o que facilitou o manuseamento da solução de impregnação.

Em cada molde de impregnação, foi colocada uma fina camada da solução preparada e, de seguida, a amostra com a face pretendida para estudo virada para baixo, esta foi acalcada delicadamente de modo a ficar totalmente em contacto com o molde, de seguida foi colocada por cima a etiqueta com a respetiva referência, escrita a lápis, e o restante espaço foi preenchido com a solução de impregnação. Este procedimento foi repetido para todas as amostras e após um período mínimo de secagem de 12 h, estas foram retiradas dos moldes.

De seguida, todas secções foram marcadas para uma altura comum de 15 mm e foi efetuado um corte na Discoplan-TS, esta altura é essencial para garantir que o pré-polimento das superfícies é feito de forma homogénea e para facilitar trabalhos futuros com recurso a diversos equipamentos que possuem cavidades de encaixe para amostras deste tipo, garantindo assim um tamanho padrão. Após o corte, foi realizado um polimento da face cortada de modo a que as etiquetas com as referências ficassem legíveis. Para tal, recorreu-se à polidora Logitech PM5 com pó de carboneto de silício de 600 *grit*, onde foram colocadas no máximo 13 secções no interior do anel metálico e efetuados ciclos de 30 minutos a 60 RPM, com os dois pesos do equipamento. Este procedimento foi repetido para todas as amostras até que fosse possível ler a referência.

Seguiu-se o pré-polimento com recurso novamente à polidora Logitech PM5 com pó de carboneto de silício de 600 *grit*, onde foram selecionadas no máximo 13 secções que foram colocadas dentro do anel metálico com a face que se pretendia estudar virada para baixo, de modo a estar em contacto com o prato de desgaste. À semelhança dos ciclos efetuados anteriormente, foram aplicados ciclos de 30 minutos a 60 RPM, com os dois pesos do equipamento. Os ciclos foram repetidos até que, toda a solução de impregnação endurecida que se encontrasse a cobrir a superfície da amostra fosse retirada. Após o pré-polimento foi essencial garantir que as amostras não contêm restos do pó, quer em fissuras quer em poros, para tal é necessário lavar as amostras com água corrente e de seguida coloca-las num banho de ultrassons durante um período mínimo de 10 minutos, para este passo foi utilizado o ultrassom Bandelin Sonorex RK52(H).

De seguida, foi realizado o polimento das amostras com recurso à Planopol-V da Struers, acoplado com um suporte de 5 encaixes específico para o polimento de superfícies. Foram utilizadas pastas de polimento diamantadas Buehler de 6, 3 e 1 micra, em conjunto

com panos de polimento acetinados Verdutex de 300 mm de diâmetro, também da Buehler, é de salientar que cada pasta está associada a apenas um pano.

Para iniciar o polimento das amostras foi essencial agrupar, um máximo de 5 amostras, por litologias, consolidação dos grãos, dureza e quantidade de mineralização metálica, de forma a evitar a danificação da face a estudar. As sequências de polimento iniciam-se sempre pelo ciclo da pasta de 6 micron, passando para a de 3 micron e terminando na de 1 micron, estas sequências podem incluir repetições de ciclos formando sequências como por exemplo, 6-3-1-3-1, ou 6-3-1-3-1-1 entre outras variações. Para cada ciclo foi definido ainda o número de pesos, bem como a quantidade de lubrificante, ambos variam consoante as características do grupo de amostras. Após cada ciclo as amostras foram lavadas em água corrente com detergente desengordurante, por forma a eliminar os restos de lubrificante e pasta que possam existir e, posteriormente interferir nos polimentos seguintes. Por último, as amostras foram secas com ar comprimido em ambiente controlado.

3.1.2.3. Produção de taliscas para medição de Suscetibilidade Magnética

As medições da suscetibilidade magnética foram efetuadas numa balança de suscetibilidade magnética Kappabridge, modelo KLY-4S da Agico (República Checa) no Centro de Geologia da Universidade do Porto. As medições foram realizadas à temperatura ambiente, tendo sido aplicado um campo magnético de 300 A/m.

Foram realizadas para esta dissertação 46 taliscas ao longo da sondagem, de modo a que cada litologia fosse representada.

Tal como referido no sub-capítulo 3.1.2.1. as taliscas foram delimitadas num formato retangular com 40 mm x 25 mm x 10 mm e após o corte iniciou-se o seu polimento. Para tal, recorreu-se novamente à polidora Logitech PM5 com pó de carboneto de silício de 600 *grit*, onde foram colocadas 6 taliscas de litologias idênticas, dentro do anel metálico com os dois pesos do equipamento por cima. Foram aplicados ciclos de 30 minutos a 60 RPM, às duas faces de maior área das taliscas. No final de cada ciclo, as amostras foram lavadas em água corrente e verificada a horizontalidade da superfície, tal como a rugosidade. Caso esta verificação não se encontre dentro dos parâmetros desejados, os ciclos são repetidos até que todas as taliscas apresentem a qualidade necessária à realização do estudo posterior.

3.1.2.4. Análise metalogénica

Para o estudo metalogénico, foi utilizado um microscópio petrográfico de luz refletida Carl Zeiss, modelo Axio Imager.A2m, acoplado a uma câmara fotográfica uEye, com um software integrado uEye Cockpit da aplicação IDS Software Suite (v.4.90.06).

O estudo centrou-se na caracterização paragenética e mineralógica com ênfase para as mineralizações com propriedades magnéticas, esta possui um registo microfotográfico, presente em fichas de observação metalogénicas apresentadas no Anexo VI.

Como apoio às observações realizadas foram utilizados os livros guia, Pracejus (2008) e Neumann (2019).

3.1.2.5. Química mineral

3.1.2.5.1. Microscopia eletrônica de varrimento com espectroscopia de dispersão de elétrons (SEM-EDS)

Para o estudo de química mineral das SP, recorreu-se a um Microscópio Eletrônico de Varrimento Hitachi S3700N acoplado a um sistema de microanálise QUANTAX EDS equipado com um detector de energia dispersiva Bruker XFlash 5010SDD EDS Detector, com uma resolução espectral de 126eV a FWHM/Mn K α , que se encontra no Laboratório HERCULES da Universidade de Évora.

As amostras foram analisadas em baixo vácuo de 40 Pa, com uma tensão de aceleração (*accelerating voltage*) de 20 kV e uma distância de trabalho entre 9 e 12 mm.

Para este estudo foram selecionadas um conjunto de 8 amostras (Anexo VI), resultantes do estudo metalogénico realizado anteriormente. Nestas amostras, foram realizadas análises semi-quantitativas que permitiram obter tabelas de resultados com os elementos detetados nos pontos analisados por EDS, cada ponto encontra-se identificado por uma cruz verde nas fotografias tiradas. De modo a complementar os resultados obtidos anteriormente, foram nalguns casos realizadas espectros de EDS e mapas de distribuição dos elementos químicos, previamente selecionados consoante o ponto a analisar. Através do estudo de química mineral foi possível confirmar fases minerais opacas, anteriormente identificadas no estudo metalogénico, bem como outras fases minerais presentes.

3.1.2.5.2. Difração de raios-X

Para esta dissertação foi realizada uma análise por difração de raios-X (DRX), com o intuito de identificar a rocha encaixante da amostra Bt#31 (Anexo VI). Para tal, a amostra foi fragmentada e posteriormente pulverizada com recurso a um almofariz de ágata até se obter um pó fino.

Para a análise, foi usado um difratómetro de raios-X Bruker AXS D8 Discovery equipado com uma fonte de radiação Cu K α e um detector LYNXEYE 1D, que se encontra no Laboratório HERCULES da Universidade de Évora. Para a análise de micro-DRX foi utilizada uma voltagem de 40 kV e intensidade de corrente de 40 mA. Os difratogramas foram recolhidos de 3° a 75° 2 θ , com incremento de 0,05° e, com um tempo de medição de 1 s em cada ponto. Para a identificação e composição mineralógica da amostra, foi utilizado o software DIFFRAC.SUITE EVA e a base de dados Powder Diffraction File (PDF-2, International Centre for Diffraction Data).

3.2. Geofísica

3.2.1. Método magnético

3.2.1.1. Conceitos básicos

Os objetivos do método magnético passam por estudar a superfície terrestre, identificando locais com uma anomalia magnética fraca ou forte em relação ao *background* (campo magnético Terrestre descrito a partir de um modelo matemático *standart*, como por exemplo o fornecido pelo *International Geomagnetic Reference Field (IGRF)* http://www.geomag.bgs.ac.uk/data_service/models_compass/igrf_calc.html. Para tal são feitas medições à superfície do campo magnético no local de estudo.

Os levantamentos magnéticos, são sensíveis à presença de minerais com elevada suscetibilidade magnética, permitindo distinguir áreas com diferentes concentrações destes minerais. Esta questão é de extrema relevância uma vez que, a maioria dos constituintes minerais das rochas não tem propriedades magnéticas, ou apresentam uma quantidade de minerais magnéticos muito baixa (Telford *et al.*, 1990). A existência de simples vestígios desses minerais com propriedades magnéticas, possibilita a deteção de anomalias mesmo que estas sejam fracas. Este método geofísico é utilizado em estudos geológicos a escalas globais, regionais ou locais, bem como na deteção de objetos enterrados, em campanhas de arqueologia. Os levantamentos magnéticos podem também evidenciar anomalias de origem antrópica, tais como linhas de alta tensão, centrais de produção elétrica, postos de transferência elétrica e unidades industriais (Alvoeiro, 1972).

Os levantamentos magnéticos podem ser realizados não só em terra, mas também no mar e pelo ar. Os levantamentos aeromagnéticos são uma opção bastante apelativa para a prospeção de depósitos minerais de larga escala, uma vez que a rapidez de execução do método supera os levantamentos terrestres. Como exemplo surge o setor português da Faixa Piritosa Ibérica, coberto quase na sua totalidade por este método (Matos *et al.*, 2020). Para esta dissertação foram consultados mapas de levantamento aeromagnético realizados pela companhia de prospeção e pesquisa Rio Narcea Gold Mines, S.A.⁴ (Pinto *et al.*, 2006a) e facultados pelo LNEG.

Segundo Kearey *et al.* (2002), o campo magnético da terra pode ser comparado a um íman onde se desenvolve um fluxo magnético (Fig. 3.1), as extremidades para onde esse fluxo converge são conhecidos como polos. Caso este íman se encontrasse de forma suspensa, alinhar-se-ia ao campo magnético da Terra. Os polos desse íman, tendem a direcionar-se para os polos opostos do Planeta Terra, ou seja, o polo positivo do íman tende a apontar na direção do polo norte da Terra, enquanto que o polo negativo tende a apontar para o polo sul da Terra.

⁴ Mapa disponível para consulta no Anexo II.

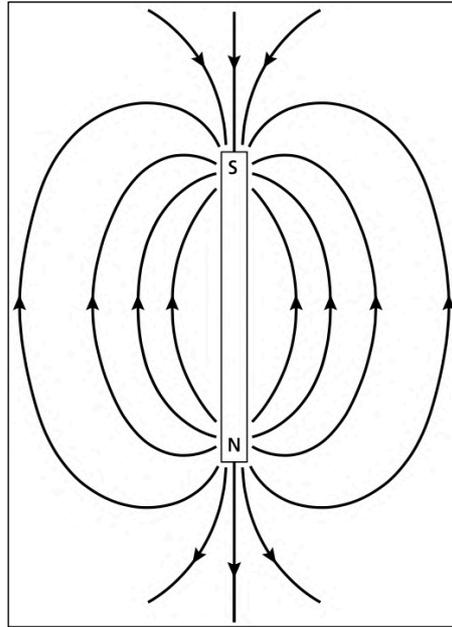


Figura 3.1 - Fluxo magnético entre dois polos de um íman (Adaptado de Kearey *et al.*, 2002).

Fundamentação teórica

A força de atração magnética entre duas partículas é muito semelhante à lei de Coulomb, que rege a atração elétrica entre duas partículas, e à lei de Newton, que rege a atração entre corpos.

O conceito de força magnética é dada pela equação 3.1 (Kearey *et al.*, 2002).

$$\vec{F} = \frac{1}{\mu} \frac{p_1 \times p_2}{r^2} \hat{r} \quad (3.1)$$

Em que p_1 e p_2 são os polos magnéticos separados por uma distância r , μ é a permeabilidade magnética do meio que rodeia os polos e \hat{r} é o vetor unitário dirigido de p_1 para p_2 .

A intensidade de campo magnético é definido num ponto do espaço, resultante de um polo magnético, p situado a uma distância r do ponto do espaço considerado. Assim, a intensidade de campo \vec{H} , como força por unidade de polo é definida pela equação 3.2 (Kearey *et al.*, 2002).

$$\vec{H} = \frac{\vec{F}}{p} \quad (3.2)$$

Um dipolo magnético define-se por dois polos de carga $+p$ e $-p$, separado por uma distância l e um vetor na direção do versor \hat{r} e com o sentido de orientação do polo negativo para o polo positivo. O momento magnético \vec{M} , é definido pela equação 3.3.

$$\vec{M} = pl\hat{r} \quad (3.3)$$

Se um corpo magnético for colocado sob ação de um campo magnético externo, esse corpo é magnetizado por indução e adquire uma certa intensidade de magnetização. Esta intensidade de magnetização é proporcional à intensidade do campo externo e toma a direção desse mesmo campo. A intensidade de magnetização I , é definida pela equação 3.4, como momento por unidade de volume, em que v é o volume.

$$I = \frac{M}{v} \quad (3.4)$$

A suscetibilidade magnética K , é definida como grandeza adimensional e representa a facilidade com que um corpo por ser magnetizado e produzir, por consequência, o seu próprio campo magnético. É definido pela equação 3.5 como sendo a razão entre a intensidade de magnetização e a intensidade do campo magnético.

$$K = \frac{I}{H} \quad (3.5)$$

A indução magnética B , é o campo magnético total, ou seja, considera-se a soma de dois campos H e H' (equação 3.6). Um corpo magnético sob a ação de um campo magnético externo H , dividido em dipolos magnéticos elementares, alinham-se de acordo com a direção do campo externo H e produz o seu próprio campo H' , o que aumenta o campo total no corpo.

$$B = H + H' \quad (3.6)$$

Ou seja, o campo H' cresce com a intensidade total do campo no interior do corpo, logo H' é proporcional a I , isto é:

$$H' = 4\pi I$$

Logo,

$$B = H + 4\pi I$$

3.2.1.2. Campo magnético terrestre

Segundo Telford *et al.* (1990) e Kearey *et al.* (2002) o campo geomagnético é composto por três partes:

Campo magnético terrestre principal

Campo magnético principal, não é constante, varia muito lentamente e tem origem interna. Esta variação (designada Secular), ocorre devido a correntes de convecção internas do material condutor existente no núcleo externo do planeta, que por sua vez se encontra em estado líquido (por inferência de dados sísmicos - inibição à passagem das ondas sísmicas S) (Telford *et al.*, 1990; Kearey *et al.*, 2002). Este material, encontra-se em constante movimento em torno do núcleo interno e será composto essencialmente por ferro e níquel. O campo magnético principal é responsável pela grande maioria do valor de campo total (90% do campo total), podendo ser representado por um dipolo centrado e inclinado cerca de 11,5° em relação ao eixo de rotação da Terra, o que leva a que o equador magnético não coincida com o equador geográfico e, como tal, os polos magnéticos estão deslocados em relação aos polos geográficos. Os valores de intensidade ao longo do planeta Terra não são homogêneos, atingindo valores mínimos na ordem dos 25.000 nT nas regiões do equador e valores máximos na ordem dos 600.000 nT nos polos. O valor do campo magnético terrestre varia lentamente e de forma progressiva com o tempo na ordem de grandeza secular. Esta variação acontece devido às correntes de convecção existentes no núcleo, que sofrem periodicamente inversões de polarização. Estas inversões ficam registadas nas formações rochosas, com especial incidência para as rochas ígneas básicas com minerais magnéticos formadas no processo de criação de crosta oceânica ao longo de *rifts*. O modelo do campo magnético interno para qualquer ponto do planeta Terra é fornecido pelo *International Geomagnetic Reference Field (IGRF)*, o qual se baseia em modelos matemáticos que determinam o conjunto de coeficientes que melhor se adaptam ao valor do campo magnético principal e à sua variação secular.

Campo magnético terrestre externo

O campo magnético externo, é apenas uma pequena parte do campo magnético principal, sendo contudo, ao contrário do campo de origem interna, e variando rapidamente com o tempo. Esta variação é em parte cíclica e em parte aleatória e tem origem externa, nomeadamente nas variações solares diurnas. As variações de amplitude diurnas registadas, podem atingir ± 80 nT e são influenciados pela latitude e pela época do ano, tendo uma origem solar e um período de 24h. As variações de amplitude lunares, registam amplitudes mais baixas até ± 2 nT, sendo influenciadas pelas fases lunares e por um período de 25h. Existem ainda as variações de amplitude provocadas por tempestades magnéticas de origem solar, as quais, apesar de não serem tão comuns, podem atingir ± 1000 nT. Relacionadas com estas tempestades surgem as auroras boreais registadas nas regiões polares. O campo magnético externo é responsável por uma pequena percentagem

do valor do campo magnético, estando associado a correntes elétricas nas camadas ionizadas da atmosfera terrestre (Telford *et al.*, 1990; Kearey *et al.*, 2002).

Variações do campo principal ou variações laterais de campo

As variações do campo principal são mais pequenas que o campo principal, sendo constantes com o tempo e espaço. Estas variações são causadas por anomalias magnéticas próximas das superfícies terrestres. Os depósitos minerais que provocam estas anomalias magnéticas têm a particularidade de não poderem estar localizados a grandes profundidades, pois a temperatura de Curie é ultrapassada e os minerais metálicos perdem as suas propriedades magnéticas originais (Telford *et al.*, 1990; Kearey *et al.*, 2002).

3.2.1.3. Tipos de magnetismo

Os materiais apresentam respostas diferentes quando submetidos a um campo magnético (Telford *et al.*, 1990). O comportamento da estrutura magnética divide estes em três grupos, diamagnéticos, paramagnéticos e ferromagnéticos (Hroudá *et al.*, 2009).

Diamagnéticos

Um material diamagnético apresenta um magnetismo fraco pelo que a magnetização aplicada ao campo é oposta à direção desse campo, o que produz uma suscetibilidade magnética negativa. O diamagnetismo encontra-se em minerais como o quartzo, grafite e rochas como o mármore (Telford *et al.*, 1990).

Paramagnéticos

Este grupo é representado pelos materiais paramagnéticos, que apresentam uma suscetibilidade magnética positiva, mas fraca. Nestes materiais os eletrões encontram-se incompletos e quando expostos a um campo magnético externo, alinham-se produzindo um campo no mesmo sentido (Kearey *et al.*, 2002). Os minerais conhecidos como paramagnéticos apresentam elementos como alumínio, magnésio e óxidos de ferro.

Ferromagnéticos

Os materiais ferromagnéticos, apresentam os dipolos paralelos o que provoca uma magnetização espontânea mesmo na ausência de um campo magnético externo, e uma suscetibilidade magnética muito alta (Kearey *et al.*, 2002). O ferromagnetismo decresce com a temperatura e desaparece à temperatura de Curie. São exemplos de minerais ferromagnéticos os que contêm ferro, cobalto e níquel. Os materiais ferromagnéticos dividem-se consoante os seus domínios magnéticos, em antiferromagnéticos e ferrimagnéticos (Telford *et al.*, 1990). O antiferromagnetismo tem uma suscetibilidade magnética muito próxima do paramagnetismo. A hematite é um exemplo destes minerais. Os materiais ferrimagnéticos possuem uma forte magnetização espontânea e uma alta

suscetibilidade, a pirrotite é um exemplo destes minerais. Praticamente todos os minerais com propriedades magnéticas são ferrimagnéticos (Kearey *et al.*, 2002).

Suscetibilidade magnética dos minerais

A suscetibilidade magnética dos minerais é muito variável e não depende apenas do campo de medição, mas também da temperatura e do tamanho dos grãos dos minerais ferromagnéticos, que por sua vez depende do conteúdo de ferro presente nas rochas e em que minerais este se encontra (Sant’Ovaia, 2008; Hrouda *et al.*, 2009). Os valores de suscetibilidade magnética dos minerais nem sempre apresentam valores exatos, mas sim intervalos de valores, devido à variabilidade da suscetibilidade da sua composição química dos minerais (Hrouda *et al.*, 2009). A tabela 3.1 apresenta alguns exemplos de intervalos de valores tabelados de suscetibilidade magnética em minerais.

Tabela 3.1 - Suscetibilidades magnéticas de alguns minerais, adaptado de Sant’Ovaia, 2008 e Hrouda *et al.*, 2009.

Tipo de magnetismo	Mineral	K(SI)
Diamagnético	Quartzo	-1.5×10^{-5}
	Galena	-3.3×10^{-5}
Paramagnético	Arsenopirite	3.0×10^{-3}
	Calcopirite	$3.0 - 4.1 \times 10^{-4}$
	Cromite	$2.8 - 7.0 \times 10^{-6}$
	Esfalerite	$-15.0 - 2.0 \times 10^{-6}$
	Ilmenite	8.0×10^{-6}
	Pirite	$-6.3 - 63 \times 10^{-6}$
	Titanite	2.6×10^{-4}
Ferromagnético	Hematite	$1.3 - 7.0 \times 10^{-6}$
	Magnetite	6.2
	Pentlandite	1.0×10^{-4}
	Pirrotite	$1 - 6000 \times 10^{-3}$

3.2.1.4. Aquisição e processamento de dados magnéticos

Para medir o campo magnético são usados magnetômetros. Estes são sensores que medem a densidade de fluxo magnético, que é diretamente proporcional à intensidade de campo magnético. O uso de magnetômetros permite identificar flutuações no campo magnético da Terra. Os dados registados são valores de campo total ou valores de campo vertical, consoante as especificações do equipamento utilizado. Os magnetômetros estão

divididos consoante a sua forma de medição do campo, repartindo-se entre os vetoriais, que medem o valor da densidade de fluxo numa direção específica no espaço, os magnetómetros de fluxo (*Fluxgate*), medindo a força de qualquer componente do campo da Terra orientando o sensor na direção desejada, e os escalares, que medem apenas a magnitude do vetor campo magnético que atravessa o sensor, independentemente da sua direção (Hrvoic & Hollyer, 2005). São exemplos deste tipo de magnetómetros os de precessão protónica e os de excitação ótica.

Para esta dissertação, foram utilizados dois magnetómetros de precessão protónica, sendo um deles equipado com sensores *Overhauser*.

Magnetómetro de precessão protónica

Os magnetómetros de precessão protónica, utilizam átomos de hidrogénio para produzir sinais de precessão. Estes, são compostos por um recipiente preenchido com um líquido rico em átomos de hidrogénio, tal como água, ou querosene (Hrvoic & Hollyer, 2005). Os prótons de hidrogénio atuam como pequenos dipolos que se alinham paralelamente ao campo geomagnético. Estes prótons são submetidos a uma corrente que produz um campo magnético maior e numa direção diferente, o que leva a que os prótons se alinhem numa nova direção. Quando a corrente é interrompida, os prótons polarizados sofrem um movimento de precessão para realinhá-los à densidade de fluxo normal (Kearey *et al.*, 2002). A medição da frequência de precessão é sequencial, pois existe uma polarização inicial e de seguida é feita uma medição de frequência. Este método difere das medições contínuas, onde as polarizações e as medições de frequência são simultâneas. O magnetómetro de precessão, é sensível aos fortes gradientes magnéticos, o que leva à precessão dos prótons em diferentes partes no sensor a taxas diferentes, provocando deste modo um efeito adverso na intensidade do sinal de precessão. Estes magnetómetros, ao usarem polarizações simples permitem medições de até 2 ou 3 leituras por segundo (Hrvoic & Hollyer, 2005).

Magnetómetro de precessão protónica com efeito Overhauser

Os magnetómetros de efeito *overhauser* são uma melhoria dos magnetómetros de precessão protónica. O efeito *overhauser* baseia-se num efeito da física quântica, que consiste na adição de um líquido rico em radicais livres (átomo com eletrões livres) ao líquido do sensor que contém átomos de hidrogénio (Hrvoic & Hollyer, 2005). Este novo líquido é exposto a uma polarização secundária de um campo magnético de radiofrequência. Os campos magnéticos de radiofrequência são ideais para o uso em equipamentos magnéticos, pois não perturbam o campo geomagnético. Os eletrões livres presentes no líquido, transferem o seu estado excitado para os prótons de hidrogénio o que polariza o líquido do sensor. Estes magnetómetros trabalham de forma contínua, o que permite medir continuamente o campo magnético (Hrvoic & Hollyer, 2005). Quando comparados com os magnetómetros de precessão protónica, são instrumentos com um consumo energético mais baixo, têm uma taxa de amostragem máxima de 5 leituras por segundo, são mais precisos e

sensíveis o que facilita a deteção de campos magnéticos mais baixos da Terra, são mais fáceis e leves de transportar (Kearey *et al.*, 2002).

Aquisição de dados magnéticos na área de estudo de Batigelas

A aquisição de dados geofísicos para a presente dissertação foi realizada em 4 campanhas, decorridas em 2019 nos dias 28 de fevereiro, 14 de abril, 16 e 21 de maio. A área de estudo de Batigelas (AEB), tem cerca de 1 km². O processo de aquisição de dados foi realizado de modo a que fosse criada uma malha densa o suficiente para definir toda a zona anómala. A Fig. 3.2 representa o percurso dos levantamentos realizados nas 4 campanhas. As linhas de medição têm uma orientação geral NE-SW, sendo esta subperpendicular à direção geral das estruturas geológicas.

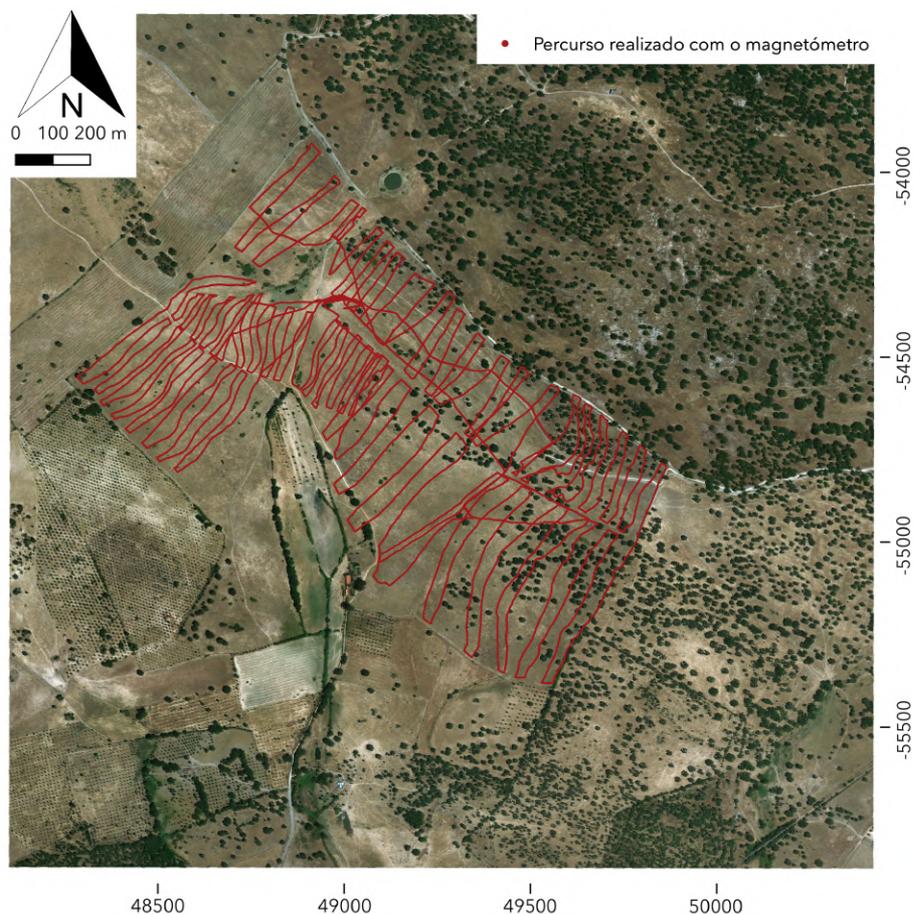


Figura 3.2 - Percurso realizado na totalidade das 4 campanhas de prospeção magnética na região de Batigelas (Sistema de Coordenadas Hayford-Gaus Lisboa IPCC em metros).

Para as aquisições foi utilizado, como estação base, um Magnetómetro de Precessão Protónica G-856 Memory-Mag da GEOMETRICS a funcionar em modo de aquisição automático com leituras em intervalos de 60 segundos. Este equipamento foi utilizado com o intuito de registar o campo magnético total, no qual se incluem as variações diurnas no campo magnético da Terra e os registos por ele efetuados foram feitos nos dias exatos em que decorreram as campanhas. Essas leituras, foram posteriormente utilizadas para corrigir as medições efetuadas pelo magnetómetro móvel. O magnetómetro móvel é do tipo de

Precessão Protónica, com efeito *Overhauser* GSM-19 da GEM System, cuja resolução é de 0,01 nT e sensibilidade 0,20 nT. O modo de funcionamento adotado, designado por *walkmag* permitiu fazer uma aquisição de 2 leituras por cada segundo, à medida que o operador se desloca ao longo do perfil. A este sensor está acoplado um sistema de GPS (Fig. 3.3) que permite uma localização submétrica de cada leitura.



Figura 3.3 - Aquisição de dados com um sensor acoplado a GPS.

Processamento de dados magnéticos

Os dados adquiridos pelos equipamentos de prospeção magnética, sofreram um conjunto de etapas de processamento até à obtenção de um mapa final de anomalias magnéticas.

Para tal, foram submetidos a um pré-processamento tendo em vista a sua uniformização para serem posteriormente importados e manipulados matematicamente por um *software* de análise numérica. No final de cada campanha realizada os dados foram retirados do magnetómetro base e do magnetómetro móvel, em ambos os casos foram utilizados *software* específicos e sugeridos pelas marcas dos equipamentos em questão.

Para o magnetómetro base, foi necessário a utilização do *software* MagMap (v.5.04) para a extração dos ficheiros de dados, e para o magnetómetro móvel foi utilizado o *software* GEMLink (v.5.3).

O pré-processamento baseia-se numa “limpeza” dos ficheiros exportados, que necessitam de ser uniformizados quanto à forma em que a informação se apresenta, deixando o ficheiro o mais simples e apenas com a informação importante para o processamento utilizado. Após este pré-processamento, os dados foram importados para o *software* MATLAB onde foram processados por um algoritmo⁵ desenvolvido para o caso de estudo.

O processamento baseia-se num conjunto de operações, onde é feita inicialmente uma limpeza com base no fator de qualidade do sinal adquirido do magnetómetro móvel, este fator é definido pela marca do equipamento como boa quando se encontra a 99, qualquer leitura com um fator inferior a este deve ser eliminada.

Após esta limpeza, é executada a correção do efeito da variação diurna através da diferença entre os valores medidos da base, e os valores do campo medidos no magnetómetro base. Esta operação só poderá ser efetuada após interpolação dos valores da base para os instantes de registo dos valores do magnetómetro base. A diferença entre estes dois valores tem como efeito a eliminação das flutuações diurnas (Telford *et al.*, 1990), de onde obtemos o mapa de anomalias magnéticas em relação à base diurna de Batigelas apresentado pela Fig. 3.4 - A.

O mapa magnético produzido mostra-nos uma grande variabilidade de valores, cujo valor limite positivo sugere a existência de *outliers*. A sua existência é comprovada ao analisar o gráfico de caixa de bigodes - *boxplot*, representada pela Fig. 3.5 - A, em que se observam um conjunto de *outliers* positivos e negativos (Schwertman *et al.*, 2004). Para filtrar estes *outliers*, foi executado um ajuste de amplitude, considerando a análise estatística dos dados, mediana \pm desvio padrão (Pearson, 2002; Leys *et al.*, 2013; Mishra & Datta-Gupta, 2017). A eficácia da filtragem dos *outliers* é verificada através do cálculo do novo gráfico de caixa de bigodes, representado pela Fig. 3.5 - B onde se observa que os *outliers* deixaram de existir. A Fig. 3.4 - B mostra o mapa de anomalias magnéticas em relação à base diurna de Batigelas, obtido pela nova interpolação com o conjunto de dados filtrados. O método de interpolação utilizado foi o vizinho natural (*natural neighbor interpolation*), este método é utilizado regularmente em dados geofísicos. Para uma correção do efeito da variação diurna mais precisa é essencial recorrer ao valor da anomalia do campo magnético no local em estudo sem o efeito das variações diurnas, para tal é efetuada uma medição no período calmo. No entanto, para este estudo não foi possível instalar uma base no período noturno de modo a obter esse valor. Contudo, foi executada uma extrapolação do valor da anomalia do campo magnético em Batigelas com o suporte da Base de Toledo. Uma vez que as variações diurnas são, regra geral, significativas de local para local, segundo Kearey *et al.*, (2002) o observatório não deverá estar a uma distância superior a 100 km da área em estudo. Tendo em conta estes dados, a extrapolação apenas foi efetuada após uma rigorosa comparação das leituras efetuadas na Base de Toledo e das leituras dos levantamentos magnéticos em Batigelas. Os resultados mostraram-se bastante satisfatórios apesar da distância entre os dois locais, sendo que não deixam de existir reservas quanto aos resultados obtidos que serão apresentados e discutidos nos capítulos seguintes. Os resultados seguintes foram corrigidos

⁵ Fluxograma do algoritmo disponível no Anexo III.

pele valor calculado pelo modelo IGRF de 2012 e posteriormente foi realizada uma redução ao polo com recurso ao *software* Oasis Montaj (Geosoft).

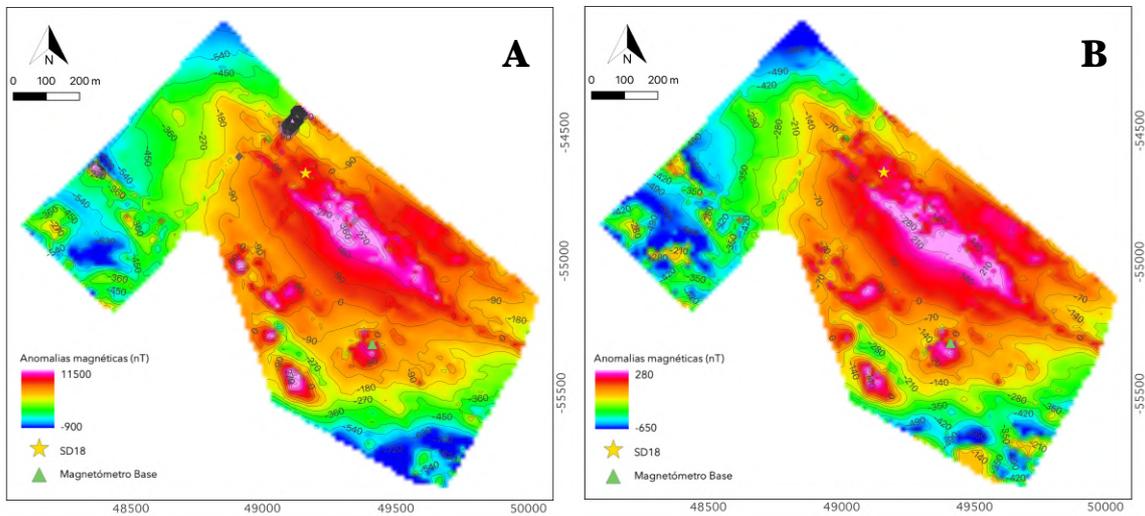


Figura 3.4 - **A:** Mapa de anomalias magnéticas com *outliers* em relação à base diurna de Batigelas. Interpolação realizada em MATLAB e mapa produzido em QGIS.
B: Mapa de anomalias magnéticas após extração de *outliers* em relação à base diurna de Batigelas. Interpolação realizada em MATLAB e mapa final produzido em QGIS.

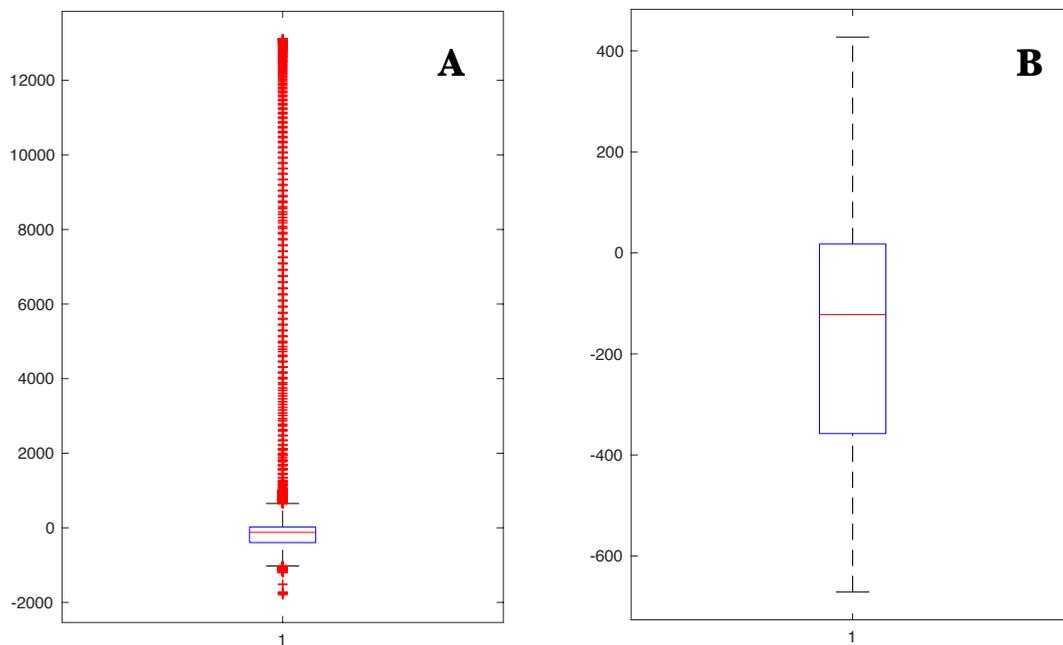


Figura 3.5 - **A:** Caixa de bigodes com *outliers*. **B:** Caixa de bigodes após extração de *outliers*.

Capítulo 4
Apresentação de resultados

Capítulo 4 - Apresentação de resultados

4.1. Estudo metalogénico

O presente subcapítulo apresenta a descrição macroscópica e microscópica dos minerais constituintes das litologias identificadas na sondagem SD18, bem como a composição química de alguns dos minerais presentes nesses litótipos. Importa referir que o estudo foi feito exclusivamente em minerais opacos e não abrange a paragénesese de silicatos e dos minerais acessórios, tendo sido feita apenas a caracterização dos sulfuretos e óxidos. Pretendeu-se assim caracterizar os minérios e as possíveis fontes de anomalias de suscetibilidade magnética. Na Fig. 4.1 podemos observar a localização das amostras estudadas em profundidade, em que a vermelho estão assinaladas as amostras analisadas com recurso ao Microscópio Eletrónico de Varrimento (SEM).

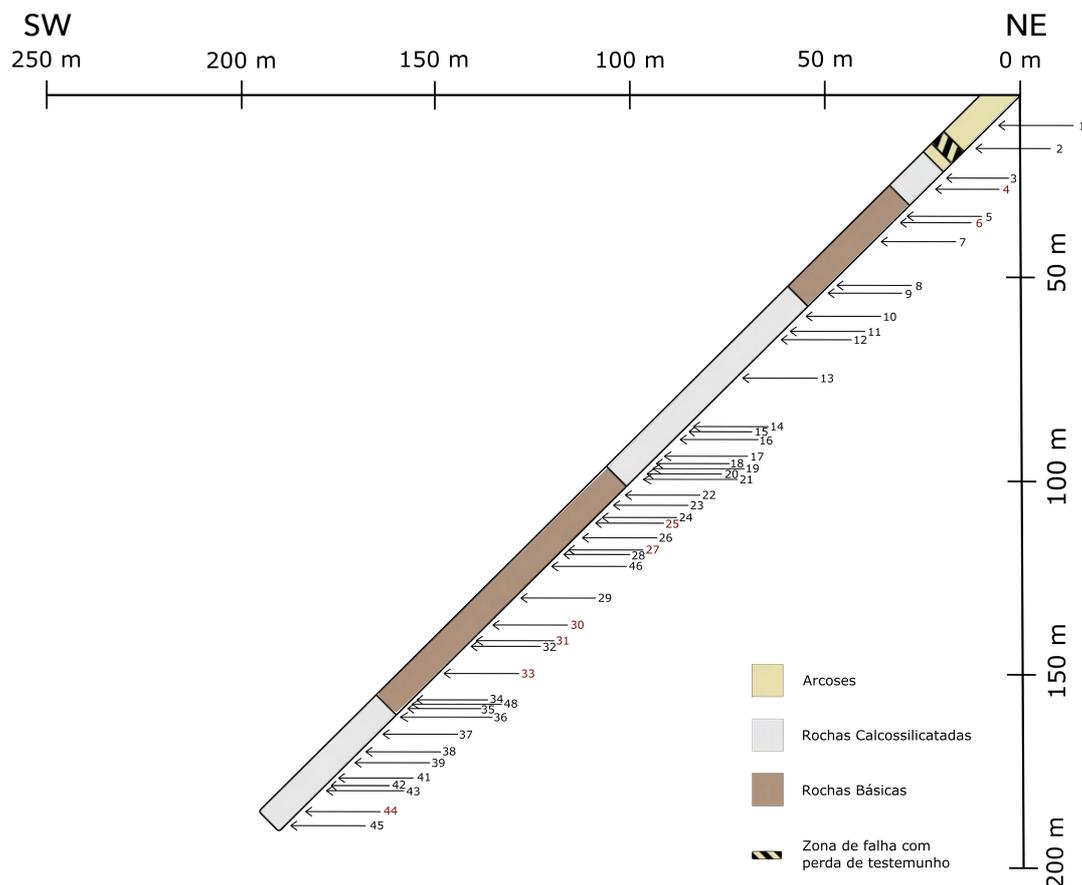


Figura 4.1 - Perfil simplificado da sondagem SD18, com localização das amostras em profundidade. A vermelho estão assinaladas as amostras selecionadas para estudo com SEM.

As interpretações litológicas tiveram como base o *log* efetuado para a sondagem em questão no ato da amostragem e o *log* anterior efetuado por Oliveira (1974). A tabela 4.1 apresenta essas descrições na segunda e terceira coluna, respetivamente.

A descrição da sondagem em conjunto com o trabalho de cartografia 1:5000, apresentado pela Fig. 1.7 permitiu agrupar as litologias em três conjuntos litológicos: Arcoses, Rochas Calcossilicatadas e Rochas Básicas.

Tabela 4.1 - Log simplificado da sondagem SD18.

Sondagem n° 18		Área: Batigelas (Alter do Chão)	
Inclinação: 45°		Azimute: 216,9	Comprimento: 269,70 m
Amostra	Distância à origem (m)	Descrição das Rochas e Minerais (Presente trabalho)	Descrição das Rochas e Minerais (SFM; Oliveira,1974)
	0 - 11,00	Arcoses	Arcoses por vezes com níveis quartzíticos
Bt#1	11,45 - 11,60	Arcoses, veio centimétrico de quartzo com possível mineralização	
Bt#2	19,35 - 19,50	Arcoses, vênulo de especularite com halo de oxidação	Pequeno vênulo de especularite aos 19,40 m
	20,00 - 25,00		Possível falha. Grande perda de testemunho entre 20 e 25 m.
	28,00	Rocha calcossilicatada	Anfibolito fino rocha verde
Bt#3	30,00 - 30,50	Rocha calcossilicatada, veio de clorite + quartzo com possível alteração hidrotermal	
Bt#4	34,13 - 34,60	Rocha calcossilicatada c/blasto carbonatado, sulfuretos disseminados, veio de quartzo + clorite	Aos 34,70 m apresenta texturas de tufo vulcânico.
	40,40	Intercalações de rochas vulcânicas c/ aparência tuftica e félsica, tufito argilítico	~42 m - O contacto faz-se através da zona anfibolítica (actinolite), Calcários. ~43,5 m – Tufitos intermédios
Bt#5	44,50 - 45,10	Possível rocha vulcânica fina de tipo intermédio	
Bt#6	46,45 - 46,74	Rocha ígnea básica de matriz fina e disseminações de sulfuretos	Anfibolito fino Tufo intermédio básico Tufitos intermédios
Bt#7	53,50-53,70	Rocha ígnea básica c/ pirite, c/ veios de quartzo e intercalação de rocha calcossilicatada (?)	~52 m – calcário dolomítico Aos 53,70 m há 20 cm de rocha anfibolítica actinolítica, correspondendo à zona próxima do calcário há uma dobra
Bt#8	69,13 - 69,29	Rocha ígnea básica silicificada, de cor verde c/ sulfuretos	~65,3 m – Tufitos ácidos ~66,1 m – calcários dolomíticos com ligeiras passagens de tufitos ácidos
Bt#9	72,12 - 72,45	Zona de transição	~70,6 m – calcoxisto. A parte xistenta por vezes é negra Aos 74 m óxidos ferríferos semelhantes à rocha negra da sanca n°1
Bt#10	77,50 - 77,77	Rocha calcossilicatada c/boudins, c/ disseminações de sulfuretos ao longo do bandado metamórfico	~75 m – Dolomitoxisto. A parte xistenta é bastante negra
Bt#11	86,35 - 86,50	Metavulcanito c/veios de carbonatos com sulfuretos	~85 m - Corneana calcossilicatada Safrão aos 87,72 m – 87,84 m e aos 88,20 m - 88,38 m
Bt#12	89,40 - 89,60	Rocha calcossilicatada, c/ dobramento e disseminações de sulfuretos na matriz	~88,50 m – Dolomitoxisto. A parte xistenta é bastante negra
Bt#13	103,25 - 103,43	Rocha calcossilicatada c/ disseminações de sulfuretos na matriz	
Bt#14	121,24 - 121,50	Rocha ígnea básica c/ disseminações de sulfuretos sem xistosidade	
Bt#15	122,14 - 122,41	Rocha ígnea básica c/ disseminações de sulfuretos ao longo do bandado metamórfico	~123 m – corneanas calcossilicatadas

Capítulo 4 - Apresentação de resultados

Bt#16	125,78 - 125,98	Rocha calcossilicatada c/ vénulos de sulfuretos em rede	~125,7 m – Metavulcanitos intermédios ~130 m – possível falha
		Presença de serpentina	
Bt#17	132,69 - 132,78	Bandado metamórfico c/disseminações organizadas em rede de fraturas milimétricas nas rochas calcossilicatadas	~135,7 m – Corneana calcossilicatada. Colhida amostra aos 133 m
Bt#18	134,0 - 134,16	Bandado metamórfico c/sulfuretos associados nas rochas calcossilicatadas	~133,3 m – Metavulcanitos intermédios básicos
Bt#19	136,09 - 136,21	Rocha calcossilicatada c/presença de talco (?) e sulfuretos	
Bt#20	138,18 - 138,32	Rocha calcossilicatada c/veios de quartzo com sulfuretos possivelmente recristalizados	
Bt#21	140,81 - 140,95	Corneana muito silicificada, c/ sulfuretos	~140,3 m – Corneana calcossilicatada
Bt#22	143,47 - 143,66	Rocha ígnea básica, c/epídoto e pirite	~143 m – Anfibolito fino, metavulcanito intermédio básico
Bt#23	150,84 - 151,03	Rocha ígnea básica silicificada c/sulfuretos	
Bt#24	154,20 - 154,44	Possível peridotito c/serpentina	
Bt#25	156,60 - 156,85	Possível peridotito c/ veios milimétricos de carbonatos	~156 m – Metavulcanitos intermédios
Bt#26	160,77 - 162,02	Possível peridotito menos alterado	
Bt#27	166,35 - 166,50	Possível peridotito c/ sulfuretos	
Bt#28	168,35 - 168,52	Possível peridotito c/epídoto e sulfuretos	
Bt#46	172,80 - 172,93	Possível peridotito c/ sulfuretos ao longo do bandado metamórfico (recolhida dentro de zona de falha)	Anfibolito fino metavulcanito intermédio básico
Bt#47	180,50 - 180,60	Rocha ígnea básica c/ veios de quartzo, dobramento e sulfuretos disseminados (recolhida dentro de zona de transição)	
Bt#29	183,55 - 183,80	Níveis de sulfuretos semi-maçiços em rocha máfica	
Bt#30	193,33 - 193,49	Brecha, dolomite e quartzo	~190,4 m – Dolomitoxisto. ~191,5 m – Metavulcanitos intermédios
Bt#31	199,50 - 199,93	Gabro com textura <i>flaser</i>	
Bt#32	201,70 - 201,79	Rocha ígnea básica e rocha mais escura c/ sulfuretos disseminados	~200,5 m – Anfibolito fino, metavulcanitos intermédio – básico ~202 m – Metavulcanito intermédio
Bt#33	211,20 - 211,37	Gabro mineralizado c/ sulfuretos	~211 m – Metavulcanito intermédio
Bt#34	221,55 - 221,75	Brecha mineralizada c/ sulfuretos	
Bt#48	222,40 - 222,90	Brecha mineralizada c/ sulfuretos	~220,80 m – Pirite sob a forma ? dispersas
Bt#35	224,70 - 224,82	Brecha mineralizada c/ sulfuretos	
Bt#36	227,15 - 227,30	Gabro grosseiro mineralizado	~226,20 m - fim pirite
Bt#37	234,00 - 234,20	Rocha calcossilicatada mineralizada	
Bt#38	240,15 - 240,40	Mármore de grão médio a grosseiro, mineralizado em veios	
Bt#39	243,25 - 243,50	Mármore mineralizado	
Bt#40	244,75 - 244,90	Mármore rosa	
Bt#41	250,25 - 250,40	Mármore c/ sulfuretos ao longo do bandado metamórfico	
Bt#42	252,65 - 252,95	Mármore mineralizado, c/ anfibolas, metamorfismo de contacto	~253 m – Metavulcanitos intermédios - básicos
Bt#43	254,16 - 254,32	Mármore c/ alteração clorítica e sulfuretos	
Bt#44	262,80 - 263,20	Mármore c/ alteração clorítica e sulfuretos	Calcoxisto metamorfizados. ~263 m – Anfibolito fino diabase Colhida amostra aos 264 m
Bt#45	267,10 - 267,30	Mármore c/ sulfuretos disseminados	~267,40 m – calcário metamorfizado ~267,80 m – Anfibolito diadase Fim da sondagem aos 269,70 m

4.1.1. Arcoses

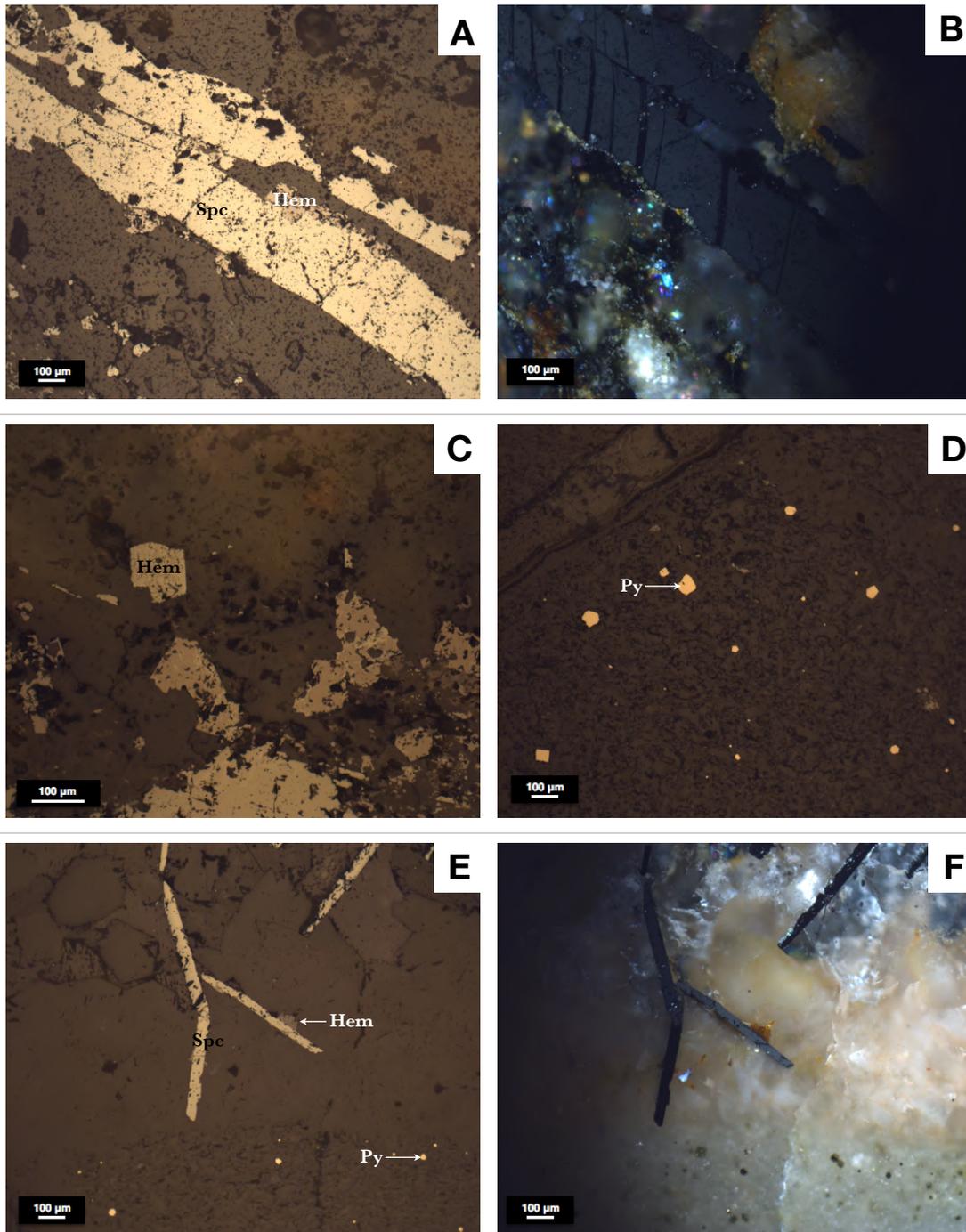
O conjunto litológico Arcoses e Metavulcanitos Ácidos pertencentes ao Setor Alter do Chão-Elvas (SACE), é representado na sondagem apenas por Arcoses. Esta litologia encontra-se desde o início da sondagem até sensivelmente aos 28 metros de comprimento, sendo que entre os 20 e os 25 metros existiu perda de testemunho, provavelmente devido à existência de uma zona de falha.

Macroscopicamente as Arcoses caracterizam-se por níveis quartzíticos, com veios milimétricos a centimétricos de especularite. Estes veios, por vezes, apresentam-se com especularite na forma disseminada. Identificam-se ainda filonetes de quartzo paralelos ao bandado composicional e por vezes a cortar o mesmo. Estas rochas apresentam ainda uma tonalidade cinzenta escura a cinzenta clara, intercalada com níveis esverdeados.

A mineralização identificada e estudada inclui óxidos de ferro, dos quais se salientam a hematite e especularite (variedade da hematite). Em menor representatividade surgem ainda nesta litologia sulfuretos representados por pirites.

Os óxidos de ferro identificados nas amostras ocorrem em veios de quartzo. A especularite apresenta-se com brilho metálico e uma forma lamelar que lhe são características (Estampa 1A , B, E e F). Na estampa 1C a hematite apresenta-se de forma euédrica a subeuédrica.

As pirites encontram-se dispersas pela matriz, apresentam por vezes formas euédricas e são de dimensões reduzidas (<100 μ m) (Estampa 1D, E e F) .



Estampa 1 - Características microscópicas das mineralizações presentes no conjunto litológico Arcoses.

Hem-Hematite; **Spc**-Especularite; **Py**-Pirite.

A - Especularite em forma lamelar (Bt#1.1_2) 10X.

B - Especularite em forma lamelar (Bt#1.1_2+) nicóis cruzados.

C - Hematite de forma euédrica a subeuédrica (Bt#1.1_1) 20X.

D - Pirites euédricas dispersas na matriz (Bt#2_2) 10X.

E - Especularite lamelar. Na zona inferior da microfotografia observam-se pirites dispersas pela matriz (Bt#2_1) 10x.

F - Especularite lamelar, zona inferior da microfotografia apresenta pirites dispersas pela matriz (Bt#2_1+) nicóis cruzados.

4.1.2. Rochas Calcossilicatadas

O conjunto litológico designado por Rochas Calcossilicatadas corresponde maioritariamente a rochas metamórficas de contacto, essencialmente de tipo corneano. Quando pouco alteradas estas litologias correspondem a calcários e dolomitos cristalinos descritos por Gonçalves (1973).

Estas rochas encontram-se entre os 28 e 40 metros, 77 e 140 metros e 227 e 267 metros, terminando aqui a sondagem.

Macroscopicamente, este conjunto litológico apresenta nas amostras superficiais, veios centimétricos de clorite (Anexo V - fotografias bt#3 e bt#3p). Observam-se também filonetes de carbonatos paralelos ao bandado composicional e veios milimétricos de carbonatos que o intersectam, representando uma fase posterior. Estas rochas caracterizam-se por uma cor cinzenta escura sendo intercaladas com uma rocha leucocrata, por vezes observam-se fragmentos aparentemente não alterados, podendo constituir fragmentos de rochas preexistentes (Anexo V - fotografia bt#4p).

A uma metragem intermédia (~77 m), as rochas calcossilicatadas apresentam-se com estiramento e *boudins*. Na matriz da rocha ocorrem disseminações de sulfuretos que sublinham o bandado metamórfico. Incipientemente, observa-se em alguns níveis texturas de cisalhamento (Fig. 4.2). Até aos 126 metros de comprimento estas rochas mostram-se serpentinizadas, observando-se variações na atitude da xistosidade. São ainda frequentes nestas amostras veios milimétricos a centimétricos de carbonatos.



Figura 4.2 - Sondagem SD18 (~77m). Rochas Calcossilicatadas, amostra bt#10.

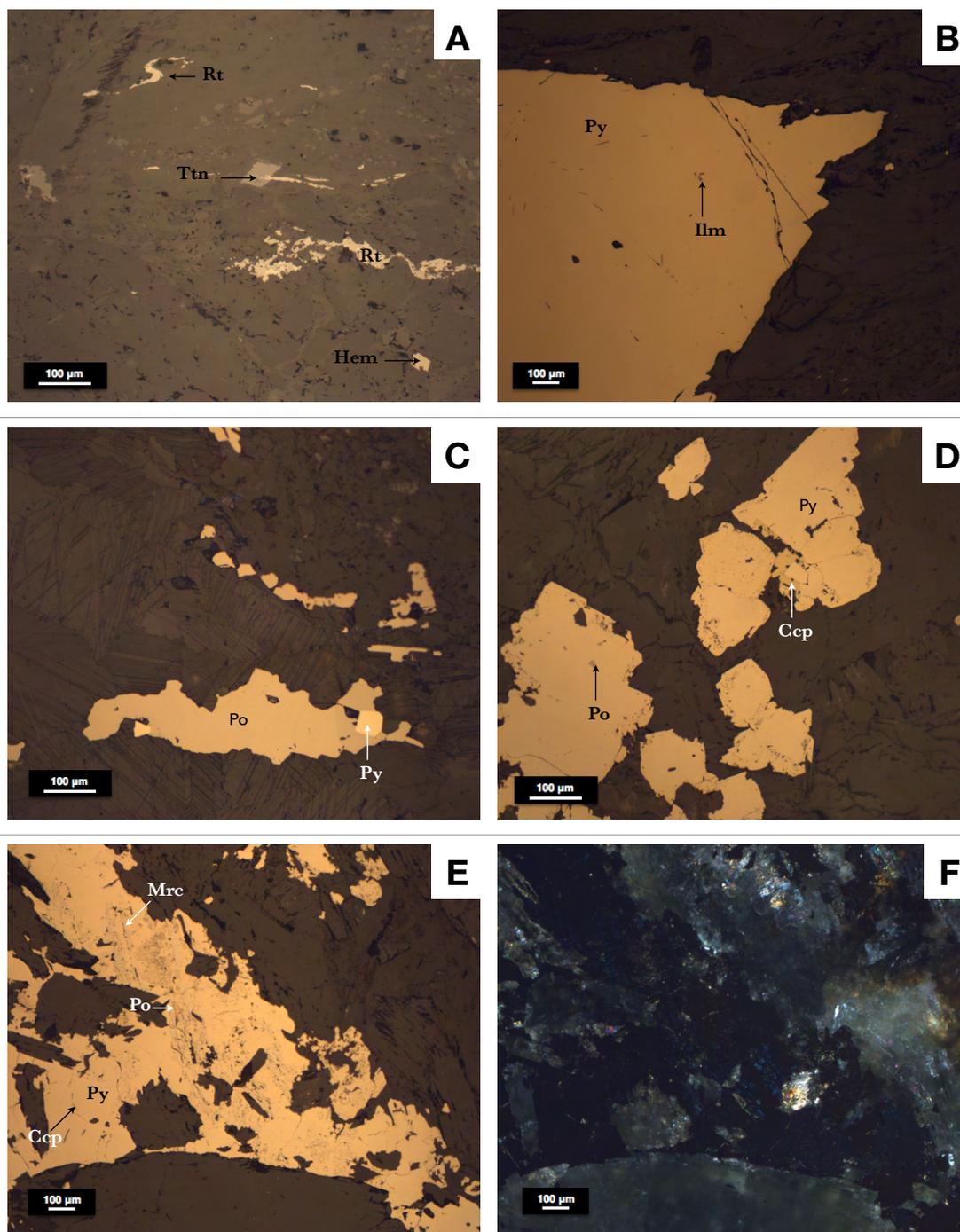
Nas amostras mais profundas deste litótipo (~240 m), identificam-se mármore, por vezes de grão médio a grosseiro, e níveis de alteração clorítica. Acresce ainda referir que, ao longo destas rochas ocorre mineralização de sulfuretos ao longo do bandado metamórfico e em disseminações na matriz. A mineralização caracteriza-se pela presença omnipresente de pirite, acompanhada de calcopirite e pirrotite.

Relativamente à mineralogia, foram individualizados dois grupos de mineralização, uma principal e uma acessória. A mineralização principal inclui sulfuretos, dos quais pirite, calcopirite e pirrotite; óxidos, tais como a hematite e ilmenite e nesossilicatos como a titanite. A mineralização acessória engloba a esfalerite, marcassite, magnetite, e rútilo diversas vezes associado a titanite.

Os óxidos observados na mineralização principal apresentam-se, com associações de titanite na matriz. As amostras superficiais (28 - 40 m) deste conjunto litológico, contêm hematite e titanite. A hematite apresenta-se maioritariamente sob a forma euédrica, de reduzidas dimensões (<50µm). A ilmenite I sob a forma de micro-inclusões em pirite (Estampa 2B). A titanite I apresenta-se em grãos euédricos (Estampa 2A), ocorrendo ainda sob a forma disseminada pela matriz (ver Fig.4.8 subcapítulo 4.1.5.). A titanite II ocorre em agregados de titanite+ilmenite, com a transformação da titanite em ilmenite (Estampa 3D).

As amostras de metragem intermédia (77 a 140 m), apresentam uma quantidade variável destas fases minerais disseminadas e com um tamanho muito reduzido.

Nas amostras mais profundas (227 a 270 m) deste conjunto litológico encontram-se mármores, e regista-se uma abundância bastante variável de óxidos, sendo a hematite bastante escassa. A ilmenite II ocorre em agregados com outras fases minerais (Estampa 3D), surgindo por vezes alterada (Estampa 3F). Os agregados de titanite+ilmenite, apresentam forma anédrica de pequena dimensão e ocorrem disseminados, podendo por vezes apresentar pirite associada (Estampa 3D). A hematite apresenta-se em grãos euédricos e dispersa pela matriz, com dimensões não superiores a 100 µm. Por vezes, ocorre alterada e com uma auréola de ilmenite, interpretada como produto de reação (Estampa 3F). A matriz apresenta ainda titanite e apatite sob a forma disseminada, identificada por SEM (ver Subcapítulo 4.1.5.).



Estampa 2 - Características microscópicas das mineralizações presentes nas Rochas Calcossilicatadas a diversas metragens.

Ilm-Ilmenite; **Hem**-Hematite; **Ttn**-Titanite; **Rt**-Rútilo; **Po**-Pirrotite; **Py**-Pirite; **Ccp**-Calcopirite; **Mrc**-Marcassite.

A - Rútilo sob o efeito de deformação, titanite e hematite euédricas (Bt#4_2) 20X.

B - Agregado de pirite com inclusões de ilmenite (Bt#4_1) 10X.

C - Pirites euédricas associada a pirrotite I (Bt#13_2) 20X.

D - Pirite I com inclusões de pirrotite e calcopirite I associada (Bt#17.2_1) 20X.

E - Aglomerado de grãos de pirite com inclusões de calcopirite, associada a marcassite e com pirrotite como produto de alteração desta (Bt#15_2) 10X.

F - Aglomerado de grãos de pirite com inclusões de calcopirite, associada a marcassite e com pirrotite como produto de alteração desta (Bt#15_2+) nicóis cruzados.

Como mineralização acessória, ocorrem magnetites e rútilos. As magnetites apresentam-se euédricas a subeuédricas com dimensões superiores a 100 µm e encontram-se nas amostras de níveis profundos (~262 e 263 m) das rochas calcossilicatadas no grupo dos mármore (Estampa 3E). Os rútilos encontram-se deformados, sugerindo uma orientação preferencial (Estampa 2A).

A mineralização principal inclui pirite, calcopirite e pirrotite. As pirites observadas entre 28 e 40 metros, apresentam-se como agregados compactos e deformados, de dimensões centimétricas que, por sua vez, englobam diminutas inclusões de ilmenite (identificadas em SEM) (Estampa 2B).

Nas amostras recolhidas entre os 103 e os 136 metros, a pirite ocorre em grãos euédricos de pequena dimensão associados a pirrotite (Estampa 2C). A pirite ocorre ainda como aglomerados de grãos, por vezes porosos e/ou com inclusões micrométricas de calcopirite, com marcassite associada, sendo esta interpretada como produto de alteração da pirrotite (Estampa 2E e F). A pirite I apresenta-se em grãos euédricos a subeuédricos de dimensões variadas, por vezes fraturados, podendo ou não apresentar inclusões (Estampa 2D e Estampa 3A, B e E). Em alguns casos ocorre disseminada em grãos euédricos de pequena dimensão (Estampa 3D). A pirite II ocorre sob a forma irregular e preenche fraturas (Estampa 3B).

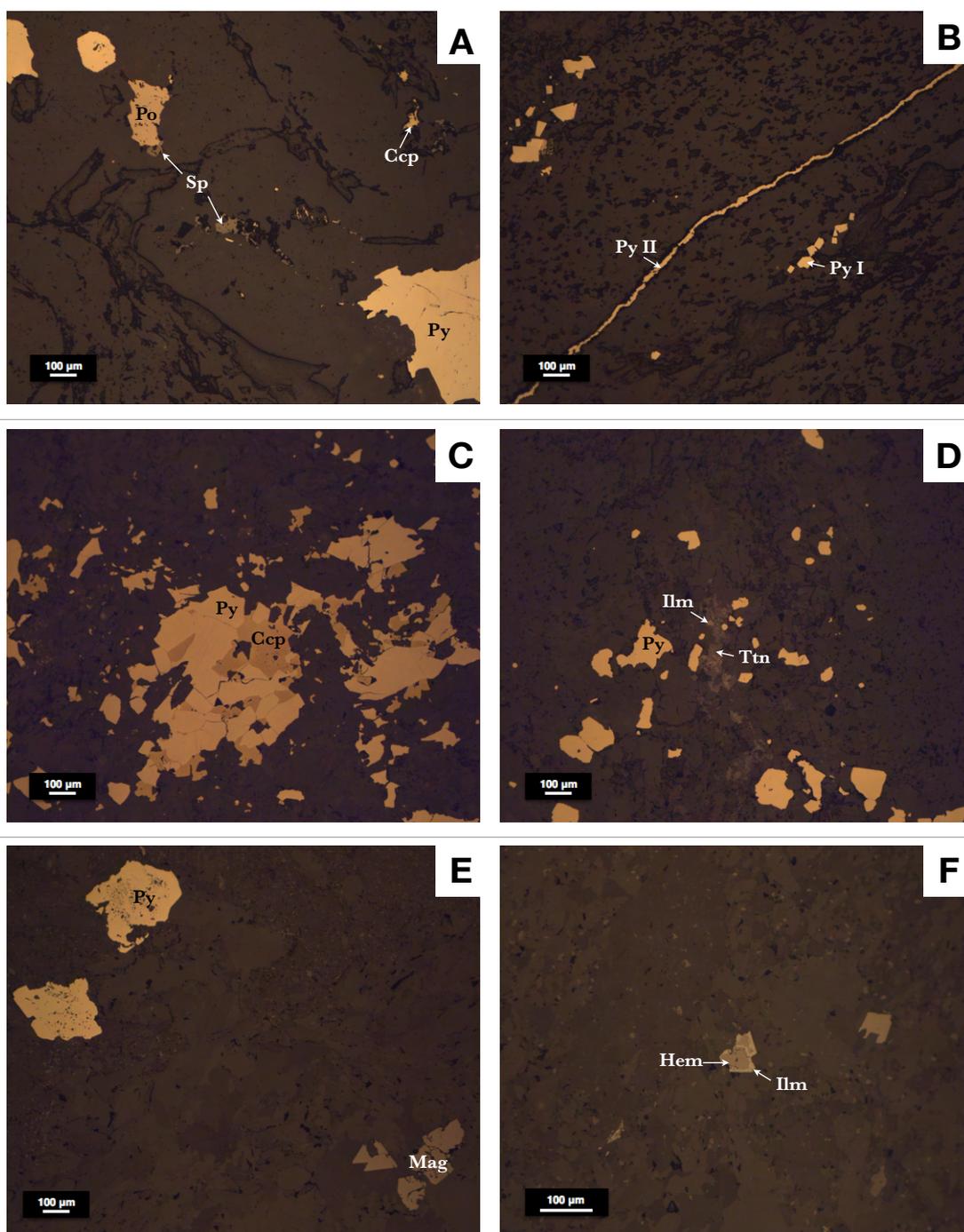
Em amostras mais profundas (~240 m), a pirite ocorre fraturada com calcopirite associada (Estampa 3C). Apesar da presença de duas gerações de pirite, nem sempre é clara a sua identificação, podendo deste modo indicar uma possível substituição de pirite por outro mineral.

A calcopirite I apresenta-se de forma subeuédrica em agregados irregulares, por vezes associada a pirite (Estampa 2D) ou disseminada e substituída por esfalerite (Estampa 3A). A calcopirite II ocorre como micro-inclusões em pirite (Estampa 2E). Em alguns casos, preenche fraturas e/ou espaços na pirite (Estampa 3C).

A pirrotite I dispõe-se em grãos compactos e subeuédricos, apresentando por vezes dimensões milimétricas, diversas vezes associada a pirite (Estampa 2C). Alguns exemplares desta geração de pirrotite ocorre com porosidade associada, onde por vezes apresenta a esfalerite como mineral substituto (Estampa 3A). A pirrotite II ocorre como inclusões micrométricas em pirite (Estampa 2D).

Os sulfuretos pertencentes à mineralização acessória englobam marcassite e esfalerite.

A marcassite ocorre como produto de alteração da pirrotite, sempre associada a pirite (pirite+marcassite) (Estampa 2E e F). A esfalerite pode ocorrer como substituição da pirrotite e sofrer substituição por calcopirite (Estampa 3A; exemplar Bt#38/38_2).



Estampa 3 - Características microscópicas das mineralizações presentes nas Rochas Calcosilicatadas.

Py-Pirite; **Ccp**-Calcopirite; **Po**-Pirrotite; **Sp**-Esfalerite; **Mag**-Magnetite; **Ttn**-Titanite; **Hem**-Hematite; **Ilm**-Ilmenite.

A - Esfalerite a substituir pirrotite e a ser substituída por calcopirite (Bt#19_3) 10X.

B - Pirite I euhédrica e disseminada pela matriz e pirite II a preencher fraturas existentes na matriz (Bt#37.2_1) 10X.

C - Calcopirite II a preencher fraturas da pirite (Bt#38_1) 10X.

D - Agregado titanite+ilmenite disseminado e com pirite disseminada associada (Bt#43_1) 10X.

E - Magnetite euhédrica disseminada presente em mármore (Bt#44_1) 10X.

F - Hematite com auréola de alteração de ilmenite (Bt#45_1) 20X.

4.1.3. Rochas Básicas

O conjunto litológico designado neste trabalho como Rochas Básicas, é interpretado como pertencente ao Complexo Básico/Ultrabásico de Cabeço de Vide sendo constituído por gabros e peridotitos, descritos por Gonçalves (1973) e Pinto *et al.* (2006b).

Na sondagem estudada estas rochas encontram-se entre os 40 e 77 metros e os 140 e 227 metros de comprimento.

Macroscopicamente, no primeiro troço este conjunto litotipo caracteriza-se por uma cor cinzenta escura com intercalações métricas de uma rocha ígnea básica mais escura que apresenta níveis cloríticos, quase sempre com agregados de sulfuretos associados (Anexo V - fotografias bt#6 e bt#6p). É observada ainda uma rocha ígnea básica silicificada, de tom esverdeado, que apresenta aglomerados de sulfuretos no núcleo dos níveis mais siliciosos (Anexo V - fotografias bt#8 e bt#8p). A transição para as rochas calcossilicatadas é gradual e ocorre com intercalações de calcoxistos. Toda esta sequência apresenta veios carbonatados que cortam o bandado composicional.

O segundo troço desta sondagem, intersecta rochas ígneas básicas que apresentam níveis intercalados com alteração de epidoto e serpentina, quase sempre com sulfuretos associados (pirite). Surgem também outros níveis silicificados com sulfuretos disseminados (Anexo V - fotografias bt#22 e bt#22p). A transição para o domínio das rochas ultrabásicas inicia-se sensivelmente aos 154 m de comprimento de sondagem. Este domínio está representado possivelmente por peridotitos, que apresentam um nível de alteração gradual. Estas rochas apresentam-se cortadas por um conjunto de veios carbonatados, com sulfuretos disseminados. Observam-se ainda sulfuretos ao longo do bandado metamórfico (Anexo V - fotografias bt#46 e bt#46p). Toda esta sequência de rochas ultrabásicas apresenta-se serpentinizada e/ou com epidoto. Na metragem de 175 m inicia-se uma zona de transição. Neste troço os testemunhos apresentam fraturação e dobramento das rochas (Anexo V - fotografia bt#47p). Destaca-se nesta zona de transição a presença de níveis de sulfuretos semi-maciços, com apenas alguns metros de extensão (~183,00 - 185,50 m) (Fig. 4.3; Anexo V - fotografias bt#29 e bt#29p). Observa-se ainda níveis intercalados de uma brecha dolomitizada na transição para rochas gabróicas (Anexo V - fotografias bt#30 e bt#30p). Estas litologias caracterizam-se por uma granularidade variável, de tom cinzento escuro com veios centimétricos de carbonatos que cortam o bandado composicional. Apresentam ainda uma intrusão de uma brecha mineralizada em sulfuretos, sobretudo pirite, entre os ~220,00 m e os 226,20 m (Fig. 4.4; Anexo V - fotografias bt#34 e bt#34p).

O minério ao longo de toda esta sequência rochosa é dominado por pirite, quase sempre associada a calcopirite e pirrotite, à semelhança das rochas calcossilicatadas referidas anteriormente.



Figura 4.3 - Sondagem SD18 (~183m). Rochas Básicas, amostra bt#29.



Figura 4.4 - Sondagem SD18 (~221m). Rochas Básicas, amostra bt#34.

Em relação à mineralização e à semelhança do conjunto litológico anteriormente descrito, foram individualizados dois grupos mineralógicos, um principal e um acessório. A mineralização principal apresenta sulfuretos (pirite, calcopirite e pirrotite) e óxidos representados por hematite e ilmenite e nesossilicatos como a titanite. A mineralização acessória inclui, esfalerite, pentlandite, marcassite, e galena. Os óxidos são representados por pirolusite e rútilo.

Na mineralização principal os óxidos observados, nas amostras deste conjunto litológico apresentam quantidades pouco significativas de hematite, sendo o primeiro troço aquele que apresenta uma maior concentração. As relações texturais observadas na hematite, sugerem que existe uma geração posterior à descrita na rochas calcossilicatadas. Considera-se, hematite II uma vez que ocorre em grãos irregulares de dimensões variáveis, ao longo de fraturas e espaços entre pirites, podendo por vezes conter zircões de pequena dimensão associados, identificado por SEM (ver Subcapítulo 4.1.5.) (Estampa 4A). Esta geração pode ainda ocorrer em equilíbrio textural com a ilmenite (Estampa 4B). A solução sólida ilmenite+hematite apresenta texturas de exsolução de titânio associada (Estampa 4B).

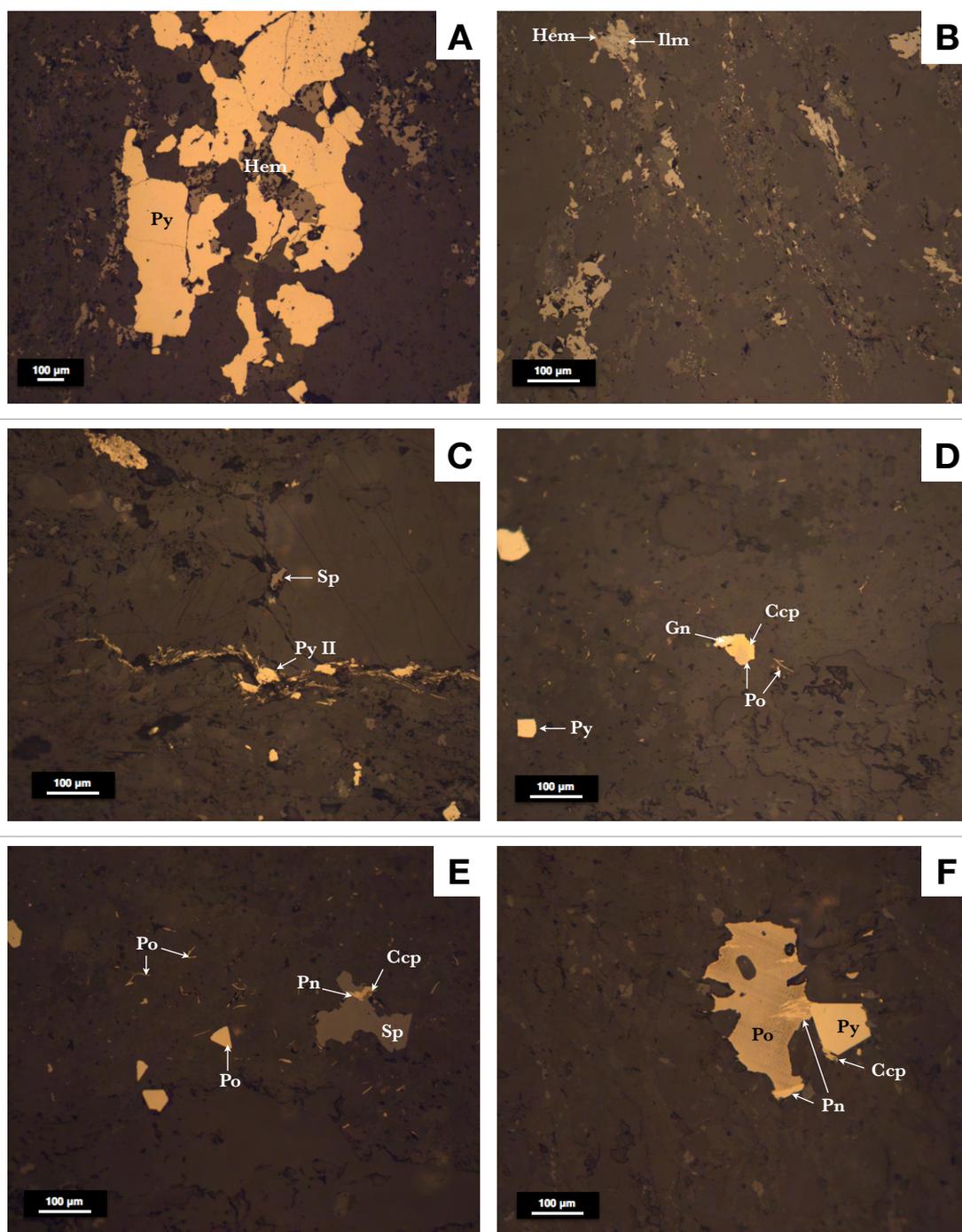
A ilmenite apresenta-se sob a forma anédrica, com dimensões variáveis, sendo substituída por hematite (Estampa 4B). No segundo troço das rochas básicas (~ 166 m),

surtem agregados de titanite+rútilo (Estampa 5A). Na amostra Bt#27.2 os agregados titanite+rútilo ocorrem com pirite associada, com dimensões superiores a 100 μm . A titanite I ocorre em grãos euédricos, disseminada pela matriz (Anexo VI - Bt#25.2_7).

Os óxidos presentes na mineralização acessória, encontram-se apenas dentro do segundo troço intersectado (~ 211 m) e são representados por pirolusite (?), que ocorre subeuédrica e com dimensões muito variáveis e com texturas de exsolução de manganês associadas (Estampa 5F). A representação dos óxidos é ainda feita por rútilos que se encontram sempre associados a titanite, como já mencionado (Estampa 5A).

Na mineralização principal, os sulfuretos observados incluem pirite, calcopirite e pirrotite. No primeiro troço entre ~ 46 m e ~ 76 m, a pirite I forma agregados euédricos a subeuédricos, com fraturas, que por vezes apresentam inclusões de calcopirite e/ou pirrotite (Estampa 4A). A pirite II, ocorre de forma irregular e preenche pequenas fraturas ou veios (Estampa 4C).

No segundo troço (~ 156 m a 225 m), a pirite ocorre disseminada, com grãos euédricos de dimensão muito reduzida (< 50 μm) (Estampa 4D), embora por vezes possa também ocorrer com dimensões não superiores a 100 μm associada a pirrotite, pentlandite e calcopirite (Estampa 4F). Estas relações texturais foram observadas dentro de veios carbonatados, o que permite suspeitar que se trata de uma geração de pirite diferente das observadas até então. A pirite I ocorre em grãos euédricos a subeuédricos, formando por vezes agregados de dimensões variados, apresenta-se fraturada e pode ou não conter inclusões de calcopirite e/ou pirrotite (Estampa 5A, B, C e Estampa 6C). Esta geração de pirite pode ainda encontrar-se sob a forma disseminada com grãos de reduzida dimensão (Estampas 5D e 6B). A pirite pode ainda apresentar-se em aglomerados de pirite+marcassite, podendo por vezes conter calcopirite associada (Estampa 5E). À semelhança do que acontece nas rochas calcossilicatadas, apesar de se distinguir duas ou mais gerações de pirite, nem sempre esta identificação é clara, o que pode indicar uma possível parcial/total substituição de outro mineral.



Estampa 4 - Características microscópicas das mineralizações presentes nas Rochas Básicas a diversas metragens.

Py-Pirite; **Ccp**-Calcopirite; **Po**-Pirrotite; **Sp**-Esfalerite; **Pn**-Pentlandite; **Gn**-Galena; **Hem**-Hematite; **Ilm**-Ilmenite.

A - Hematite II ao longo de fraturas e espaços entre a pirite I (Bt#6.1_1) 10X.

B - Solução sólida ilmenite+hematite com texturas de exsolução de titânio associada (Bt#6.1_2) 20X.

C - Pirite II e esfalerite a preencher pequenas fraturas (Bt#9_3) 20X.

D - Mineralização presente em veios de carbonatos; agregado de galena+calcopirite+pirrotite (Bt#25.2_2) 20X.

E - Mineralização presente em veios de carbonatos; pirrotite III disseminada; agregado de pentlandite+calcopirite+esfalerite (Bt#25.2_3) 20X.

F - Mineralização presente em veios de carbonatos; agregado de pirite+pirrotite+pentlandite+calcopirite (Bt#25.2_4) 20X.

A calcopirite é quase sempre escassa. A geração de calcopirite I ocorre sob forma subeuédrica, apresentando-se fraturada e com porosidade. Ao longo dos seus bordos é possível observar uma substituição por tetraedrite (Estampa 5B). A acompanhar esta geração de calcopirite encontra-se ulmanite (ver subcapítulo 4.1.5.), em grão de reduzida dimensão (identificada por SEM) (Estampa 5C). A calcopirite II encontra-se sob a forma de inclusões de dimensões variadas em pirites, podendo por vezes apresentar pirrotite associada, ou marcassite como produto de alteração (Estampas 5C e 6C). Em alguns exemplares, a calcopirite II preenche fraturas e/ou espaços na pirite (Estampa 6C). A calcopirite ocorre ainda em pequenos agregados de outras fases minerais, presentes em veios carbonatados existentes em peridotitos (exemplares Bt#25.1; Bt#25.2; Bt#25.3). Estes agregados tem aspeto irregular e podem englobar, galena + pirrotite + calcopirite (Estampa 4D), ou pentlandite + esfalerite a substituir calcopirite (Estampa 4E), ou pirrotite + pentlandite + pirite + calcopirite (Estampa 4F). Estas relações texturais observadas nos veios carbonatados, permitem suspeitar que se trata de uma geração de calcopirite e pirrotite diferente das identificadas até então, à semelhança da pirite. Contudo, a distinção entre gerações de calcopirite nem sempre é perceptível, pois esta pode ocorrer total ou parcialmente substituída por pirite+marcassite (Estampa 5E) ou apenas por marcassite (Estampas 5D e 6A).

A pirrotite que se encontra nos veios carbonatados existentes nos peridotitos, ocorre disseminada em partículas de dimensão muito reduzida a cristais subeuédricos (Estampa 4D e E). Esta geração de pirrotite dispõe-se ainda em agregados irregulares, de dimensão variável supramencionados. A pirrotite I pode ocorrer em grãos de dimensões, por vezes superiores a 100 µm, fraturados e subeuédricos, com porosidade associada apresentando um equilíbrio textural com a pirolusite (Estampa 5F). Esta geração pode ainda apresentar-se com calcopirite (variedade acastanhada) associada e marcassite, sendo esta interpretada como produto de alteração da pirrotite (Estampa 6A). A pirrotite II apresenta-se como inclusões, ou a preencher espaços na pirite quase sempre associada a calcopirite II (Estampas 5C e 6C).

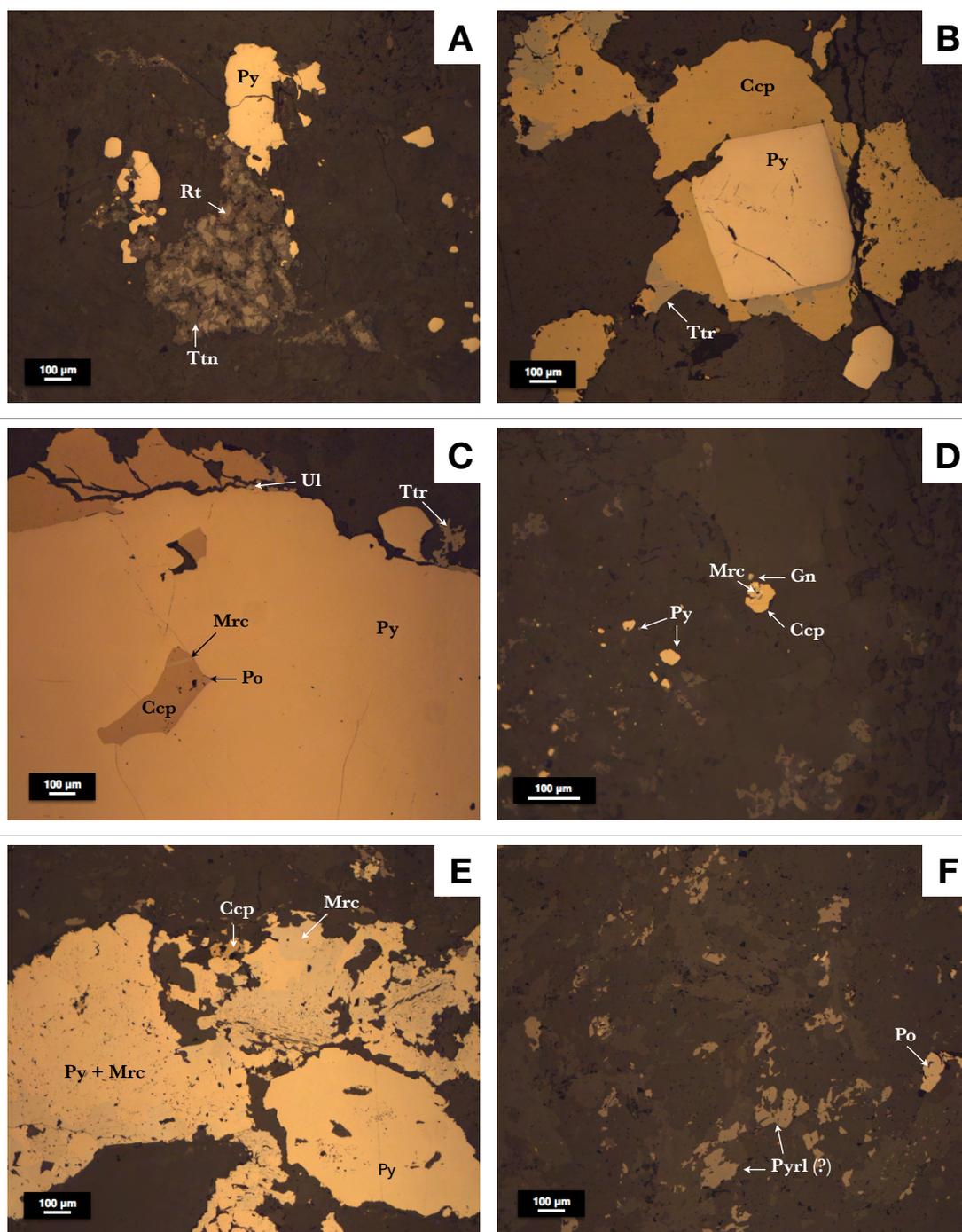
A mineralização inclui acessoriamente esfalerite, pentlandite, marcassite, galena e tetraedrite e ulmanite como sulfossais.

A esfalerite pode ocorrer como preenchimento de microfraturas (Estampa 4C), ou noutros exemplares ser substituída por calcopirite (Estampa 4E).

A pentlandite ocorre em fases tardias associada a calcopirite na esfalerite (Estampa 4E), ou inserida na associação pirite+pirrotite+pentlandite+calcopirite, onde ocorre sob a forma de exsolução (forma de “chama”) na pirrotite (Estampa 4F).

A marcassite ocorre como produto de alteração da calcopirite (Estampa 5C), ou associada a pirite (pirite+marcassite) (Estampa 5E), ou ainda como produto de alteração da pirrotite (Estampa 6A).

A galena encontra-se na sua grande maioria em associações minerais diversas de calcopirite+pirrotite+galena+pentlandite+esfalerite (Estampa 4D), podendo ainda ocorrer como micro-inclusões na marcassite (Estampa 5D) (ver subcapítulo 4.1.5.).



Estampa 5 - Características microscópicas das mineralizações presentes nas Rochas Básicas entre as metragens 140 e os 211 metros.

Py-Pirite; **Ccp**-Calcopirite; **Po**-Pirrotite; **Mrc**-Marcassite; **Gn**-Galena; **Ul**-Ulmanite; **Ttr**-Tetraedrite; **Ilm**-Ilmenite; **Ttn**-Titanite; **Rt**-Rútilo; **Pyrl**-Pirolusite.

A - Agregado titanite+rútilo associado a pirite I (Bt#27.2_2) 10X.

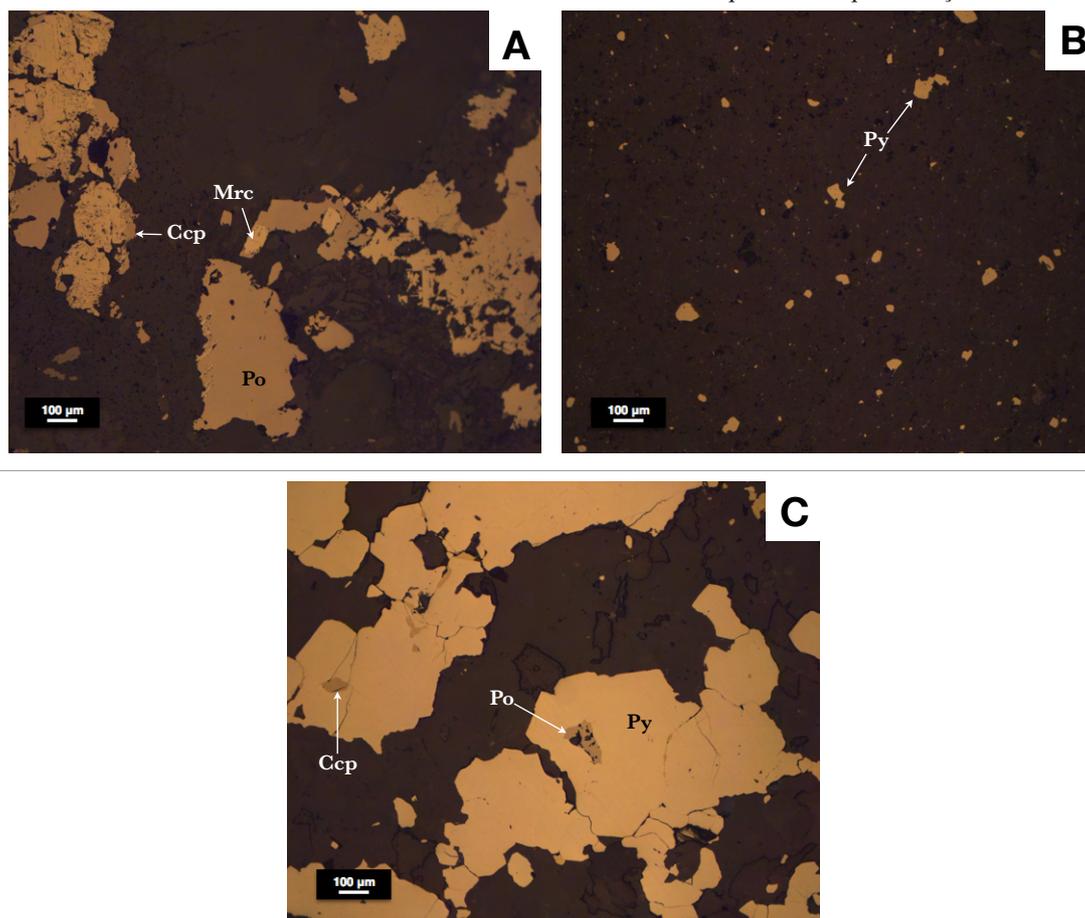
B - Tetraedrite a substituir calcopirite I, que envolve uma pirite cúbica que apresenta pequenas fraturas (Bt#30_1) 10X.

C - Ulmanite associada a calcopirite I e tetraedrite (Bt#30_3) 10X.

D - Aglomerado de calcopirite+marcassite+galena; a pirite ocorre disseminada (Bt#31_1) 20X.

E - Aglomerado de pirite+marcassite, associado a calcopirite (variedade acastanhada) (Bt#33.2_1) 10X.

F -Pirolusite (?) com exsoluções de manganês associadas (Bt#33.2_2) 10X.



Estampa 6 - Características microscópicas das mineralizações presentes nas Rochas Básicas entre as metragens 211 e os 227 metros.

Py-Pirite; **Ccp**-Calcopirite; **Po**-Pirrotite; **Mrc**-Marcassite.

A - Marcassite como produto de alteração da pirrotite, com calcopirite (variedade acastanhada) associada (Bt#33.2_5) 10X.

B - Pirite I sob a forma disseminada (Bt#34.1_2) 10X.

C - Inclusões de calcopirite II e pirrotite II em pirite (Bt#35_2) 10X.

A tetraedrite e a ulmanite apenas foram identificadas na amostra (Bt#30, ~193 m). A tetraedrite ocorre a substituir calcopirite I (Estampa 5B). A ulmanite ocorre com associações de calcopirite I e tetraedrite (Estampa 5C).

4.1.4. Associação mineral

O subcapítulo anteriormente descrito, permitiu identificar a mineralização de opacos que se reparte por dois grupos. Constata-se que terão ocorrido sobreposições de eventos mineralizantes, tendo sido possível identificar mineralização primária e fases posteriores, provavelmente de recristalização. Ocorrem ainda fases de óxidos que se supõe serem mais tardias. Atendendo às características e relações texturais, foi elaborada uma associação mineral que se apresenta na Fig. 4.5. Destaca-se que o tracejado apresentado no início e/ou no final de cada fase mineral, representa uma zona incerta para essa mesma fase.

De forma sintética, a primeira associação mineral, apresenta uma geração de sulfuretos (Py I, Ccp I, Po I) cujos grãos ocorrem sob a forma euédrica a subeuédrica, apresentam fraturas e porosidade associada, por vezes. A pirite I, pode encontrar-se disseminada. Esta geração de pirite pode ainda estar acompanhada por ilmenite (Ilm I), titanite (Ttn I) e rútilo (Rt I). O domínio mineralizante representado pela associação mineral II, terá proporcionado condições para uma série de substituições e remobilizações de minerais. A deposição da pirite II, calcopirite II e pirrotite II está quase sempre associada ao preenchimento de fraturas ou sob a forma de inclusões noutras fases minerais. Terá existido um evento associado à geração dos veios de carbonatados que cortou as formações existentes, o que levou à formação de uma terceira geração mineralizante. A associação mineral III, está assim exclusivamente associada a mineralizações dentro desses veios tardios de carbonatos, incluindo pirite, calcopirite, pirrotite, esfalerite, galena e pentlandite. Por último, menciona-se uma fase oxidante posterior, constituída por hematite (Hem I e Hem II), especularite (Spc) e pirolusite (? Pyrl).

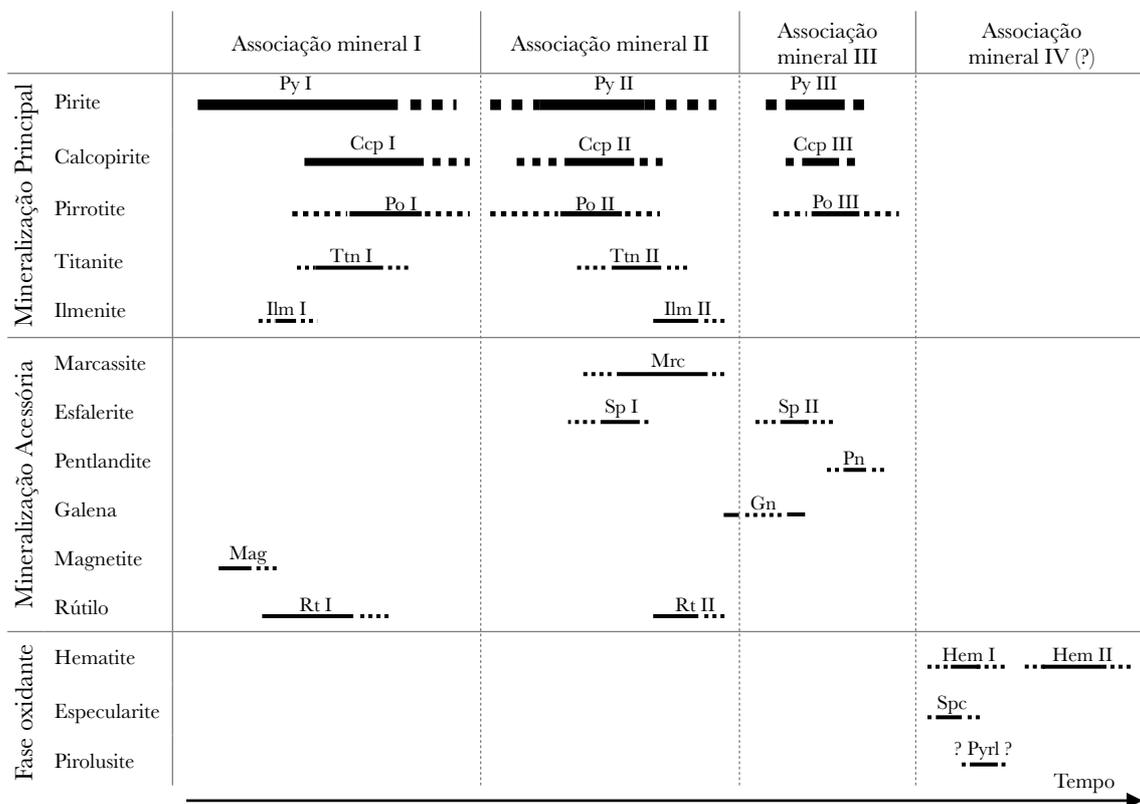


Figura 4.5 - Associação mineral para os grupos de mineralização de Batígelas.

Py-Pirite; **Ccp**-Calcopirite; **Po**-Pirrotite; **Hem**-Hematite; **Ttn**-Titanite; **Ilm**-Ilmenite; **Mrc**-Marcassite; **Sp**-Esfalerite; **Pn**-Pentlandite; **Gn**-Galena; **Mag**-Magnetite; **Spc**-Especularite; **Pyrl**-Pirolusite; **Rt**-Rútilo.

4.1.5. Química mineral

Este subcapítulo apresenta os resultados das composições químicas dos minerais⁶ presentes nas unidades litológicas das Rochas Calcossilicatadas e das Rochas Básicas. Os critérios de análise concentraram-se, na confirmação das fases minerais previamente identificadas e na caracterização de minerais com potencialidades magnéticas. Desde modo, recorreu-se à microscopia eletrónica de varrimento acoplada à espectroscopia dispersiva de raios-X (SEM-EDS). Foi ainda efetuada uma análise por difração de raio-X (DRX), na medida de esclarecer onde surgiram dúvidas num caso de rocha encaixante, numa amostra.

Seguem-se as análises efetuadas nas fases minerais das rochas calcossilicatadas e das rochas básicas, apresentadas segundo a sua profundidade em cada conjunto litológico.

4.1.5.1. Rochas Calcossilicatadas

Para as rochas calcossilicatadas foram analisadas duas amostras, Bt#4 e Bt#44 às profundidades 34 e 263 metros, respetivamente.

Amostra Bt#4

A Fig. 4.6 apresenta o resultado da microanálise efetuada numa hematite do tipo I. A partir do espectro apresentado na Fig. 4.6 verifica-se que este confirma as observações petrográficas. A microanálise apresentada na Fig. 4.7, indica a presença de Ti revelando tratar-se de um rútilo. No espectro da Fig. 4.8, observa-se a presença de Si, Ca e Ti, confirmando ser uma titanite.

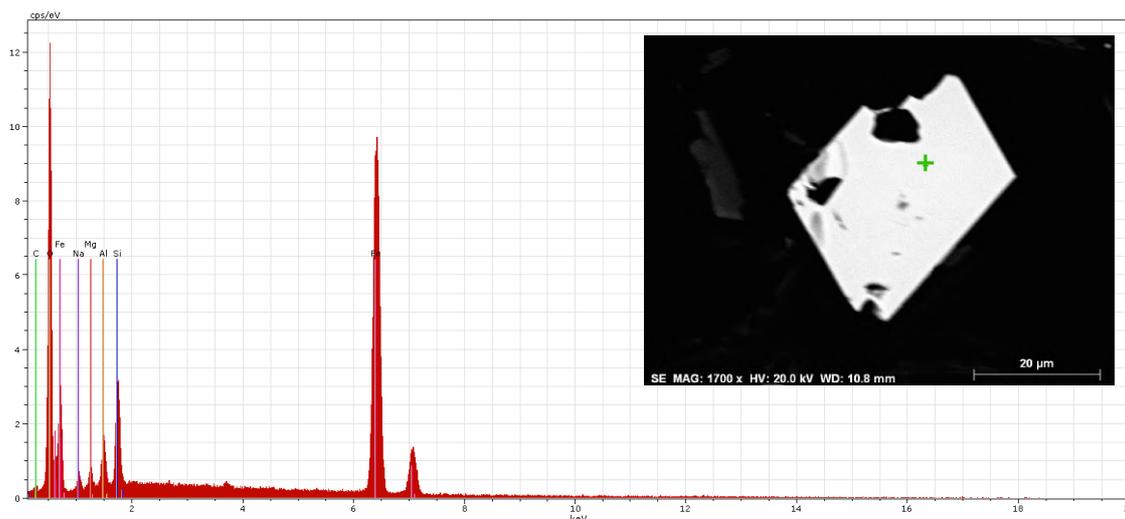


Figura 4.6 - Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#4_2 (Estampa 2A - Hematite).

⁶ Fórmulas químicas dos minerais em estudo disponíveis no Anexo IV - Tabela AII.

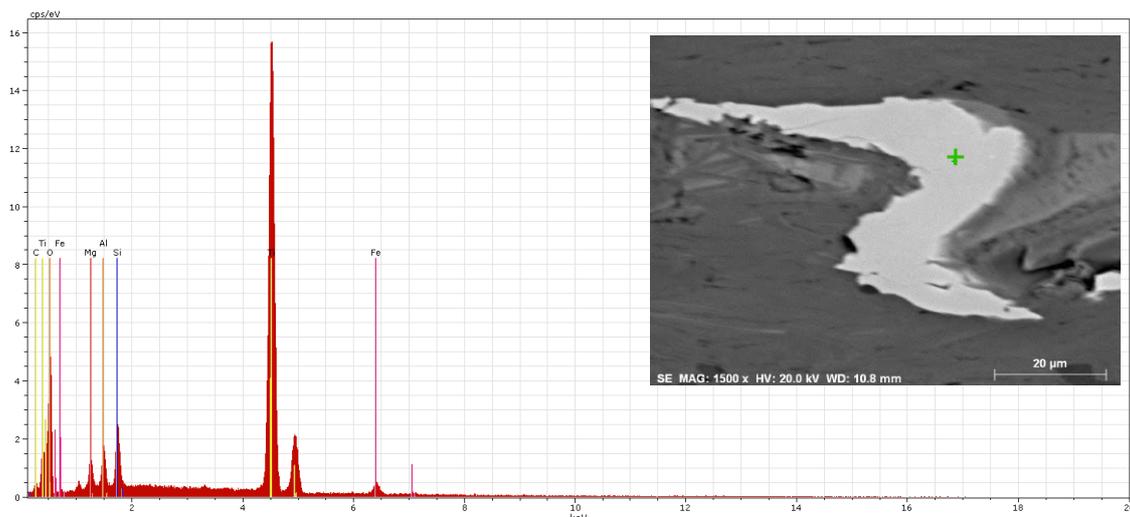


Figura 4.7 - Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#4_2 (Estampa 2A - Rútilo).

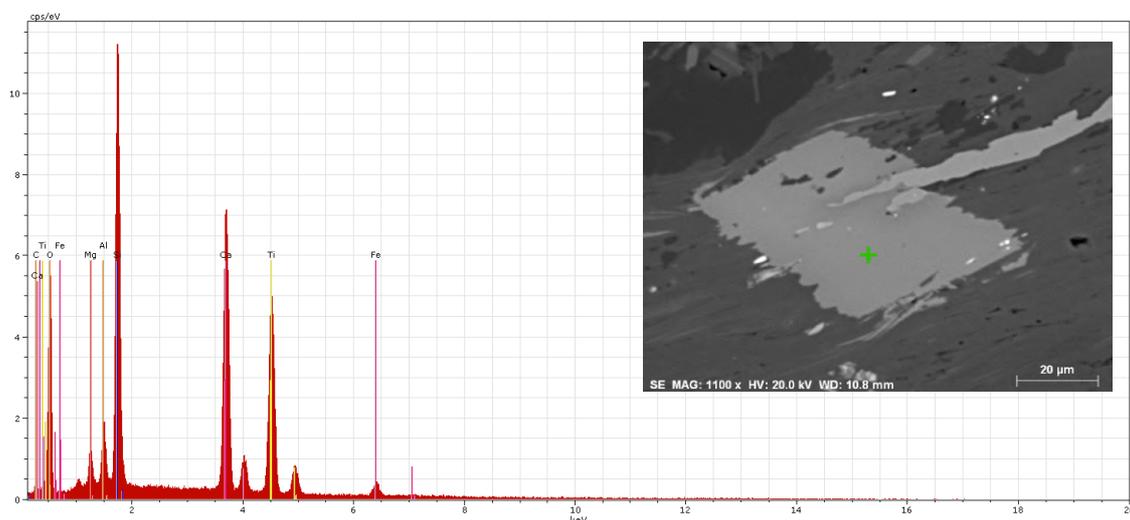


Figura 4.8 - Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#4_2 (Estampa 2A - Titanite).

A microanálise *A'* representada na Fig. 4.9, confirma que se trata de uma pirite, que por sua vez continha inclusões de outra fase mineral, apresentada no espectro *B*. O espectro *B*, mostra a presença de Ti e Fe o que permite constatar que se trata de uma ilmenite, uma vez que esta é uma inclusão em pirite, a interferência em S é perfeitamente normal. As ilmenites sob a forma de inclusões foram classificadas como tipo I.

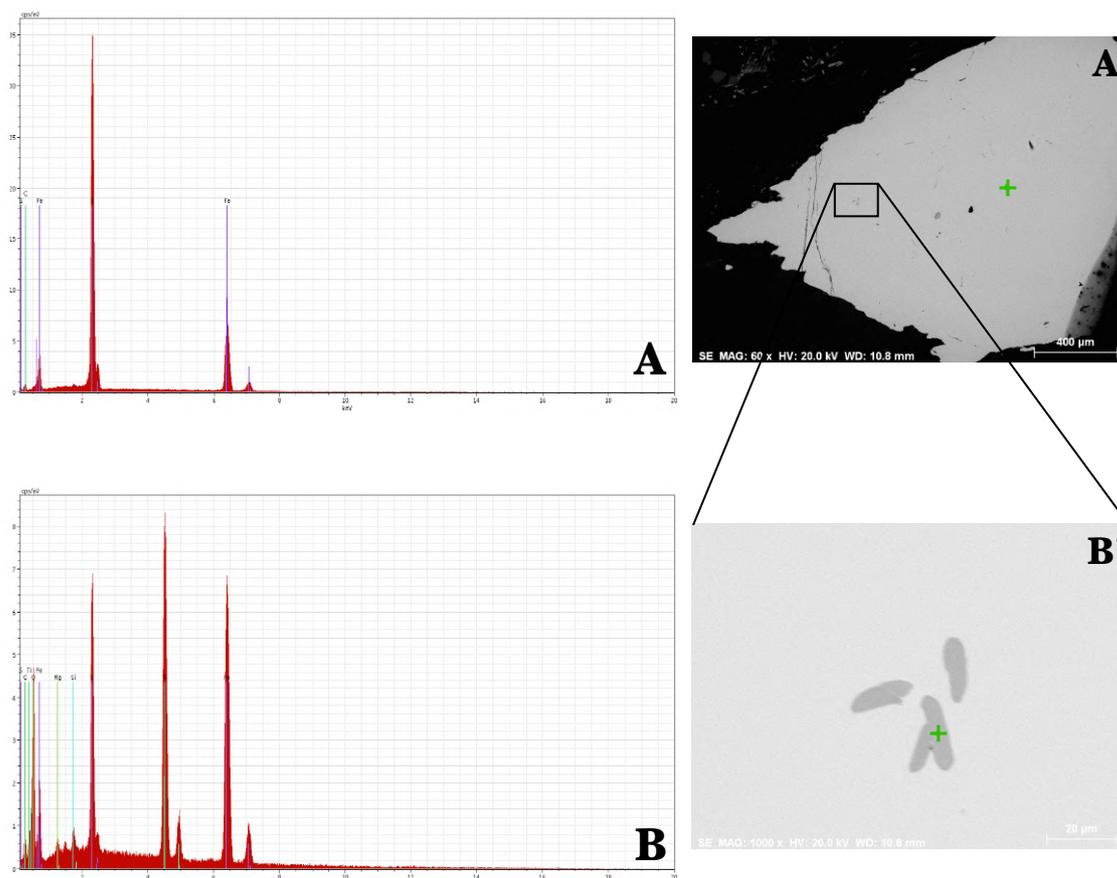


Figura 4.9 - **A'**: Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro (**A**) de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#4_1 (Estampa 2B - Pirite).

B': Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro (**B**) de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#4_1 (Estampa 2B - Ilmenite).

Amostra Bt#44

No mapa *A*, apresentado na Fig. 4.10 verifica-se que a matriz é muito rica em Ca, expectável em rochas calcossilicatadas. O espectro *B* apresenta o resultado da microanálise efetuada numa magnetite, o que confirma as observações petrográficas. A presença de Ca no espectro *B*, é interpretado como interferência da matriz envolvente, sendo esta amostra um mármore.

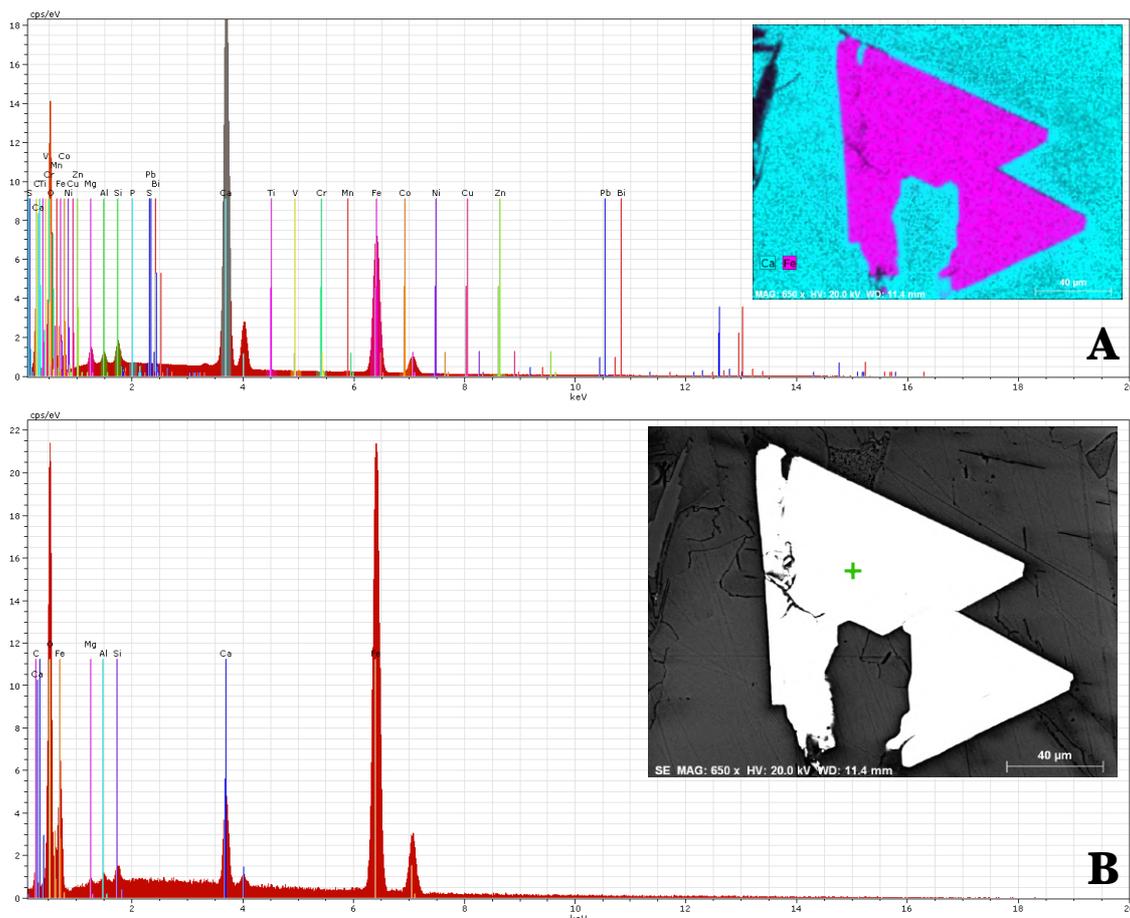


Figura 4.10 - **A**: Mapa composicional combinado para Ca e Fe, com o respectivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#44_3 (Estampa 3E - Magnetite).

B: Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respectivo espectro de análise composicional (EDS).

No espectro *A* da Fig. 4.11, verifica-se que a matriz da amostra é rica em Al, Si e Ca, apresentando quantidades significativas de Mg e K e em menor representatividade Ti e Fe. No mapa *A*, observamos que o Mg e o Ti se encontram disseminados pela matriz, que a microanálise representada pelo espectro *B* indicou a presença de titanites. A matriz revelou ainda a presença de apatites, cuja microanálise é representada pela Fig. 4.12.

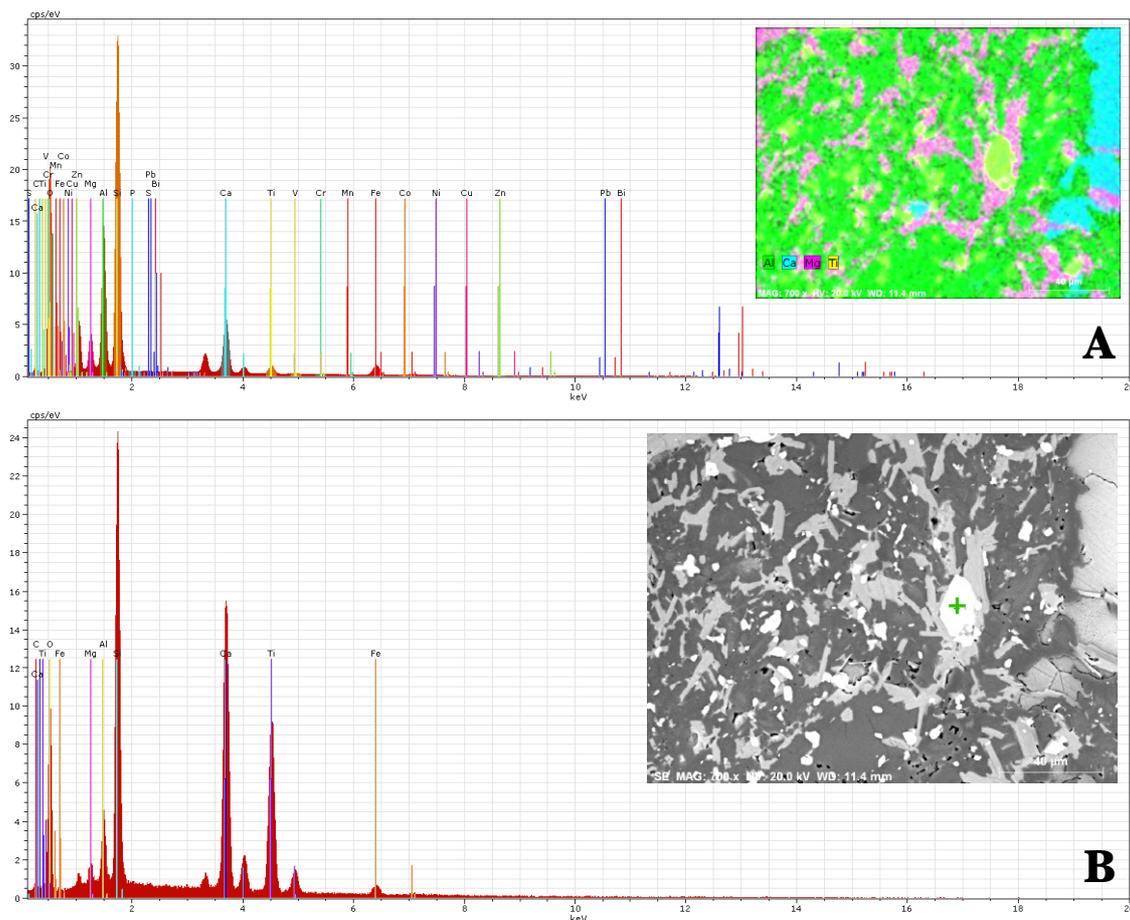


Figura 4.11 - **A:** Mapa composicional combinado para Al, Ca, Mg e Ti, com o respetivo espectro de análise composicional (EDS), apara a amostra Bt#44 (Matriz).

B: Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#44 (Titanite).

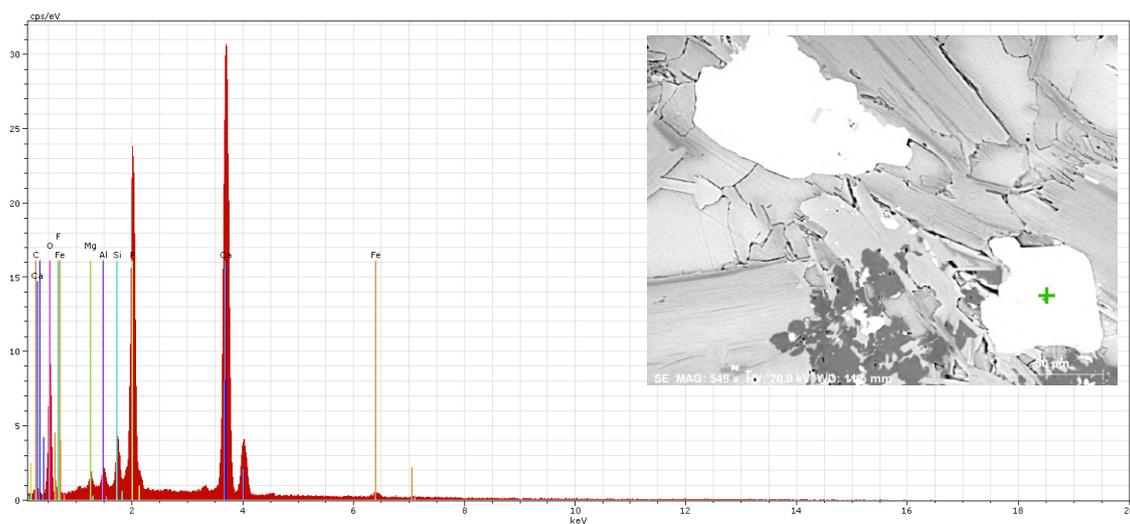


Figura 4.12 - Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#44 (Apatite).

O espectro *A* representado pela Fig. 4.13, mostra que a matriz da amostra é rica em Al, Si e Ca apresentando quantidades significativas de Mg e K e em menor representatividade de Ti. A presença de S e Fe é justificada pelo espectro *B*, onde a microanálise confirmou tratar-se de uma pirite.

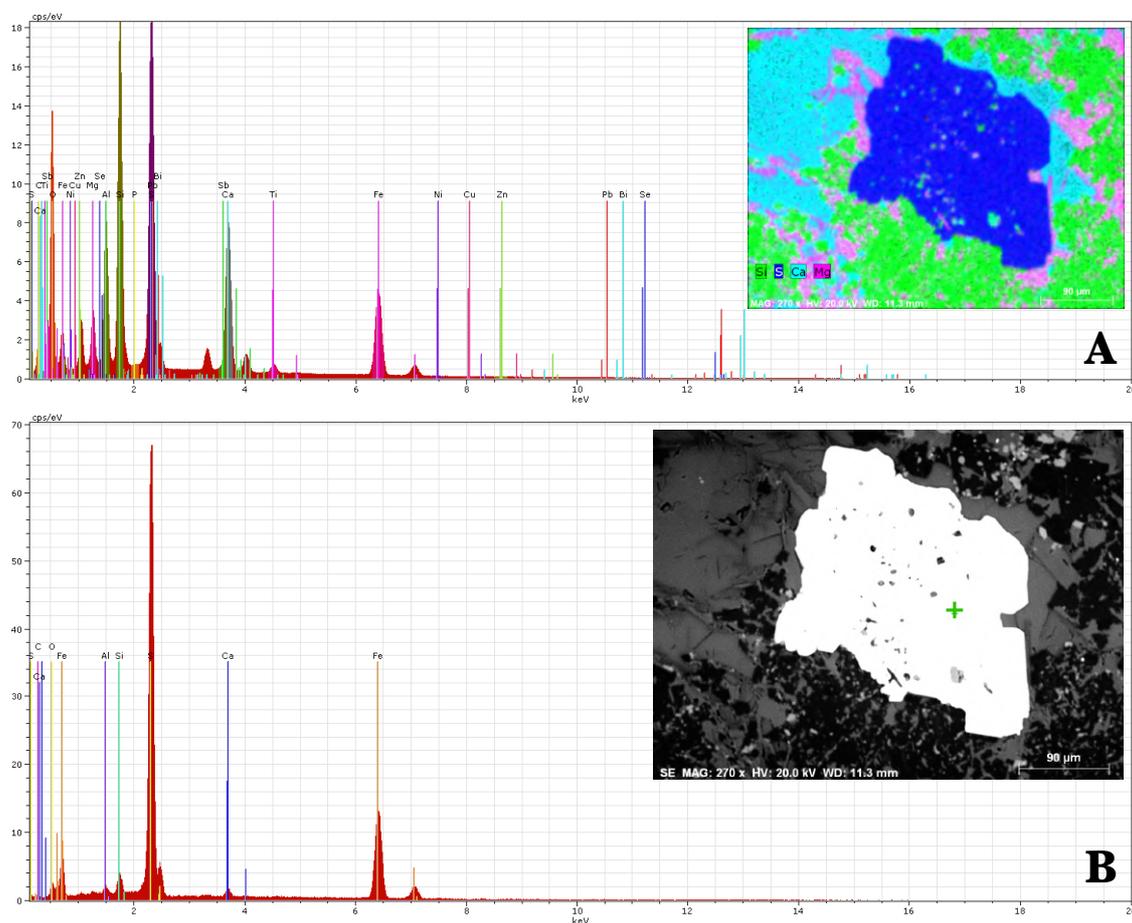


Figura 4.13 - **A:** Mapa composicional combinado para Si, S, Ca e Mg, com o respectivo espectro de análise composicional (EDS), apara a amostra Bt#44_2 (Estampa 3A - Pirite).

B: Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respectivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#44_2.

4.1.5.2. Rochas Básicas

Para as rochas básicas foram analisadas seis amostras Bt#6.1, Bt#25.2, Bt#27.2, Bt#30, Bt#31 e Bt#33.2 com as respectivas profundidades 46, 156, 166, 193, 199 e 211 metros.

Amostra Bt#6.1

A microanálise *A* (Fig. 4.14) é efetuada numa hematite do tipo II, o seu espectro revela a presença Fe superior ao esperado (Fig. 4.15). A partir da microanálise *B* foi possível ainda determinar a presença de um zircão, cujo espectro *B* apresenta uma interferência em Fe, possivelmente proveniente da hematite e/ou pirite envolvente. No espectro da Fig. 4.15 é confirmada a presença de pirite que se apresenta em redor da hematite II (ver Subcapítulo 4.1).

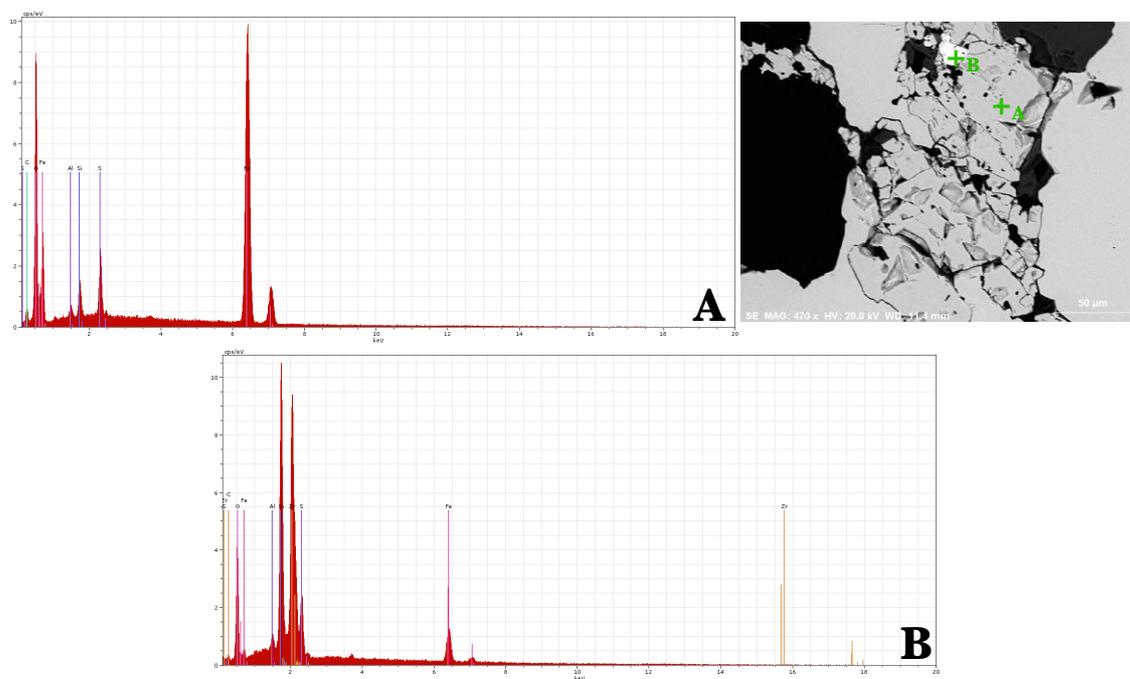


Figura 4.14 - **A:** Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#6.1 (Estampa 4A - Hematite).

B: Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#6.1 (Zircão).

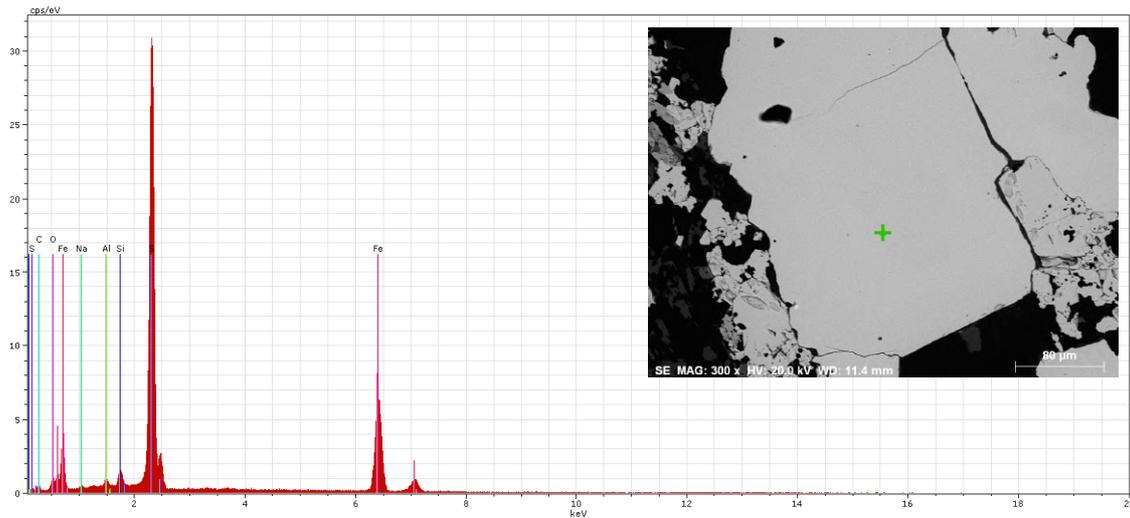


Figura 4.15 - Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respectivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#6.1 (Estampa 4A - Pirite).

A microanálise *A* (Fig. 4.16) apresenta alto teor de Ti e Fe, admitindo tratar-se de uma ilmenite contaminado por Si e Al possivelmente da matriz envolvente. O espectro *B* apresenta uma interferência de Ti possivelmente proveniente da ilmenite, no entanto este é pouco significativo.

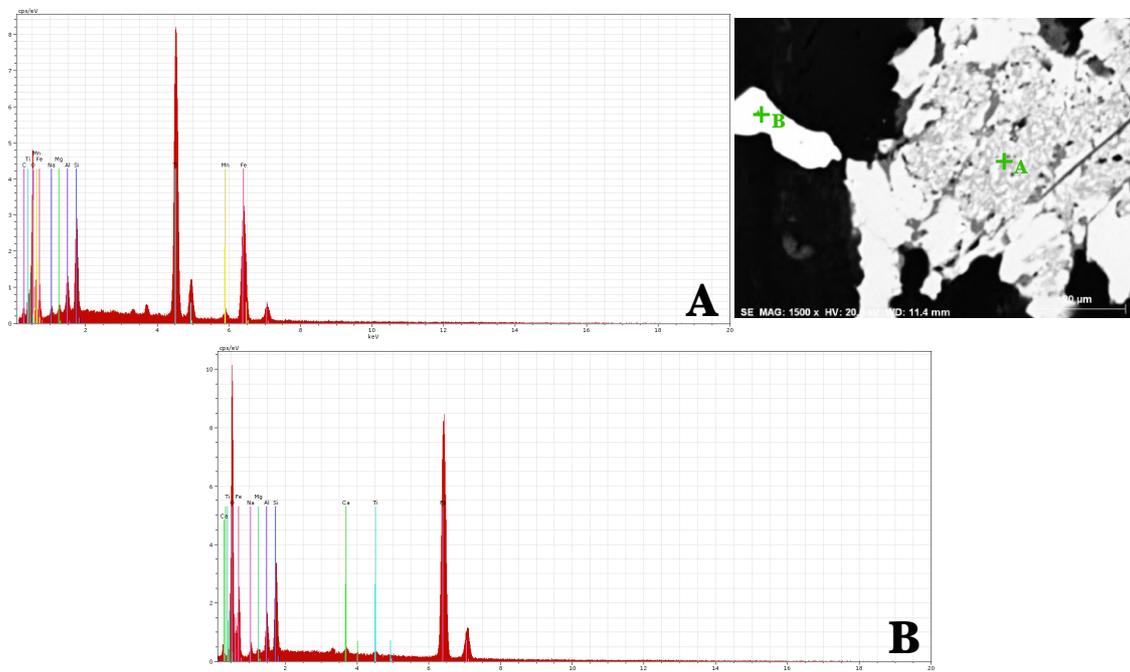


Figura 4.16 - **A:** Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respectivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#6.1_2 (Estampa 4B - Ilmenite).

B: Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respectivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#6.1_2 (Estampa 4B - Hematite).

No espectro *A* da Fig. 4.17 verifica-se que a amostra é rica em Si e Al, apresentando ainda Mg, K, Ca e Fe e em menor representatividade Ti. No mapa correspondente ao espectro *A*, observamos que o Ti se encontra sob a forma disseminada confirmando assim a presença de exsolução de titânio (ver subcapítulo 4.1). O mapa mostra ainda Zr disperso, pelo que se trata de uma sobreposição espectral do Zr com o P. O espectro *B* correspondente ao ponto de microanálise representado na imagem de SEM, revela tratar-se de uma apatite.

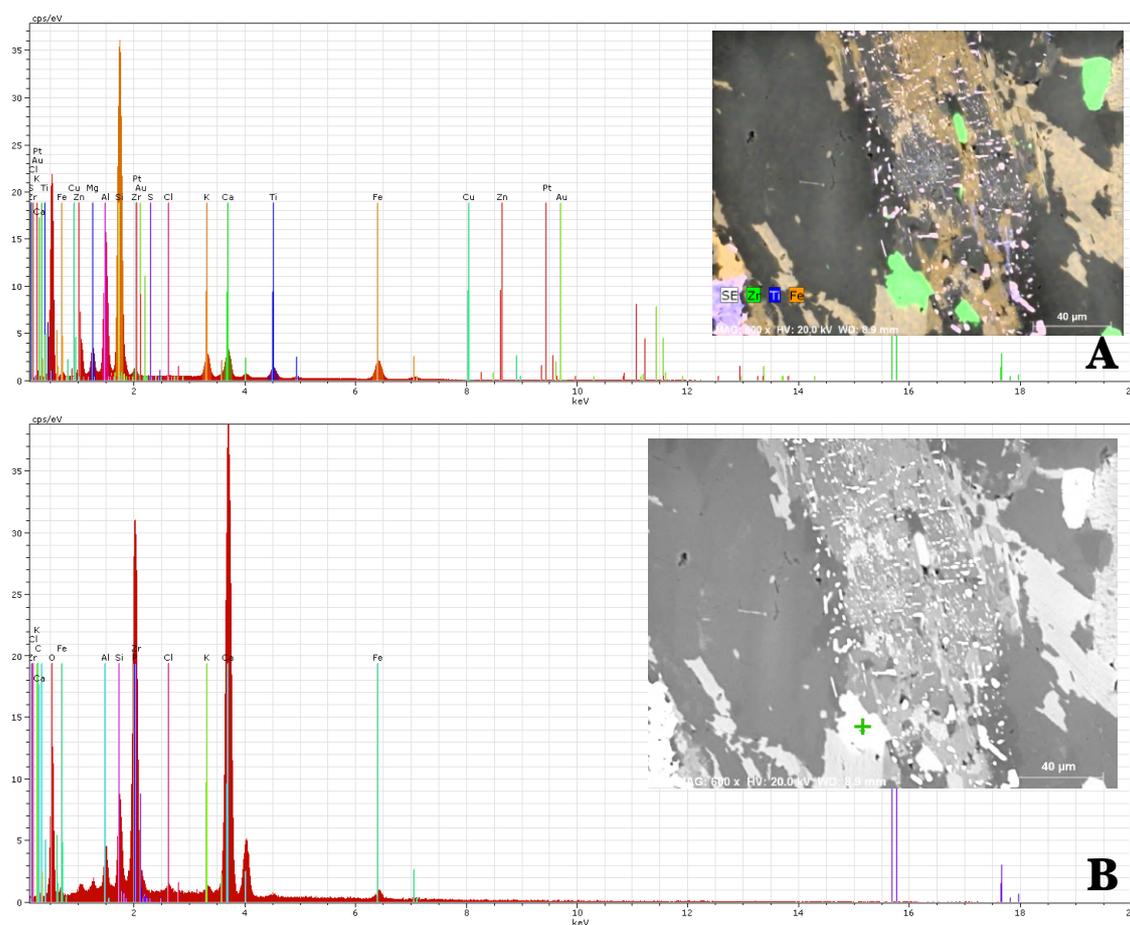


Figura 4.17 - **A:** Mapa composicional combinado para Zr, Ti e Fe, com o respetivo espectro de análise composicional (EDS), apara a amostra Bt#6.1_2 (Estampa 4B - exsolução).

B: Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#6.1 (Apatite).

A microanálise *A'* representada na Fig. 4.18, confirma tratar-se de uma pirite. A análise metalogénica mostrou que esta apresentava inclusões de outras fases minerais, a microanálise representada pelo espectro *B* revela tratar-se de calcopirite. O espectro *B*, mostra uma interferência em Si e Al possivelmente proveniente da matriz.

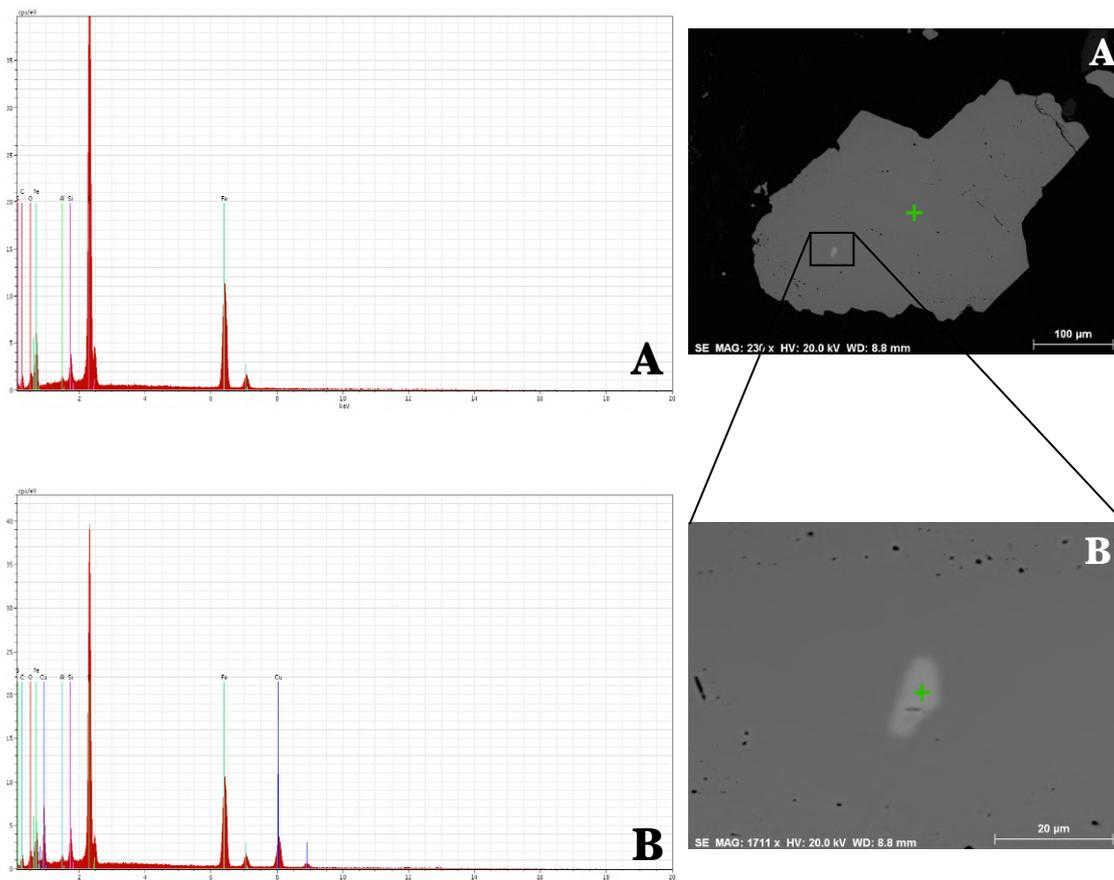


Figura 4.18 - **A'**: Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro (**A**) de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#6.1 (Pirite).

B': Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro (**B**) de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#6.1 (Calcopirite).

Amostra Bt#25.2

No espectro *A* correspondente ao mapa da Fig. 4.19 observa-se que a amostra é rica em Mg, Al e Si, contendo ainda teores em K e Fe. A alta concentração de Ca e Ti é devido à titanite presente, confirmada pela microanálise representada no espectro *B*.

O conjunto de mapas A-B-C da Fig. 4.20 mostra uma exsolução de titânio numa anfíbola, presente na matriz da amostra em estudo. No espectro correspondente verifica-se a presença de Mg, Al e Si, contendo ainda quantidades significativas de K e Fe.

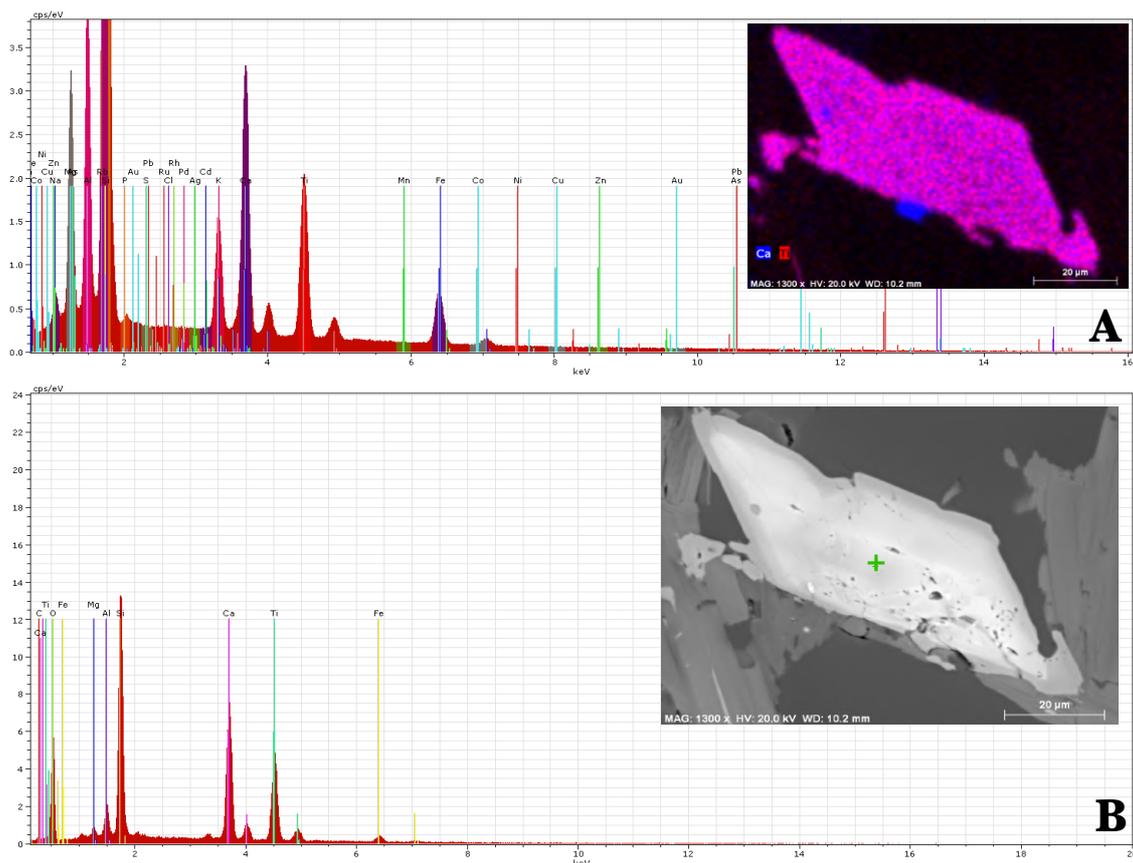


Figura 4.19 - **A:** Mapa composicional combinado para Ca e Ti, com o respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#25.2_7.
B: Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#25.2_7 (Titanite).

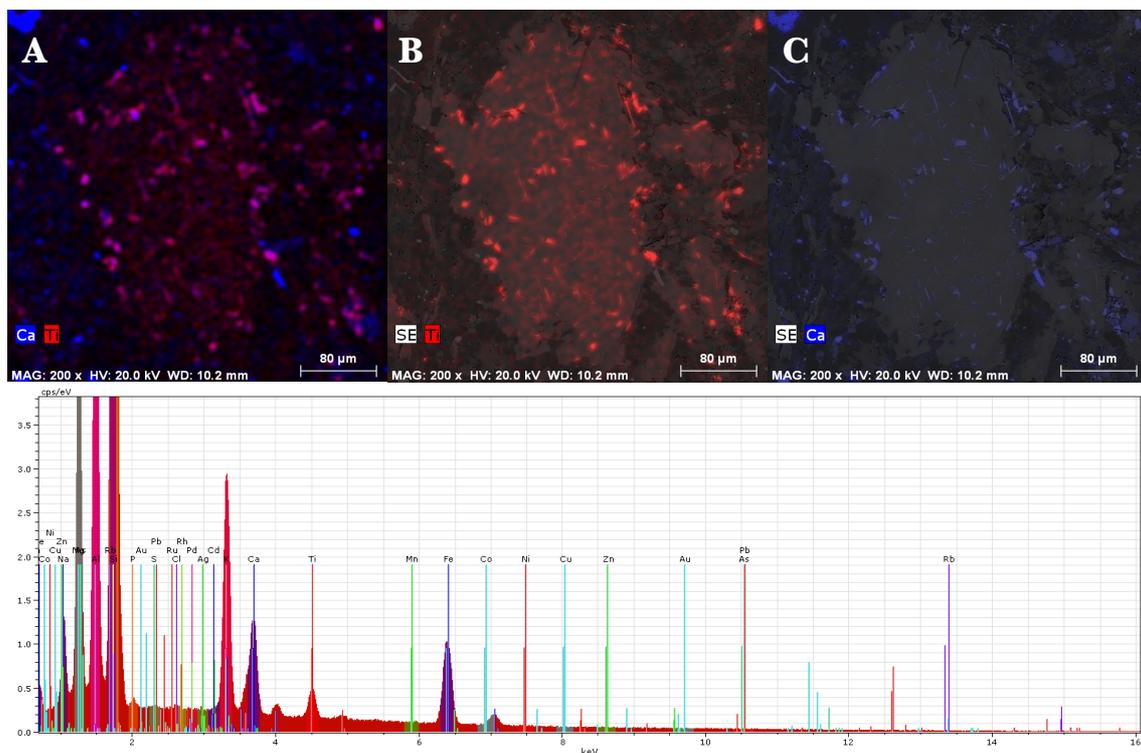


Figura 4.20 - **A:** Mapa composicional combinado para Ca e Ti; **B:** Mapa composicional combinado para Ti; **C:** Mapa composicional combinado para Ca; espectro de análise composicional (EDS) para a zona da imagem, da amostra Bt#25.2_7.

No mapa *A* representado na Fig. 4.21, verifica-se que a matriz é rica em Ca e Si, confirmando tratar-se de veios carbonatados (ver subcapítulo 4.1). No espectro *A* observam-se altas concentrações S proveniente dos sulfuretos presentes, bem como concentrações significativas de Mg, Al e Fe. A microanálise representada no espectro *B* confirma a presença de pirite.

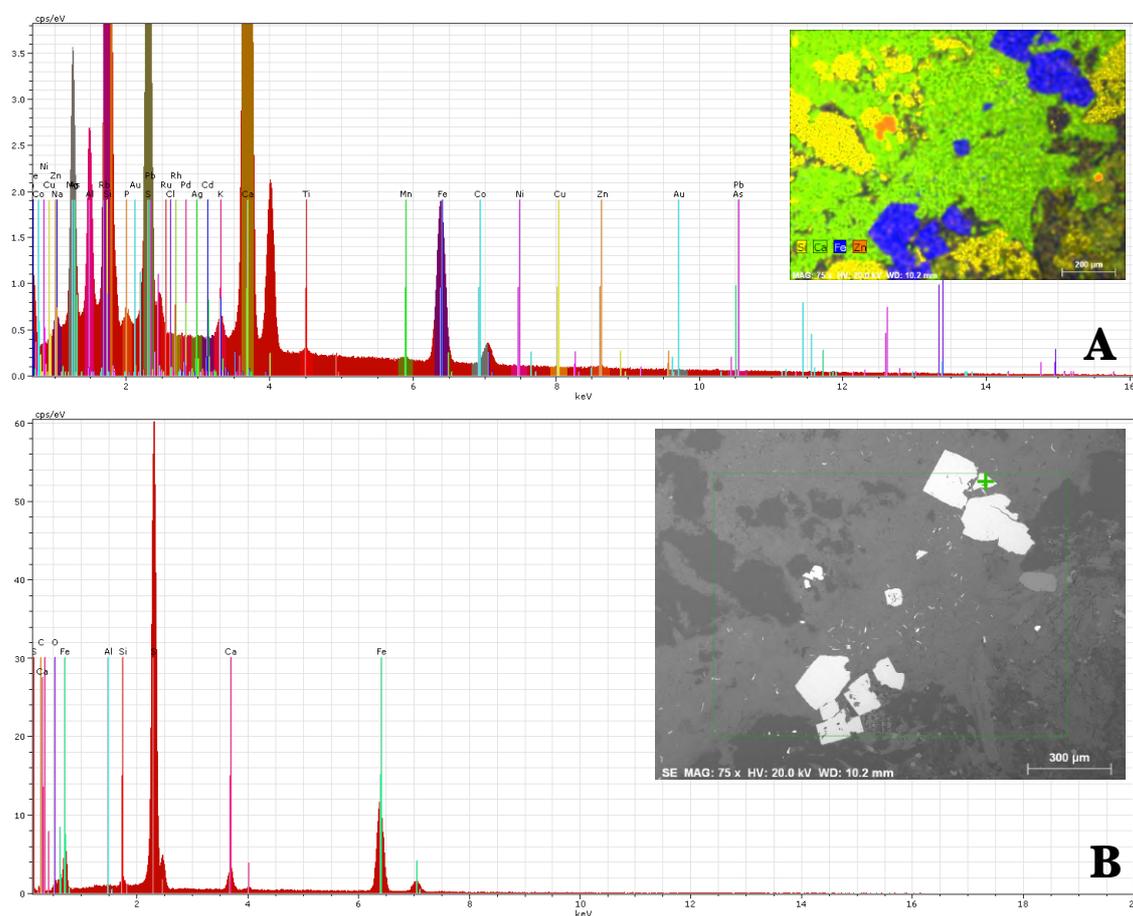


Figura 4.21 - **A:** Mapa composicional combinado para Si, Ca, Fe e Zn, com o respetivo espectro de análise composicional (EDS), apara a amostra Bt#25.2_6.

B: Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#25.2_6 (Pirite).

No conjunto de mapas A-B da Fig. 4.22 observamos um agregado de minerais (pirite+pirrotite+pentlandite+calcopirite). O espectro correspondente mostra a presença de S e Fe proveniente aos sulfuretos presentes. São ainda detetados teores elevados de Si, Al, Mg, K e Ca. Os teores de Ti e Ni são no entanto relativamente baixos, face ao esperado. A microanálise da Fig. 4.23, confirma as observações petrográficas efetuadas, tratando-se de uma pirite.

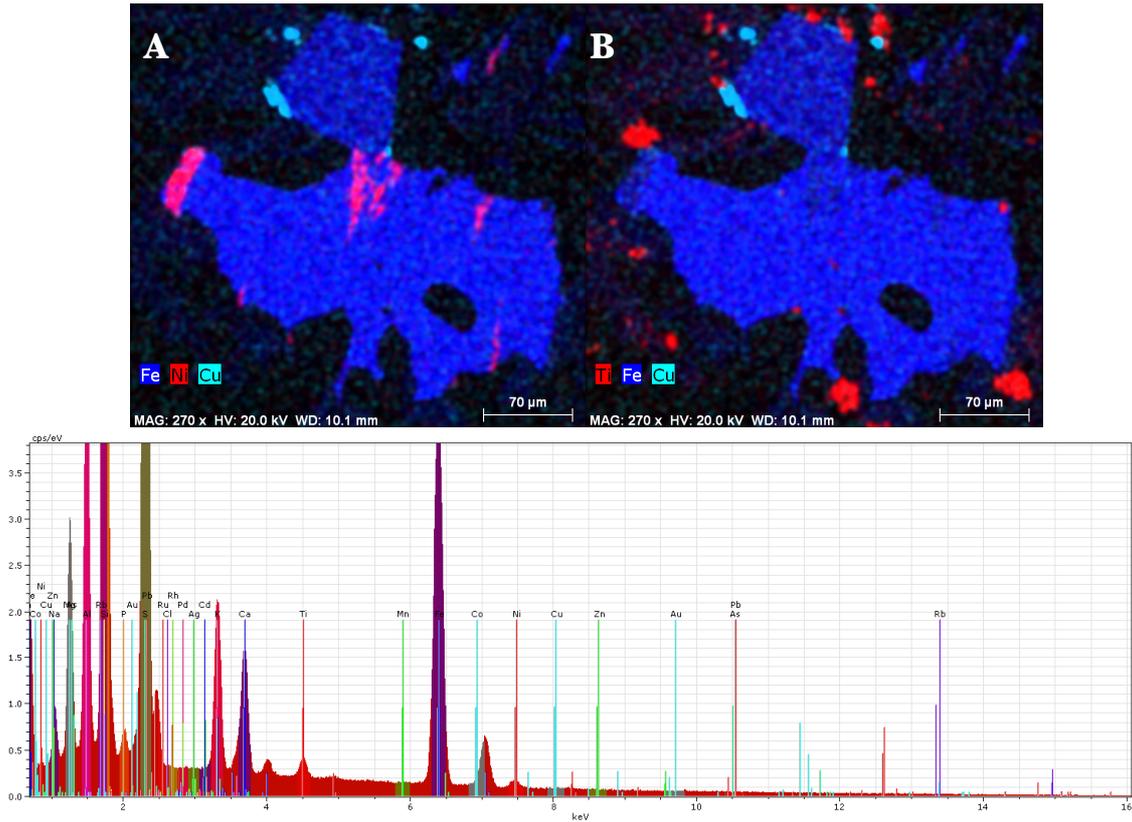


Figura 4.22 - **A:** Mapa composicional combinado para Fe, Ni e Cu; **B:** Mapa composicional combinado para Ti, Fe e Cu; espectro de análise composicional (EDS) para a zona da imagem, da amostra Bt#25.2_4 (Estampa 4F).

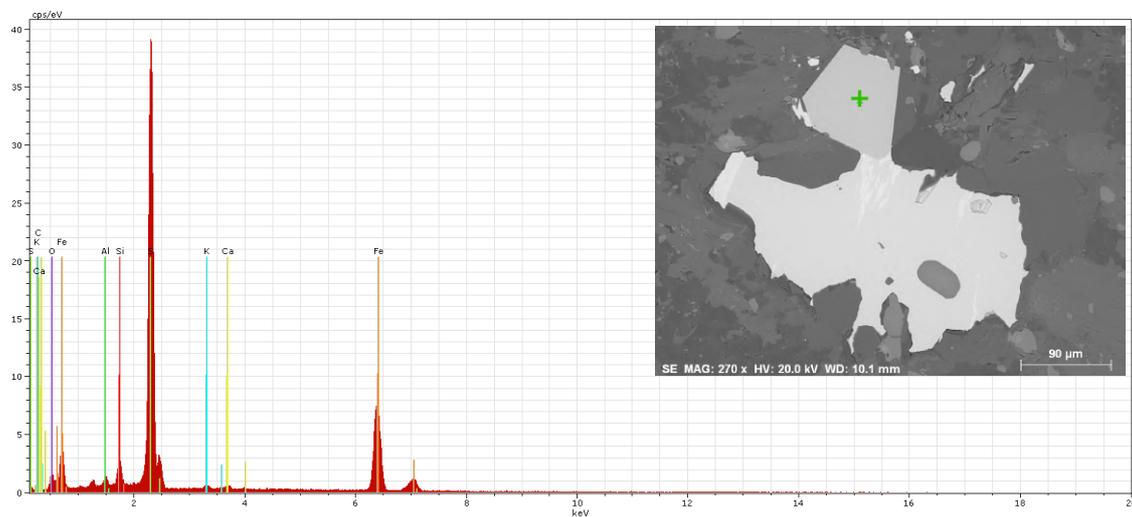


Figura 4.23 - Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#25.2_4 (Estampa 4F - Pirite).

No mapa apresentado pela Fig. 4.24 observa-se um agregado de minerais (calcopirite +pirrotite+esfalerite+pentlandite+galena). O espectro correspondente mostra a presença de Ca e Si proveniente dos veios carbonatados, bem como altos teores de S, Fe e em menos quantidade Cu e Pb, resultante dos sulfuretos.

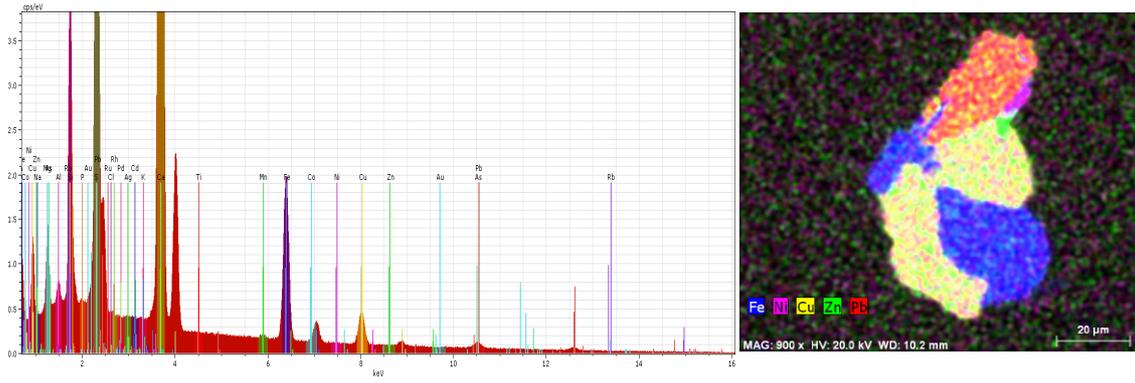


Figura 4.24 - Mapa composicional combinado para Fe, Ni, Cu, Zn e Pb, com o respetivo espectro de análise composicional (EDS), apara a amostra Bt#25.2_2 (Estampa 4D).

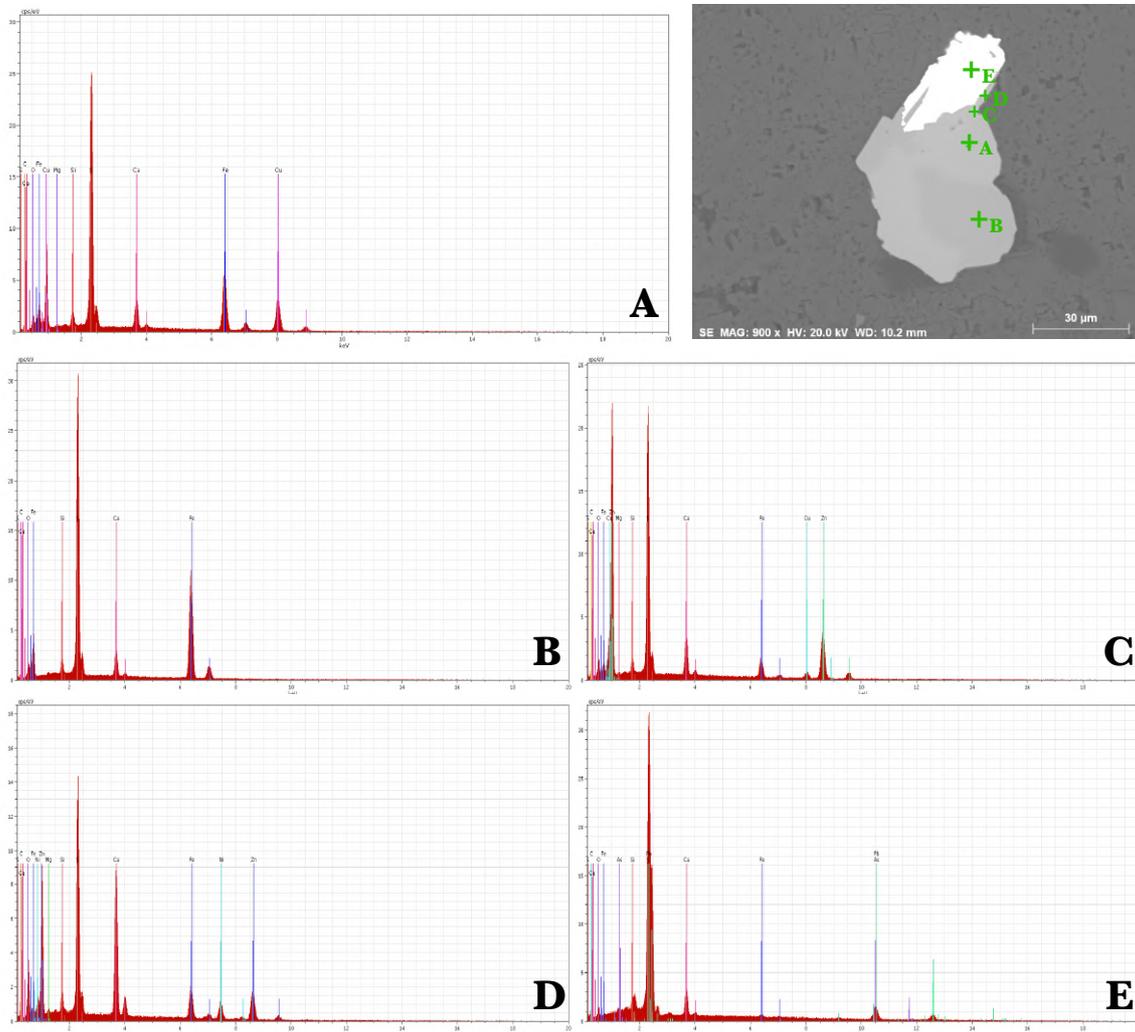


Figura 4.25 - Imagem de SEM assinalada com pontos de microanálise por EDS (A, B, C, D e E cruz verde) para a amostra Bt#25.2_2 (Estampa 4D); **A:** espectro de análise composicional (EDS) - Calcopirite; **B:** espectro de análise composicional (EDS) - Pirrotite; **C:** espectro de análise composicional (EDS) - Esfalerite; **D:** espectro de análise composicional (EDS) - Pentlandite; **E:** espectro de análise composicional (EDS) - Galena.

A Fig. 4.25 apresenta um conjunto de microanálises em cada um dos minerais constituintes do agregado. O espectro *A* apresenta S, Fe e Cu confirmando tratar-se de uma calcopirite. A microanálise *B* confirma ser uma pirrotite, estando de acordo com o estudo petrográfico. No espectro *C* verifica-se que existe uma alta concentração de S e Zn e em menor quantidade Fe, tratando-se de uma esfalerite. O espectro *D* apresenta altas concentrações de S e teores mais baixos de Fe e Ni, o que revelou tratar-se de uma pentlandite. O teor de Zn superior ao de Ni é uma interferência devido à proximidade de uma esfalerite (Anexo VI - Bt#25.2). A microanálise *E* revela altas concentrações de S e em menos quantidade Pb, o que se mostrou tratar de uma galena. Em todos os espectros da Fig. 4.25 é observada uma interferência em Ca proveniente da matriz.

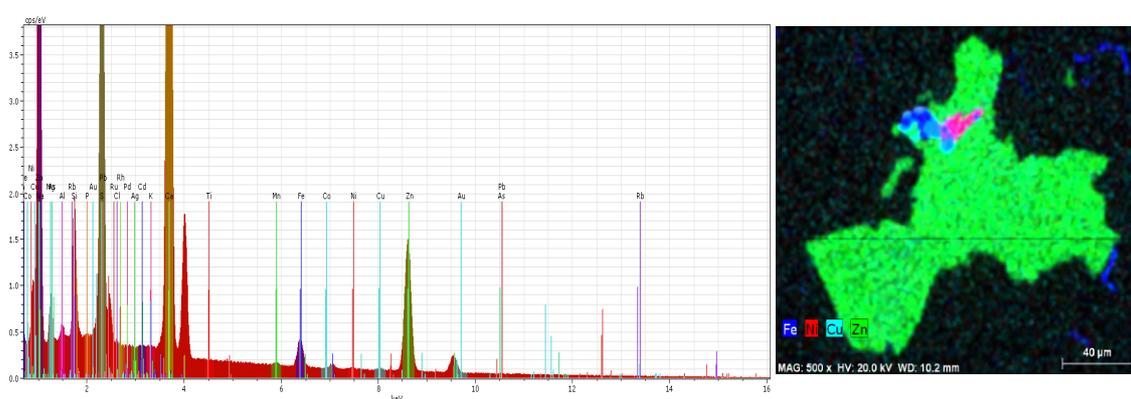


Figura 4.26 - Mapa composicional combinado para Fe, Ni, Cu e Zn, com o respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#25.2_3 (Estampa 4E).

No espectro do mapa da Fig. 4.26 observa-se uma elevada concentração de Ca proveniente dos veios carbonatados, a presença de altos teores de S e Zn devem-se à esfalerite, cuja microanálise (*A*) representada na Fig. 4.27 confirma. A microanálise *B* revelou a presença de uma pentlandite, cujo espectro apresenta uma pequena concentração de Ca proveniente da interferência dos veios carbonatados. No espectro *C* observa-se a presença de S, Fe e Cu o que mostra ser uma calcopirite com interferências de Ca, Ni e Zn. O espectro *D* apresenta S e Fe, tratando-se assim de uma pirrite.

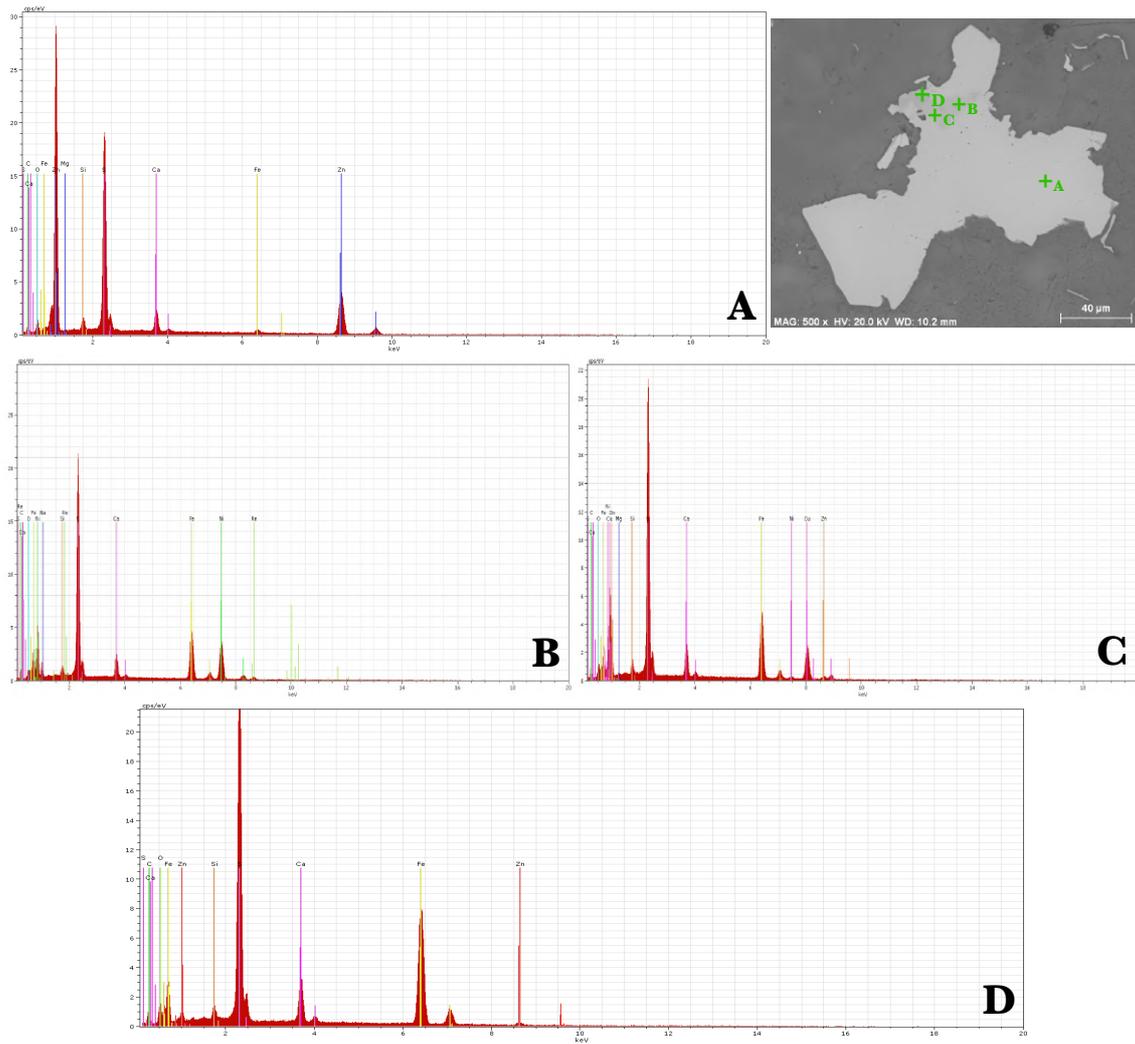


Figura 4.27 - Imagem de SEM assinalada com pontos de microanálise por EDS (A, B, C e D cruz verde) para a amostra Bt#25.2_2 (Estampa 4D); **A:** espectro de análise composicional (EDS) - Esfalerite; **B:** espectro de análise composicional (EDS) - Pentlandite; **C:** espectro de análise composicional (EDS) - Calcopirite; **D:** espectro de análise composicional (EDS) - Pirite.

A Fig. 4.28 apresenta duas microanálises nas partículas de pirrotite que se encontram disseminadas pelos veios de carbonatos. A microanálise *A* é realizada numa pirrotite euédrica enquanto que a microanálise *B* é realizada numa partícula de pirrotite de menor dimensão, o que leva a pequenas interferências presentes no respetivo espectro. A tabela 4.2 apresenta as composições químicas para ambas as análises, onde foi recalculada a estequiometria com base no Fe e S.

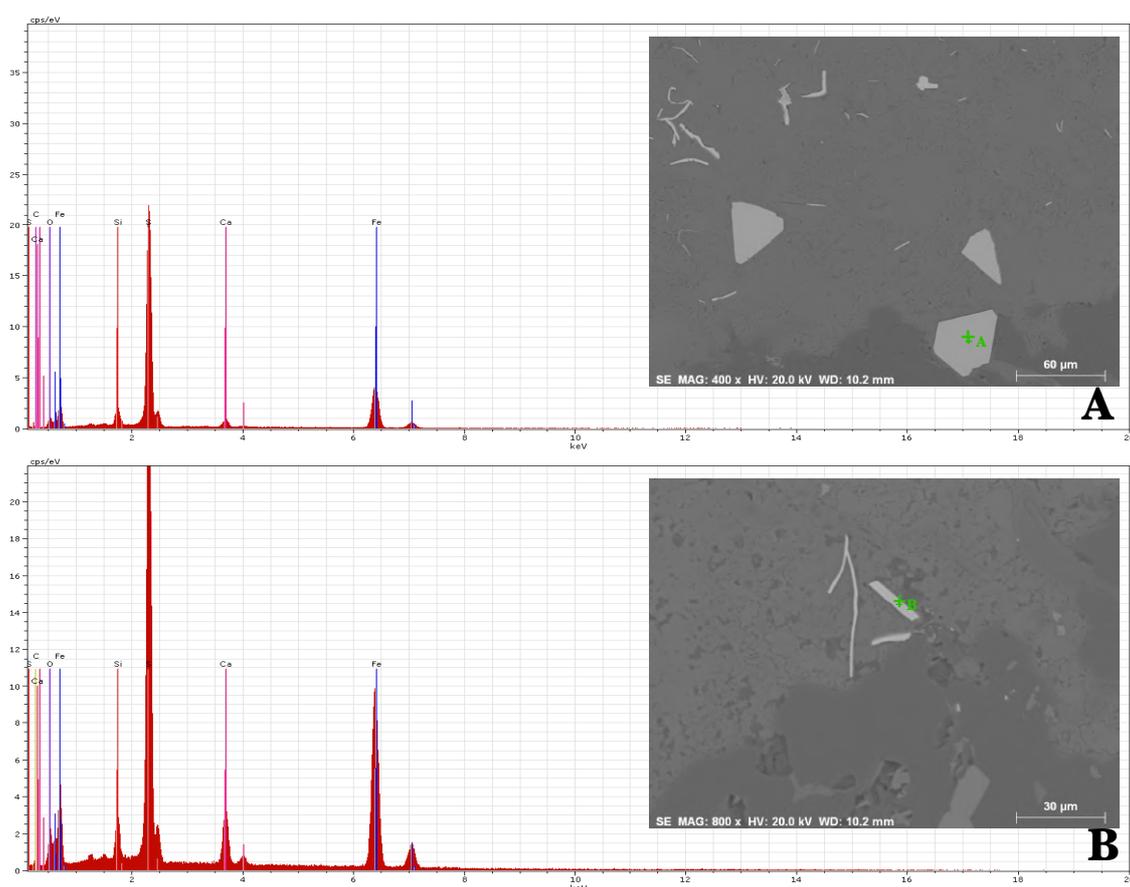


Figura 4.28 - **A**: Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#25.2_3 (Estampa 4E - Pirrotite).

B: Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#25.2_3 (Estampa 4E - Pirrotite).

Tabela 4.2 - Composições químicas das análises pontuais apresentadas na Fig. 4.28.

Pirrotite III	A (wt.%)	B (wt.%)
Fe	53,70	64,87
S	46,30	35,13
Total	100	100

Amostra Bt#27.2

As análises efetuadas nesta amostra tiveram como objetivo o estudo do agregado titanite+rútilo.

O espectro da Fig. 4.29 mostra que existe uma quantidade significativa de Si, Ti e Ca provenientes da titanite e do rútilo. São ainda detetadas teores mais baixos de Mg e Al provavelmente da matriz. A microanálise *A* (Fig. 4.30) apresenta concentrações elevadas de Ti o que revelou tratar-se de rútilo, enquanto que a microanálise *B* (Fig. 4.30) apresenta Si, Ca e Ti correspondendo a titanite.

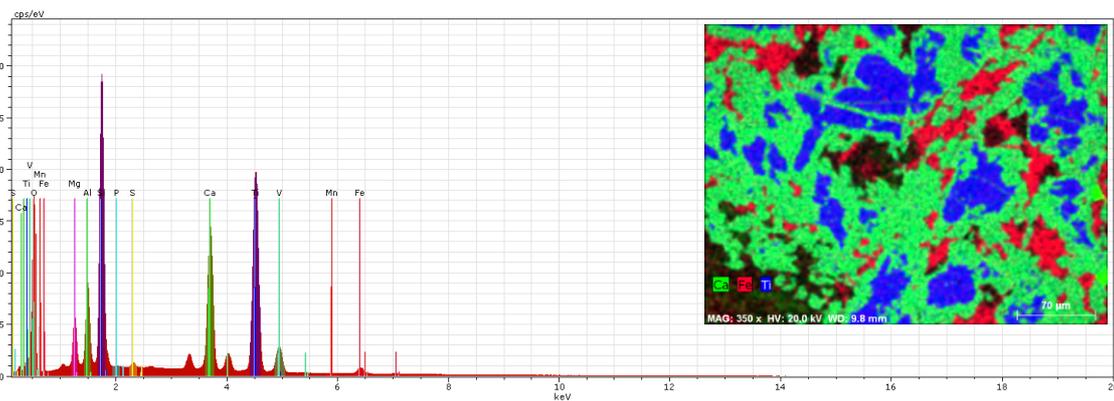


Figura 4.29 - Mapa composicional combinado para Ca, Fe e Ti, com o respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#27.2_2 (Estampa 5A).

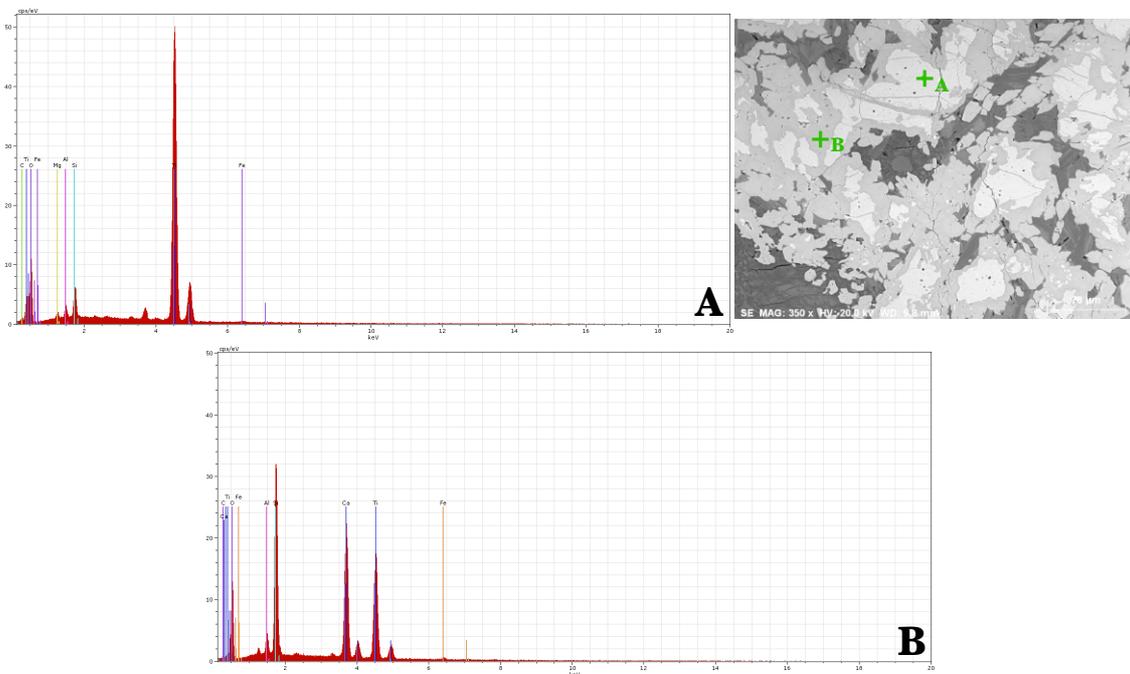


Figura 4.30 - Imagem de SEM assinalada com pontos de microanálise por EDS (A e B cruz verde) para a amostra Bt#27.2_2 (Estampa 5A); **A**: espectro de análise composicional (EDS) - Rútilo; **B**: espectro de análise composicional (EDS) - Titanite.

Amostra Bt#30

No espectro da Fig. 4.31 verifica-se que a matriz da amostra é rica em Ca e Sb, contendo ainda quantidades significativas de Mg. O teor elevado de Fe e S verificado provêm maioritariamente dos sulfuretos presentes, como a pirite, cuja microanálise apresentada pelo espectro *A* da Fig. 4.32 comprova. O espectro da Fig. 4.31 apresenta ainda uma concentração considerável de Cu, visível também no mapa correspondente, associada principalmente à calcopirite (ver subcapítulo 4.1). A microanálise *B* (Fig. 4.32) apresenta S, Sb e Cu, o que revelou tratar-se de uma tetraedrite com pequenas interferências de Fe e Zn.

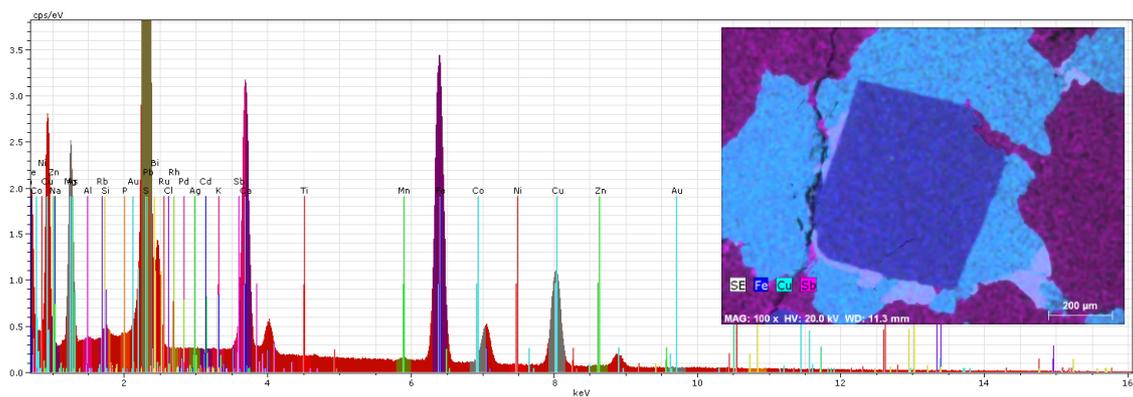


Figura 4.31 - Mapa composicional combinado para Fe, Cu e Sb, com o respetivo espectro de análise composicional (EDS), apara a amostra Bt#30_1 (Estampa 5B).

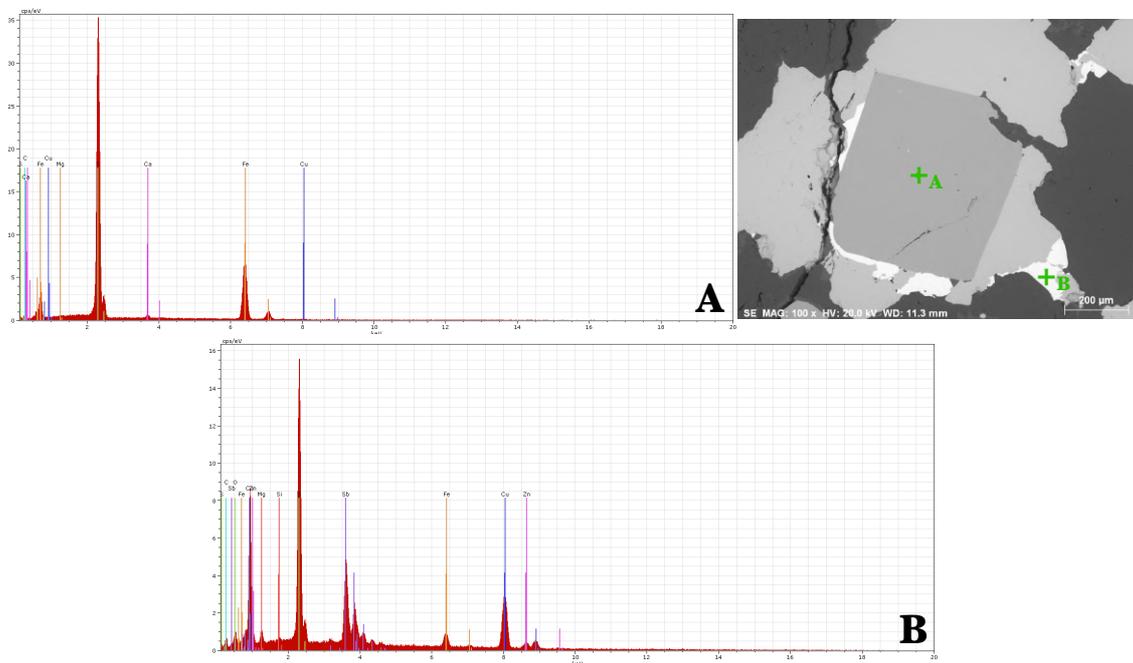


Figura 4.32 - Imagem de SEM assinalada com pontos de microanálise por EDS (A e B cruz verde) para a amostra Bt#30_1 (Estampa 5B); **A**: espectro de análise composicional (EDS) - Pirite; **B**: espectro de análise composicional (EDS) - Tetraedrite.

No espectro da Fig. 4.33 observa-se a presença de S, Sb e Ni, podendo tratar-se de uma ulmanite (?), contudo a sua identificação não é clara tendo em conta a sua composição calculada (Tabela 4.3). O mapa da Fig. 4.34 foi realizado numa inclusão de calcopirite de dimensão considerável, dentro de uma pirite. A “barra” observada no canto superior esquerdo do mapa, corresponde a uma marcassite (ver subcapítulo 4.1). No seu espectro (A) observam-se teores de S, Fe e Cu derivados dos sulfuretos. O espectro B apresenta teores de S e Fe, o que pela sua estequiometria confirmou ser uma pirrotite, identificada previamente pela análise petrográfica.

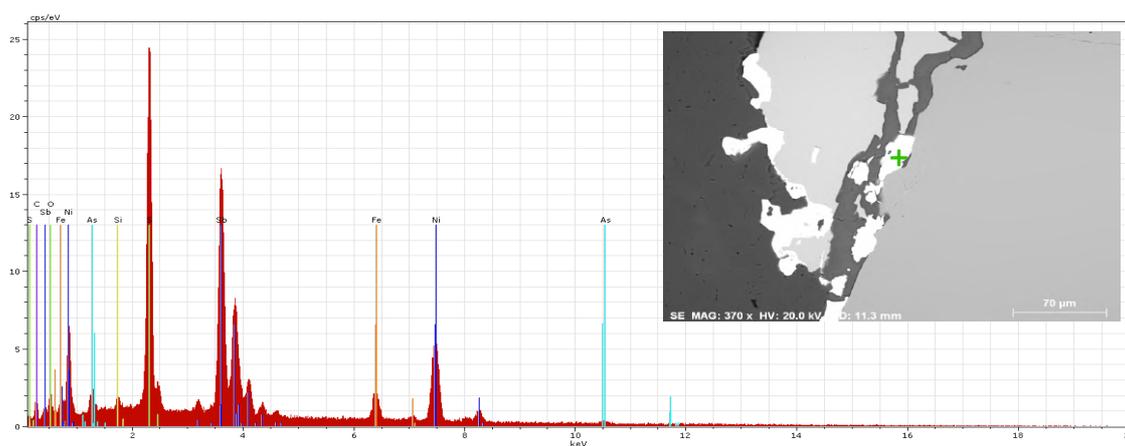


Figura 4.33 - Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#30_3 (Estampa 5C - Ulmanite (?)).

Tabela 4.3 - Composição química da análise pontual apresentada na Fig. 4.33.

Ulmanite (?)	(wt.%)
Ni	27,35
Sb	53,74
S	18,91
Total	100

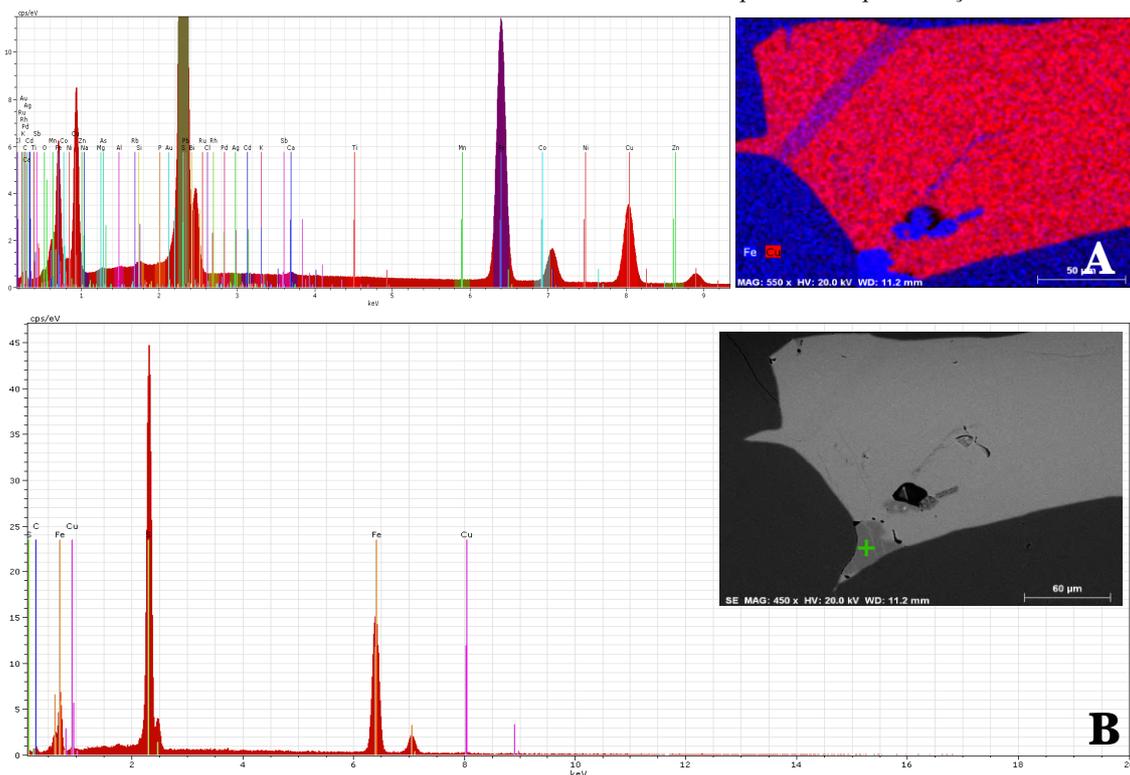


Figura 4.34 - **A:** Mapa composicional combinado para Fe e Cu, com o respectivo espectro de análise composicional (EDS), apara a amostra Bt#30_3 (Estampa 5C).

B: Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respectivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#30_3 (Estampa 5C - Pirrotite).

A microanálise *A* apresentada na Fig. 4.35 mostra a presença de S, Fe e Cu, o que permite apurar a presença de uma calcopirite, enquanto que a microanálise *B* apresenta S e Fe, o que confirmou tratar-se de uma marcassite (ver subcapítulo 4.1).

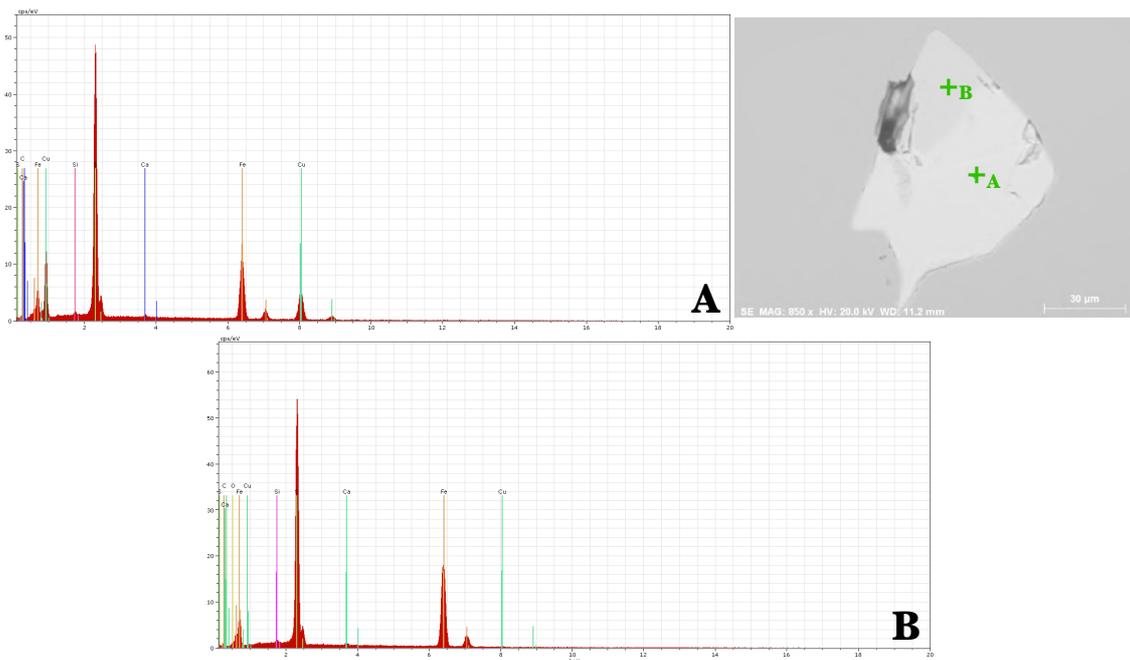


Figura 4.35 - Imagem de SEM assinalada com pontos de microanálise por EDS (A e B cruz verde) para a amostra Bt#30_2; **A:** espectro de análise composicional (EDS) - Calcopirite; **B:** espectro de análise composicional (EDS) - Marcassite.

A Fig. 4.36 apresenta microanálises realizadas na matriz da amostra. Na microanálise *A* observa-se a presença de Si, Ca e Ti o que confirma ser titanite que se apresenta disseminada pela matriz, enquanto que a microanálise *B* mostra a presença de S e Fe, confirmando também a presença de pirite disseminada.

Para esta amostra foi realizada uma análise por difração de raio-X (DRX), na medida de identificar a rocha, tendo esta revelado tratar-se de um dolomito. No Anexo VI - Bt#30 podemos encontrar o resultado dessa mesma análise.

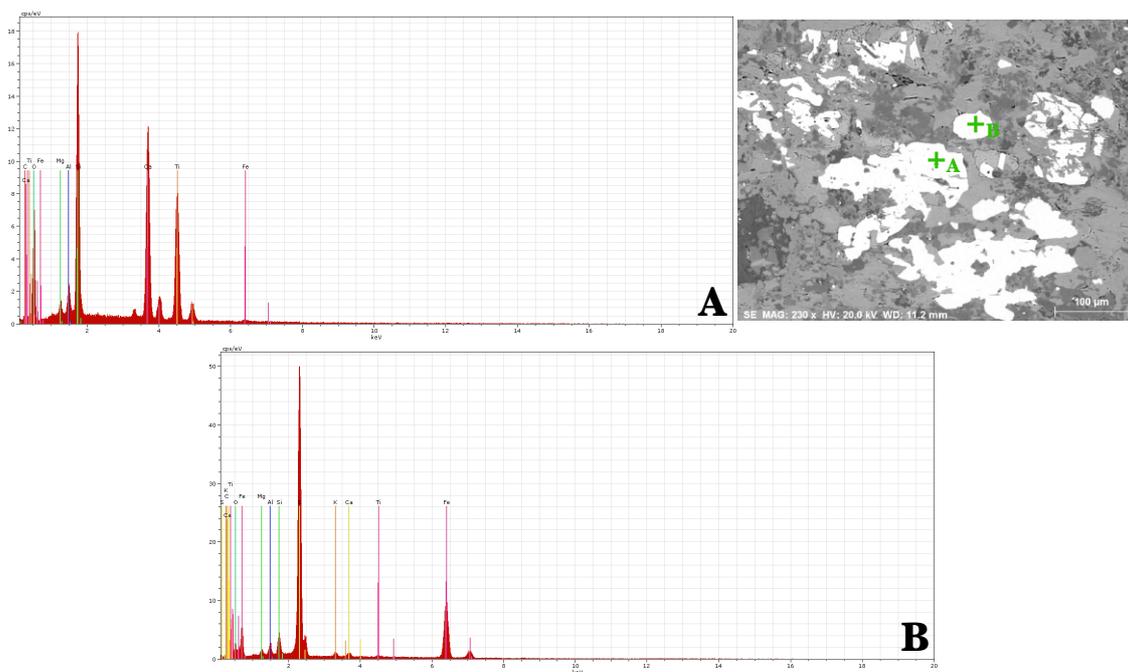


Figura 4.36 - Imagem de SEM assinalada com pontos de microanálise por EDS (A e B cruz verde) para a amostra Bt#30_4; **A:** espectro de análise composicional (EDS) - Titanite; **B:** espectro de análise composicional (EDS) - Pirite.

Amostra Bt#31

A microanálise *A* apresentada na Fig. 4.37 mostra a presença de S, Fe e Cu o que confirma a presença de calcopirite, esta apresenta uma interferência em Ca, Al e Si possivelmente da matriz. No espectro *B* observa-se a presença de S acompanhado de Fe e Pb, o que indica a presença de galena, esta por sua vez encontra-se também em inclusões em marcassite, cuja microanálise é apresentada pelo espectro *C*.

No espectro da Fig. 4.38 verifica-se que a matriz é rica em Al e Si, apresentando quantidades significativas de Ca, K, Pb e S e em menor quantidade Ti, Fe, Cu e Zn.

O espectro *A* da Fi. 4.39 apresenta quantidades significativas de S e Fe, revelando ser uma pirite com uma pequena interferência em Ni. A microanálise *B* apresenta S, Fe e Cu o que mostra ser uma calcopirite, apresentando pequenos teores contaminantes de Al, Si, K e Ca possivelmente da matriz. No espectro *C* verifica-se a presença de S, Zn e Fe o que revela ser uma esfalerite, apresentando pequenos teores contaminantes em Pb, Ca e Cu. A microanálise *D* apresenta S e Pb o que mostra ser uma galena.

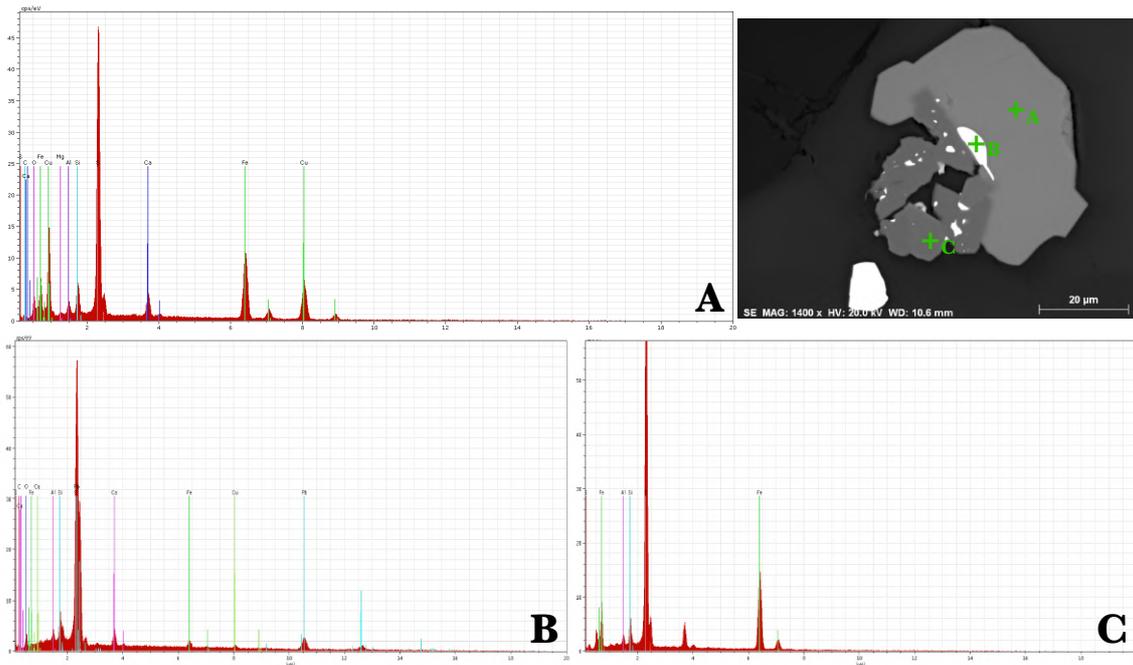


Figura 4.37 - Imagem de SEM assinalada com pontos de microanálise por EDS (A, B e C cruz verde) para a amostra Bt#31_1 (Estampa 5D); **A:** espectro de análise composicional (EDS) - Calcopirite; **B:** espectro de análise composicional (EDS) - Galena; **C:** espectro de análise composicional (EDS) - Marcassite;

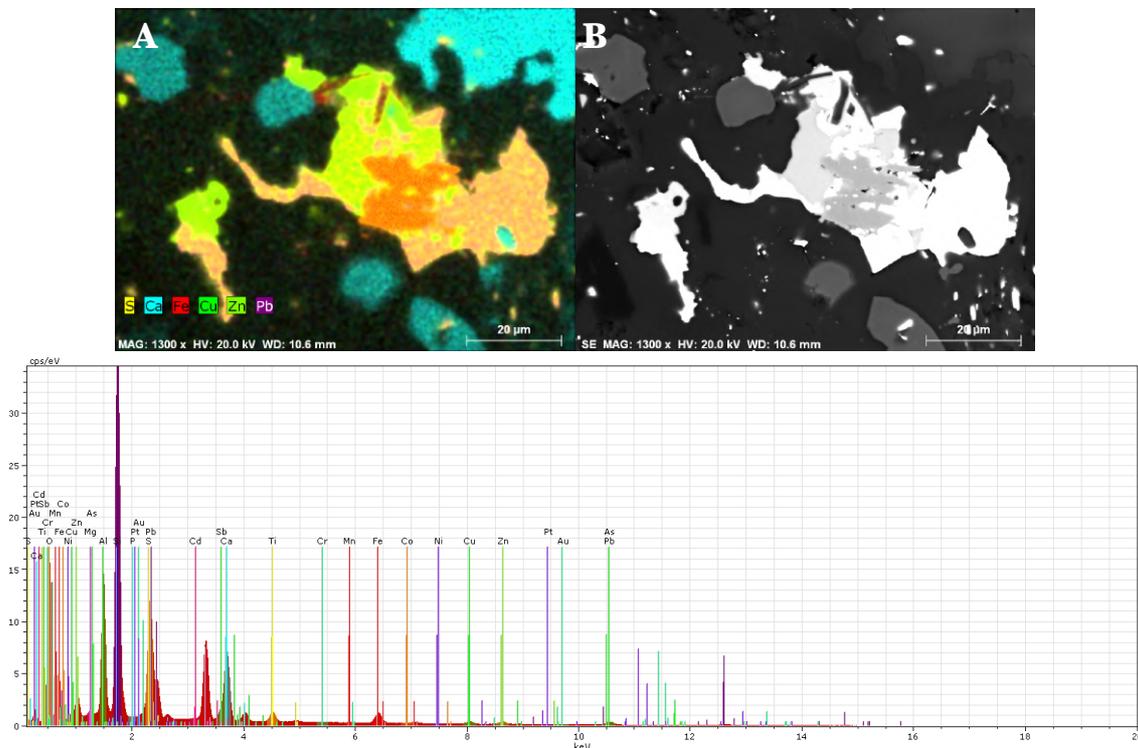


Figura 4.38 - **A:** Mapa composicional combinado para S, Ca, Fe, Cu, Zn e Pb; **B:** Imagem de SEM correspondente ao mapa A; espectro de análise composicional (EDS) para a zona da imagem, da amostra Bt#31_3.

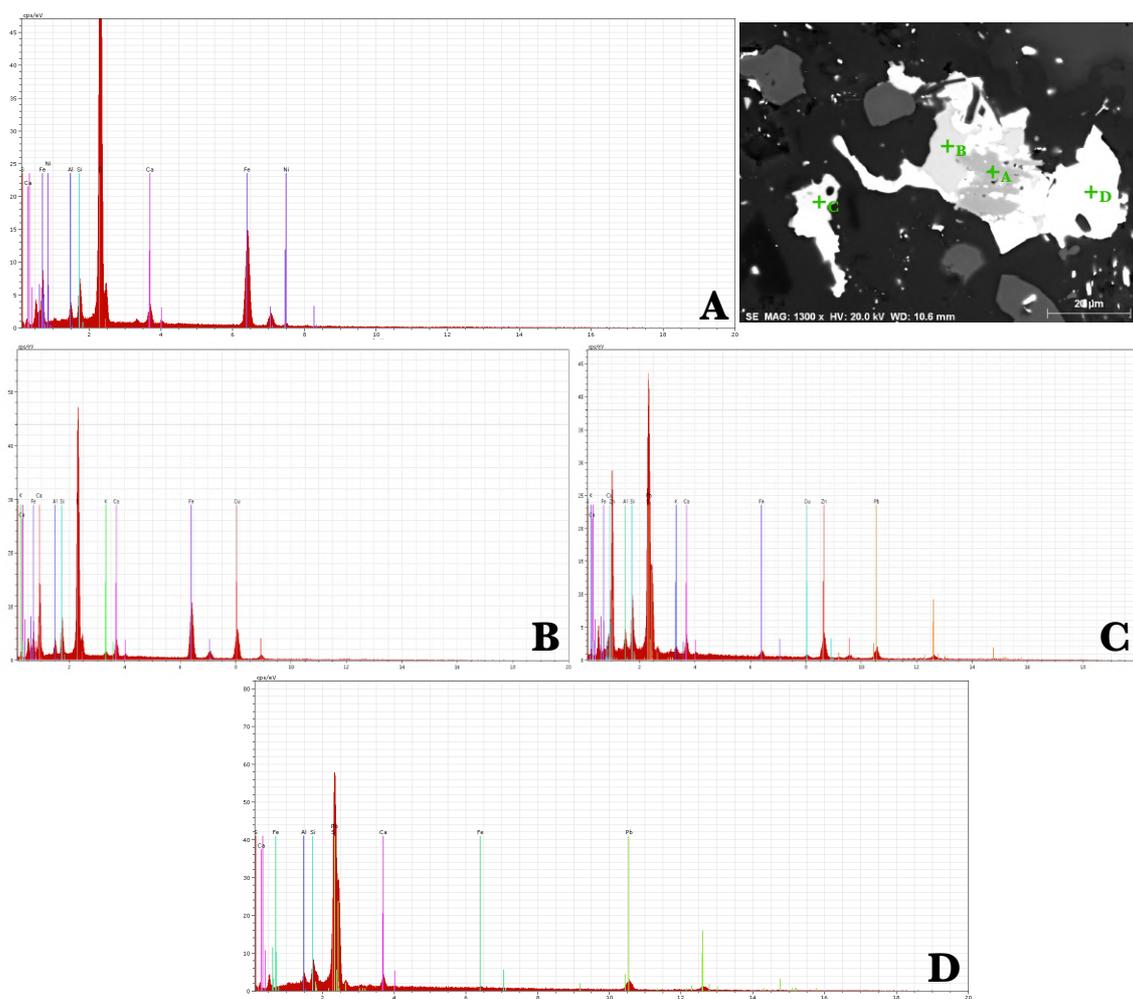


Figura 4.39 - Imagem de SEM assinalada com pontos de microanálise por EDS (A, B, C e D cruz verde) para a amostra Bt#31_3; **A:** espectro de análise composicional (EDS) - Pirite; **B:** espectro de análise composicional (EDS) - Calcopirite; **C:** espectro de análise composicional (EDS) - Esfalerite; **D:** espectro de análise composicional (EDS) - Galena.

Amostra Bt#33.2

No espectro da Fig. 4.40 verifica-se que a matriz é rica em Al e Si, contendo quantidades significativas de Ca e Sb. No mapa (Fig. 4.40) observa-se que o Mg está presente em fissuras na matriz e associado por vezes a sulfuretos. A microanálise *A'* (Fig. 4.41) apresenta Ti e Fe o que revela ser uma ilmenite, com uma pequena interferência em Mn. A microanálise *B'* (Fig. 4.41) apresenta uma considerável concentração de S e Fe e que pode ser considerado como pirite, contudo a análise metalogénica (ver Anexo VI - Bt#33.2 - Ponto de Observação 4) sugere a existência de um aglomerado de pirite+marcassite.

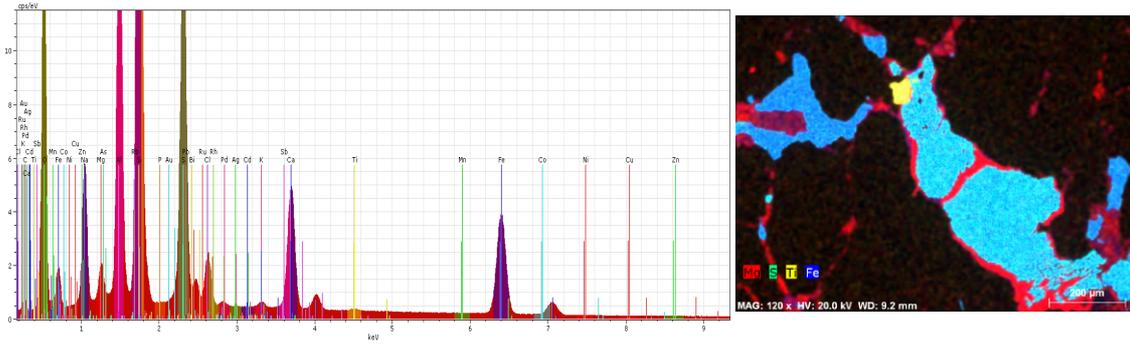


Figura 4.40 - Mapa composicional combinado para Mg, S, Ti e Fe, com o respetivo espectro de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#33.2_4.

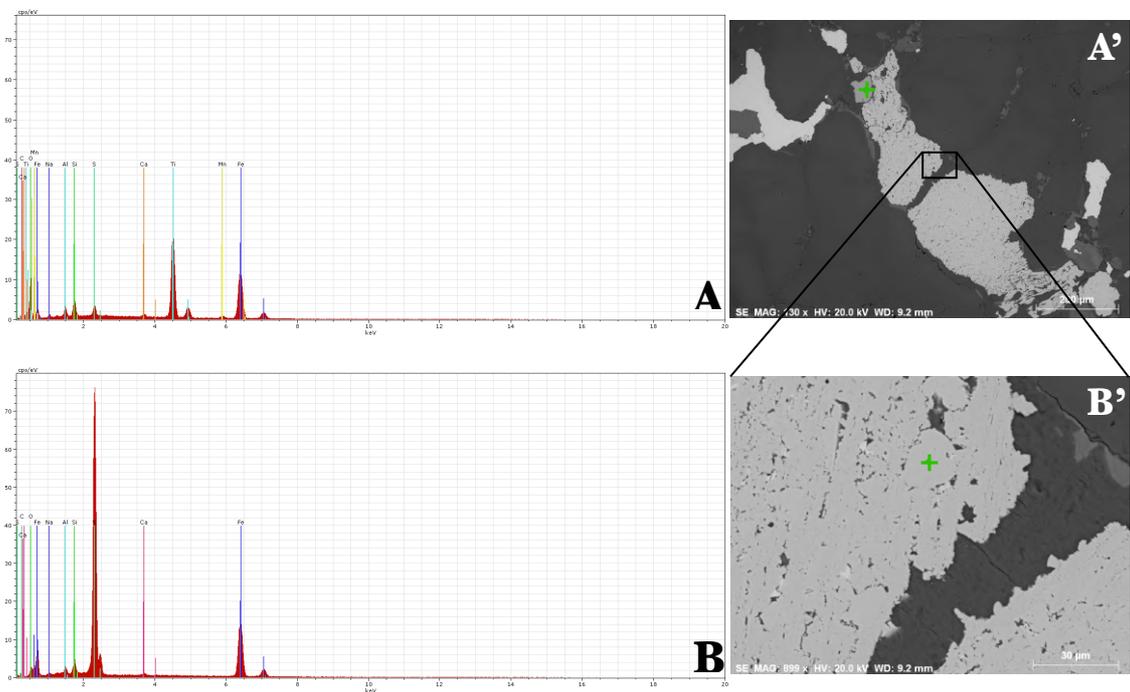


Figura 4.41 - **A'**: Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro (**A**) de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#33.2_4 - Ilmenite.

B': Imagem de SEM assinalada com ponto de microanálise por EDS (cruz verde) e respetivo espectro (**B**) de análise composicional (EDS), para a amostra Bt#33.2_4 - Pirite (?).

A microanálise *A* apresentada na Fig. 4.42 indica a presença de S, Fe e Cu revelando assim ser uma calcopirite (variedade acastanhada). Os espectros *B*, *C* e *D* apresentam-se de forma muito idêntica com concentrações de S e Fe, contudo a sua distinção foi efectuada com o apoio metalogénico e estequiométrico das análises (ver Anexo VI - Bt#33.2 - Ponto de Observação 5), sendo que se confirmou que as microanálises *B* e *D* correspondem a marcassites e a microanálise *C* corresponde a pirrotite.

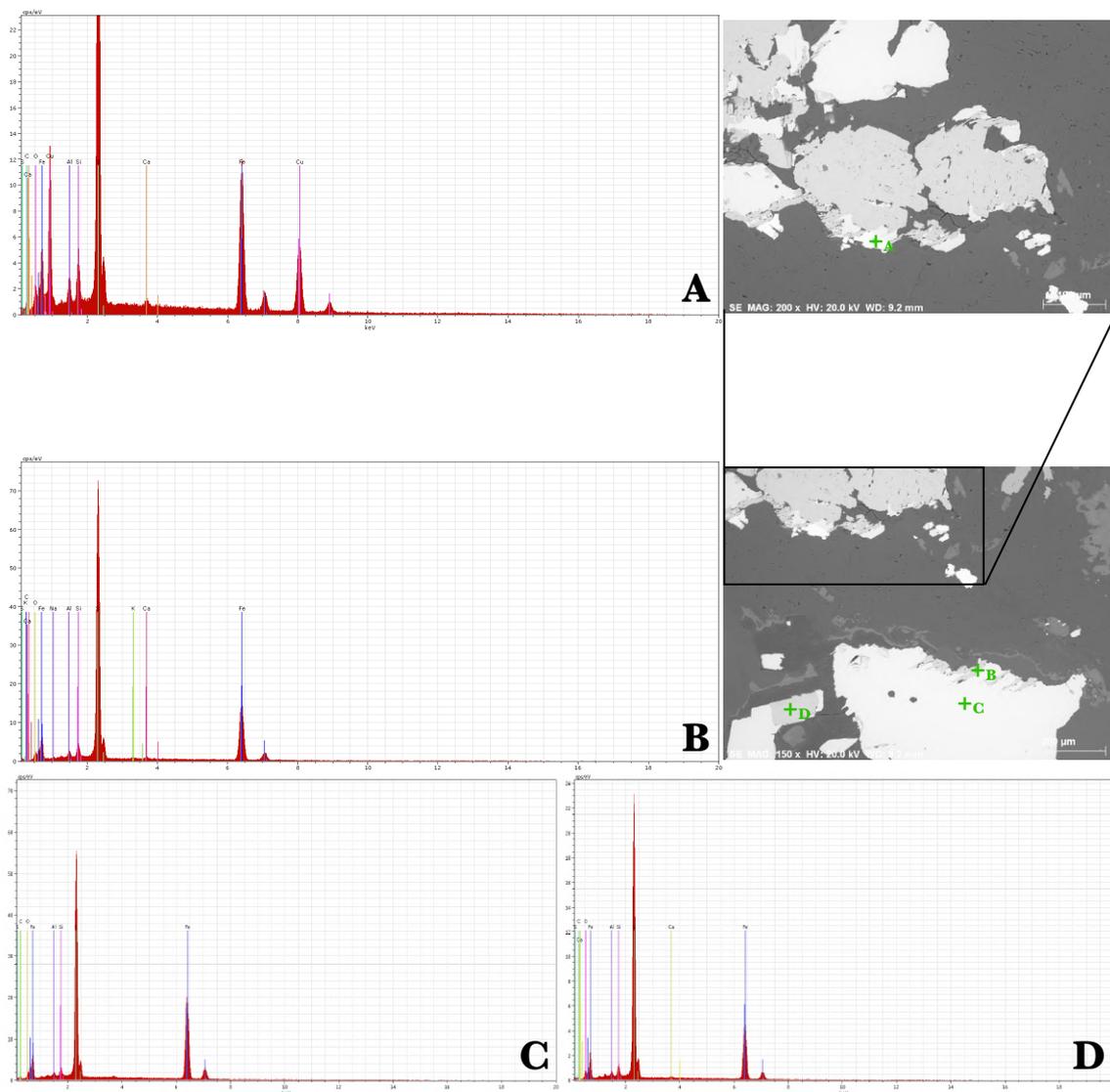


Figura 4.42 - Imagens de SEM assinaladas com pontos de microanálise por EDS (A, B, C e D cruz verde) para a amostra Bt#33.2_5 (Estampa 6A); **A**: espectro de análise composicional (EDS) - Calcopirite; **B**: espectro de análise composicional (EDS) - Marcassite; **C**: espectro de análise composicional (EDS) - Pirrotite; **D**: espectro de análise composicional (EDS) - Marcassite.

4.1.6. Síntese mineral

Na Fig. 4.43 é apresentada uma síntese das fases minerais descritas nos subcapítulos 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3 e 4.1.5. A figura tem como base, a ilustração do perfil simplificado da sondagem SD18 com as quantidades minerais presentes no grupo da mineralização principal, quantidades essas definidas dentro da sua abundância observável, sendo ainda apresentada uma ilustração com a mineralização acessória.

A pirite caracteriza-se pela sua presença ubíqua em quantidades bastante consideráveis, quase sempre com calcopirite e pirrotite associada. A calcopirite apresenta-se na sua generalidade em pouca quantidade, contudo a sua presença pela sondagem é de forma regular, à exceção do conjunto litológico arcoses e do primeiro troço das rochas calcossilicatadas. A pirrotite encontra-se de uma forma menos uniforme quando comparada à calcopirite contudo, não obstante à sua quantidade bastante considerável em diversos exemplares.

As hematites estudadas encontram-se de forma mais regular nas rochas calcossilicatadas, comparativamente ao observado nas rochas básicas. Este tipo de óxidos de ferro surge em rochas situadas mais próximo da superfície denunciando tratarem-se de fases secundárias resultado de oxidação. As ilmenites apresentam-se de forma pouco significativas na totalidade da sondagem, no entanto, a sua quantidade é bastante apreciável em determinados níveis amostrados. As titanites registam um aumento da sua quantidade em profundidade, apresentando por diversas vezes quantidades bastante consideráveis.

Os minerais acessórios encontram-se um pouco por todas as litologias, existindo um destaque para a marcassite que regista uma presença mais constante.

De uma forma simplificada as arcoses destacam-se pelo seu baixo conteúdo metalífero. O nível de rochas ultrabásicas intersectado entre os 140 m e 227 m surge como o mais mineralizado, com a presença de disseminações de pirite, calcopirite, pirrotite, titanite e ilmenite, apresentando ainda minerais acessórios como rútilo e pentlandite. Estas rochas apresentam também veios mineralizados em sulfuretos. Nos contactos entre estas rochas e as litologias calcossilicatadas surgem a teto e a muro níveis com pirite, calcopirite e pirrotite, sendo muito rara a ocorrência de ilmenite ou titanite.

Relativamente, às análises pontuais efetuadas nas fases minerais apresentadas no subcapítulo 4.1.5., as tabelas que de seguida se apresentam, foram recalculados os valores para 100%. As pirites e as marcassites apresentam um valor em Fe superior ao S de forma constante, não tendo sido verificado o contrario nos exemplos estudados destes minerais (tabela 4.4). O mesmo se verifica para as pirrotites.

Tabela 4.4 - Composições químicas de análises pontuais realizadas em Py (pirite), Mrc (marcassite) e Po (pirrotite).

	Fe (wt%)	S (wt%)	Total
Py	54,60	45,40	100
Mrc	65,90	34,10	100
Po	53,64	46,36	100

As análises efetuadas nas calcopirites apresentam ligeiras variações composicionais, com destaque para o Cu e Fe (tabela 4.5).

Tabela 4.5 - Composições químicas para 3 exemplos de análises pontuais em Cpy (calcopirites).

Cpy	Cu (wt%)	Fe (wt%)	S (wt%)	Total
Bt#30 ⁷	31,56	35,22	33,22	100
Bt#25.2 ⁸	36,24	31,93	31,83	100
Bt#31 ⁹	35,70	33,70	30,60	100

As análises pontuais realizadas em titanites revelam ligeiras variações composicionais, sendo que a diferença mais significativa é verificada no Ti (tabela 4.6).

Tabela 4.6 - Composições químicas para 3 exemplos de análises pontuais em Ttn (titanites).

Ttn	Ca (wt%)	Ti (wt%)	Si (wt%)	O (wt%)	Total
Bt#4 ¹⁰	17,47	20,17	12,87	49,49	100
Bt#25.2 ⁸	19,50	18,67	13,04	48,79	100
Bt#27.2 ¹¹	19,19	24,22	11,27	45,31	100

⁷ Para tabela de composições químicas original consultar Anexo VI - Ficha Bt#30 Ponto de observação 2.

⁸ Para tabela de composições químicas original consultar Anexo VI - Ficha Bt#25.2 Ponto de observação 2 e 7.

⁹ Para tabela de composições químicas original consultar Anexo VI - Ficha Bt#31 Ponto de observação 1.

¹⁰ Para tabela de composições químicas original consultar Anexo VI - Ficha Bt#4 Ponto de observação 2.

¹¹ Para tabela de composições químicas original consultar Anexo VI - Ficha Bt#27.2 Ponto de observação 2.

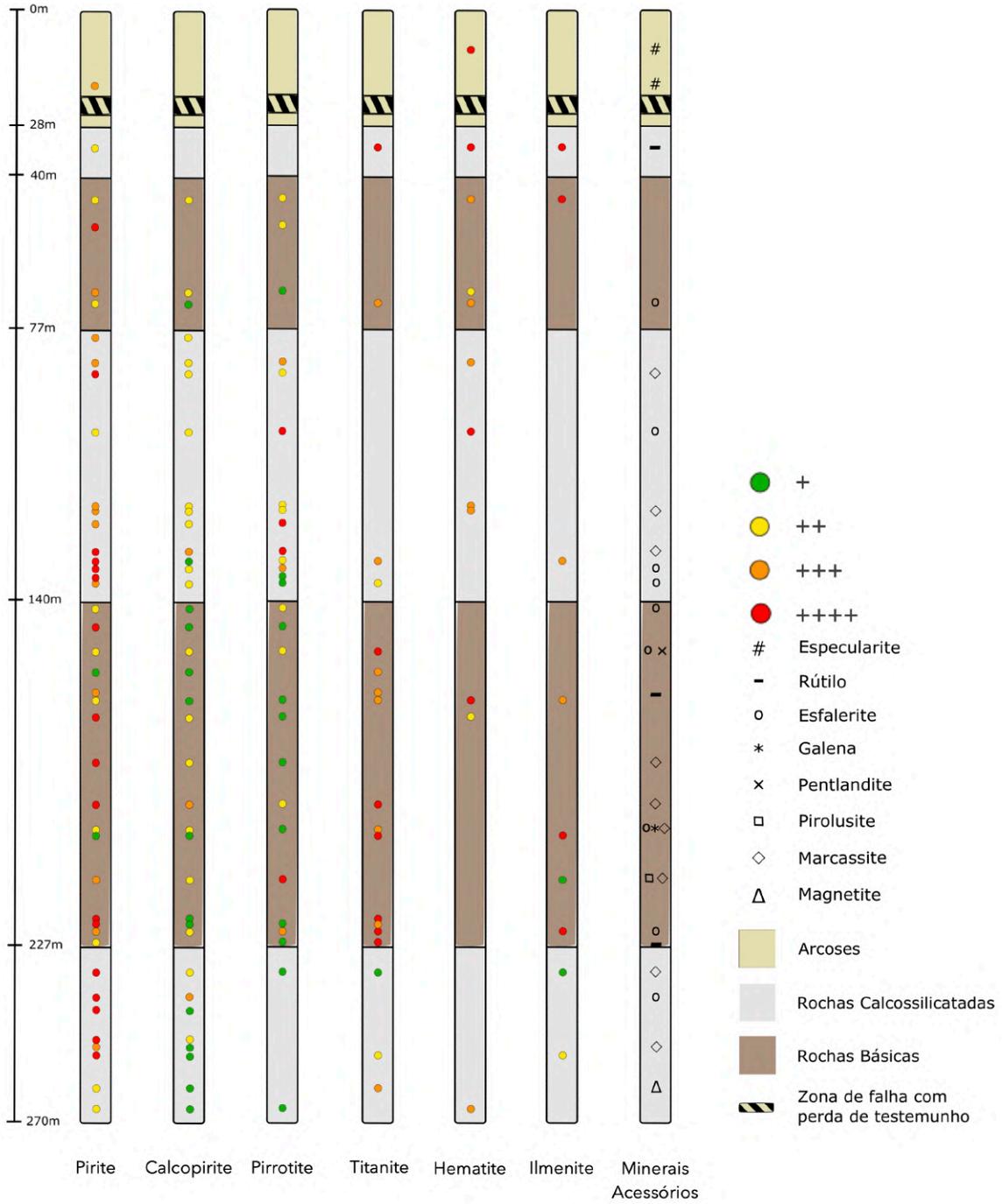


Figura 4.43 - Imagem representativa das quantidades aproximadas de diversas fases minerais presentes na sondagem SD18.

4.2. Geofísica

O presente subcapítulo apresenta os resultados das leituras de suscetibilidade magnética medidas em taliscas da sondagem SD18, bem como os resultados das campanhas de levantamento magnético realizados na região de Batigelas.

4.2.1. Suscetibilidade magnética

Os resultados de suscetibilidade magnética para a sondagem SD18 foram obtidos com base no estudo de 46 taliscas de rocha, sendo a sua localização em profundidade exposta na Fig. 4.1. Importa referir que a amostragem das amostras em estudo, não foi executada segundo parâmetros geofísicos, mas sim segundo critérios geológicos, o que reflete uma não uniformidade dos espaçamentos entre os pontos recolhidos. Deste modo, ao longo da sondagem existem troços com maior recolha de dados e outros com medições mais espaçadas. Assim, a interpretação dos resultados poderá encontrar-se afetada pelo fenómeno de *aliasing*. Para o conjunto de testemunhos de arcoses foram selecionadas duas amostras e para os conjuntos de rochas calcossilicatadas, e de rochas básicas foram selecionadas 22 amostras cada um, o que perfaz as 46 taliscas totais.

Na Tabela AI do Anexo IV podemos encontrar os resultados das leituras obtidas.

Os resultados de suscetibilidade magnética total são apresentados na Fig. 4.44 - A, variando entre 0,00012 e 0,08697 SI, com uma média de valores de 0,00499 SI e um desvio padrão de 0,01579 SI, tal como apresentado na Tabela 4.7. Estes resultados encontram-se influenciados por diversos *outliers*, que foram devidamente identificados na Fig. 4.44 - A, e assinalados pelas referências a negrito. Para os cálculos estatísticos apresentados não foram considerados os valores *outliers*, contudo é apresentada uma possível explicação para cada um dos pontos assinalados.

Os dados referentes às arcoses indicam 0,02254 SI aos ~11,50 m e 0,00292 SI aos ~19,40 m. O valor ferromagnético mais elevado (amostra Bt#1; Fig. 4.1 e Fig. 4.44 - A), encontra-se associado a quantidades consideráveis de hematite e especularite presente sob a forma de veios.

Para as rochas calcossilicatadas os valores de suscetibilidade magnética estão compreendidos entre 0,00019 e 0,00397 SI (Fig. 4.44 - A), apresentando um valor médio de 0,00078 SI. Este valor encontra-se dentro do intervalo apresentado para as rochas metamórficas definido por Teldord *et al.*, (1976) (Tabela 4.7). Este comportamento ferromagnético é devido ao ferro contido na pirrotite e nos raros óxidos. No caso dos filossilicatos o portador de ferro poderá ser a clorite que tem propriedades paramagnéticas (Ballet *et al.*, 1985; Weed *et al.*, 1990; Heinrich *et al.*, 2017). Este mineral foi identificado em veios centimétricos, o que poderá estar na origem do pico apresentado pela amostra Bt#3 (Fig. 4.1 e Fig. 4.44 - A). No caso dos óxidos, os principais portadores de ferro são as magnetites, cujo pico apresentado pela amostra Bt#44 (Fig. 4.1 e Fig. 4.44 - B), revela um

valor abaixo do esperado para este mineral. As hematites e ilmenites são outros dos minerais portadores de ferro que apresentam valores elevados de suscetibilidade magnética (Rosenblum & Brownfield, 2000). Estes minerais são os principais responsáveis pelo pico apresentado pela amostra Bt#4 (Fig. 4.1 e Fig. 4.44 - A). Os restantes picos (Bt#11, Bt#13 e Bt#17) observados nas rochas calcossilicatadas, são devidos à presença de pirrotite, sendo este o principal sulfureto com propriedades magnéticas observado. Contudo, os valores observados para rochas com a presença de pirrotite, encontram-se muito abaixo do esperado.

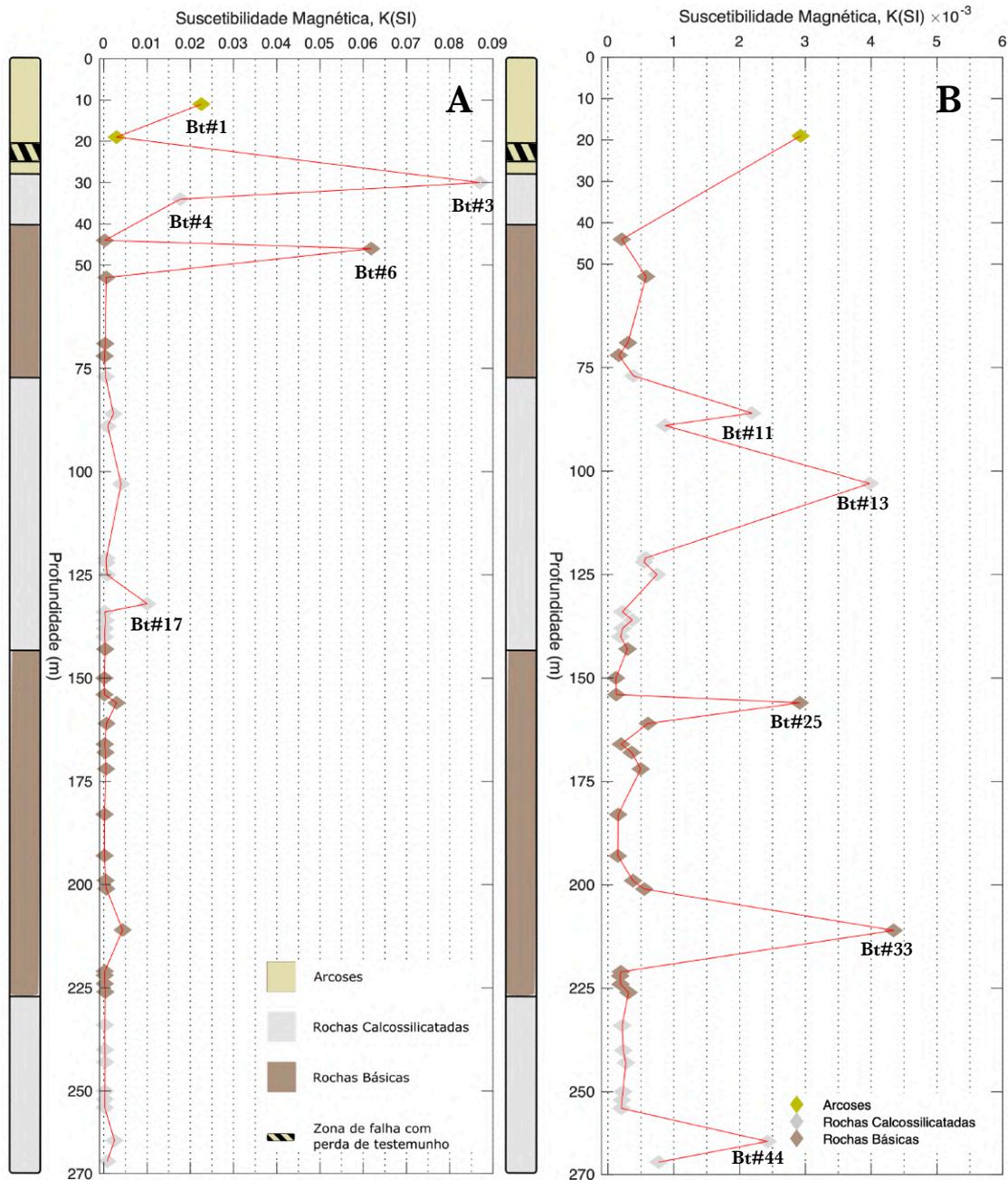


Figura 4.44 - Relação entre os diferentes tipos de rocha presentes na sondagem SD18 e a suscetibilidade magnética medida ao longo da mesma. **A:** Valores de suscetibilidade magnética com *outliers* incluídos; **B:** Valores de suscetibilidade magnética sem *outliers* incluídos.

Para as rochas básicas os valores de suscetibilidade magnética estão compreendidos entre 0,00012 e 0,00434 SI (Fig. 4.44 - A), sendo o seu valor médio de 0,0006 SI, encontrando-se dentro do intervalo de valores apresentado para este tipo de rochas por Telford *et al.*, (1976) (Tabela 4.7), contudo muito abaixo do valor médio definido por este. Estas litologias apresentam assim um valor inferior ao apresentado pelas rochas calcossilicatadas. No entanto, são encontrados valores com uma resposta altamente magnética, devido ao ferro contido em sulfuretos e óxidos. No caso dos óxidos, os seus principais portadores de ferro são a hematite e a ilmenite, sendo este os principais responsáveis pelo pico apresentado pela amostra Bt#6 (Fig. 4.1 e Fig. 4.44 - A). No caso dos sulfuretos, os principais portadores de ferro, que apresentam propriedades magnéticas são a pirrotite e a pentlandite, responsáveis pelo pico apresentado pela amostra Bt#25 (Fig. 4.1 e Fig. 4.44 - B), porém estas fases minerais surgem de forma disseminada, o que poderá explicar o valor relativamente baixo valor face ao esperado para estes. O oposto é verificado pelo pico apresentado pela amostra Bt#33 (Fig. 4.1 e Fig. 4.44 - B), que apresenta quantidades apreciáveis de pirrotite. Salienta-se a relevância do método magnético na identificação de níveis de pentlandite, o que poderá ser importante na prospeção de mineralizações de níquel.

Tabela 4.7 - Valores comparativos de suscetibilidade magnética da sondagem SD18.

	Desvio Padrão Suscetibilidade x 10 ³ (SI)	Média Suscetibilidade x 10 ³ (SI)	Média de várias rochas do mesmo tipo Suscetibilidade x 10 ³ (SI) (Telford <i>et al.</i> ,1976)
Com <i>outliers</i>	15,7962	4,9921	-
Sem <i>outliers</i>	1,0592	0,7463	-
Rochas Básicas	1,0389	0,6111	0,5 - 97
Rochas Calcossilicatadas	1,0389	0,7808	0 - 70

4.2.2. Método magnético

A interpretação dos resultados obtidos pelo método magnético requerem o uso auxiliar de dados e informações sobre o subsolo, provenientes de estudos complementares geológicos e geoquímicos. É necessário referir que as interpretações magnéticas são ambíguas, uma vez que as anomalias em estudo podem ser causadas por diversas fontes a diferentes profundidades, por vezes diferentes da fonte real da anomalia (Hinze *et al.*, 2013).

As cartas magnéticas foram produzidas a partir dos dados do levantamento magnético com recurso a um magnetómetro de precessão protónica, em modo de aquisição automático com leituras em intervalos de 60 segundos, em associação com um magnetómetro móvel do tipo de precessão protónica com efeito *Overhauser*, de resolução 0,01 nT e sensibilidade 0,2 nT, num modo de aquisição de 2 leituras por cada segundo (*vide* subcapítulo 3.2.1.4. - Cap. 3). A total cobertura de dados na região de Batigelas, permitiu a obtenção de uma malha de espaçamento de 13 metros.

A Fig. 4.45 representa a carta de anomalias magnéticas em relação à base colocada no local durante as campanhas de aquisição de dados magnéticos. Esta base foi estrategicamente colocada num local sem interferência antropogénica, e tal como referido anteriormente, este segundo magnetómetro encontrava-se estacionado a efetuar leituras em modo contínuo. É visível a presença de uma anomalia magnética, que neste caso os valores positivos correspondem à zona mais alta de valores da carta do campo magnético subtraído do IGRF.

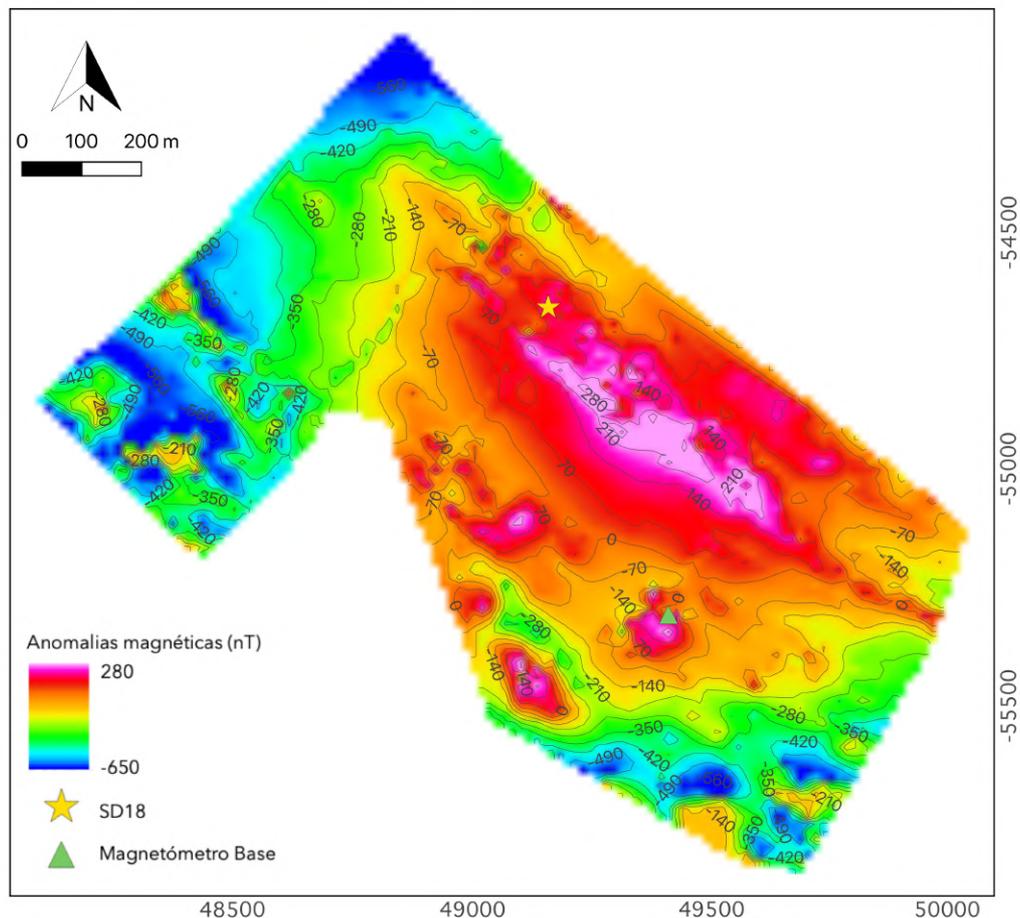


Figura 4.45 - Carta de anomalias magnéticas em relação à base local (triângulo verde). Sistema de Coordenadas Hayford-Gaus Lisboa IPCC em metros.

A região em estudo localiza-se sobre uma anomalia magnética positiva de grande dimensão (*vide* Anexo I - Fig. AIV, para carta magnética do Complexo de Cabeço de Vide onde se assinala a anomalia magnética positiva de Batigelas). Os valores apresentados na carta do campo magnético subtraído do IGRF para a região de Batigelas, apresentada pela Fig. 4.46 são positivos e encontram-se entre 180 e 970 nT. Destacam-se neste mapa 4 zonas com uma intensidade magnética superior às zonas envolventes. As anomalias dispõem-se segundo uma orientação geral NW-SE, subconcordante com a estrutura geológica.

A anomalia principal (I), encontra-se alongada segundo uma direção NW-SE, inserida no conjunto litológico arcoses. Verifica-se de forma clara um contorno litológico a SW da anomalia I, correspondendo ao contacto entre as arcoses e as rochas calcossilicatadas. Esta anomalia apresenta na sua zona central a maior intensidade de valores (> 880 nT), coincidente com a zona mineralizada cartografada no mapa simplificado da região de Batigelas (*vide* Fig. 2.7 - Cap. 2).

A anomalia representada por II, encontra-se sobre as rochas calcossilicatadas. Esta anomalia apresenta, pequenas anomalias a NW da sua localização, possivelmente associadas à fonte principal.

As anomalias apresentadas por III e IV, encontram-se sobre as rochas básicas. A sua localização e morfologia mais circunscrita (circular no caso da anomalia IV) sugere a sua associação com níveis de corpos intrusivos relativamente superficiais e de menor dimensão. A fonte destas anomalias é significativamente mais localizada, comparativamente à anomalia principal I.

Para NW as anomalias detetadas parecem não seguir os contactos litológicos, coincidente com a região onde se situa a Falha de Batigelas. O mapa magnético reflete ainda dois alinhamentos E-W e NW-SE (NW da Falha de Batigelas) que podem corresponder a zonas de falha (Fig. 4.46; zonas a tracejado).

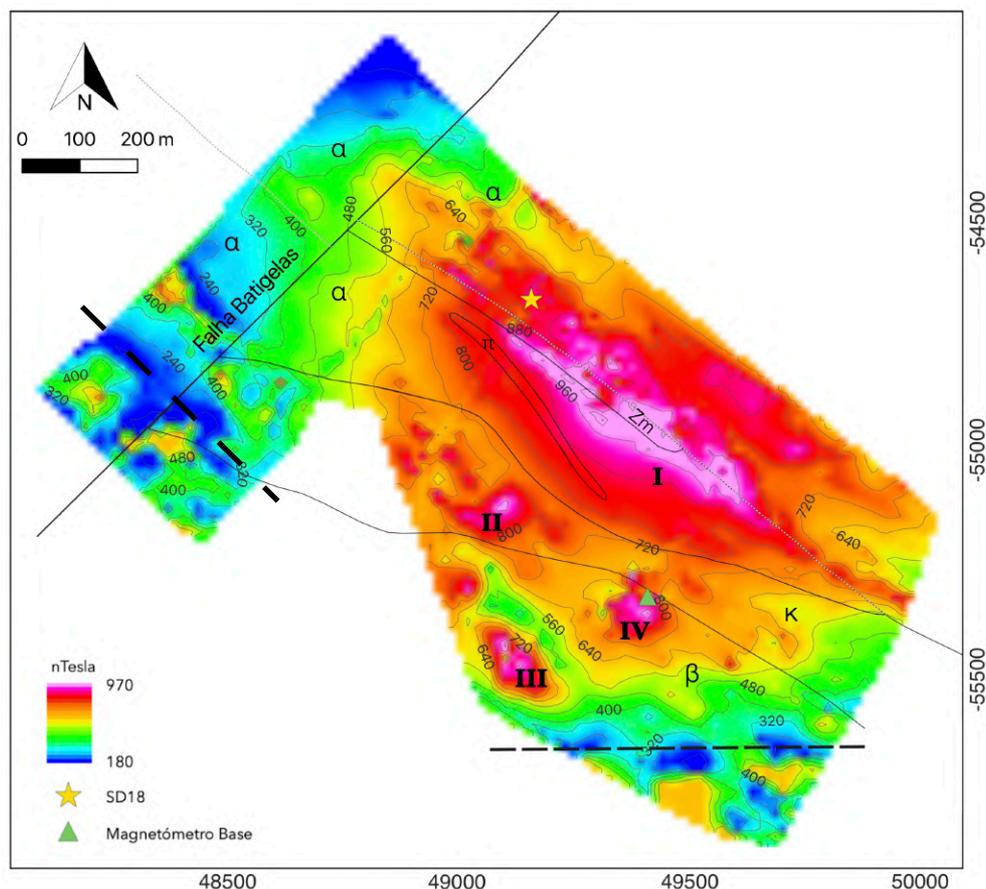


Figura 4.46 - Carta do campo magnético subtraído do IGRF para a região de Batigelas com a sobreposição dos limites geológicos.

α - Arcoses e Metavulcanitos Ácidos; **β** - Rochas Básicas; **κ** - Rochas Calcossilicatadas; **π** - Pórfiro de carácter ácido; **Zm** - Zona mineralizada. Sistema de Coordenadas Hayford-Gaus Lisboa IPCC em metros.

De forma a compreender melhor a carta do campo magnético subtraído do IGRF em estudo, são apresentados na Fig. 4.47 perfis realizados segundo a direção da sondagem SD18, sendo que o perfil P2-P2' se encontra sobreposto a esta mesma direção.

O perfil P1-P1' é realizado na zona anómala onde os valores são mais baixos, pelo que a grande maioria dos valores não ultrapassam os 500 nT.

O perfil P2-P2' encontra-se sobreposto à direção da sondagem SD18, como referido anteriormente. Este perfil apresenta um decréscimo significativo aos 200 m, na ordem dos 250 nT.

Os perfis P3-P3' e P4-P4' apresentam valores máximos superiores a 800 nT e uma tendência crescente de SW para NE, evidência esta possivelmente associada à anatomia do corpo anómalo.

Os perfis P2-P2' e P3-P3' não incidem sobre a anomalia II pelo que esta não se encontra exposta nos seus traçados.

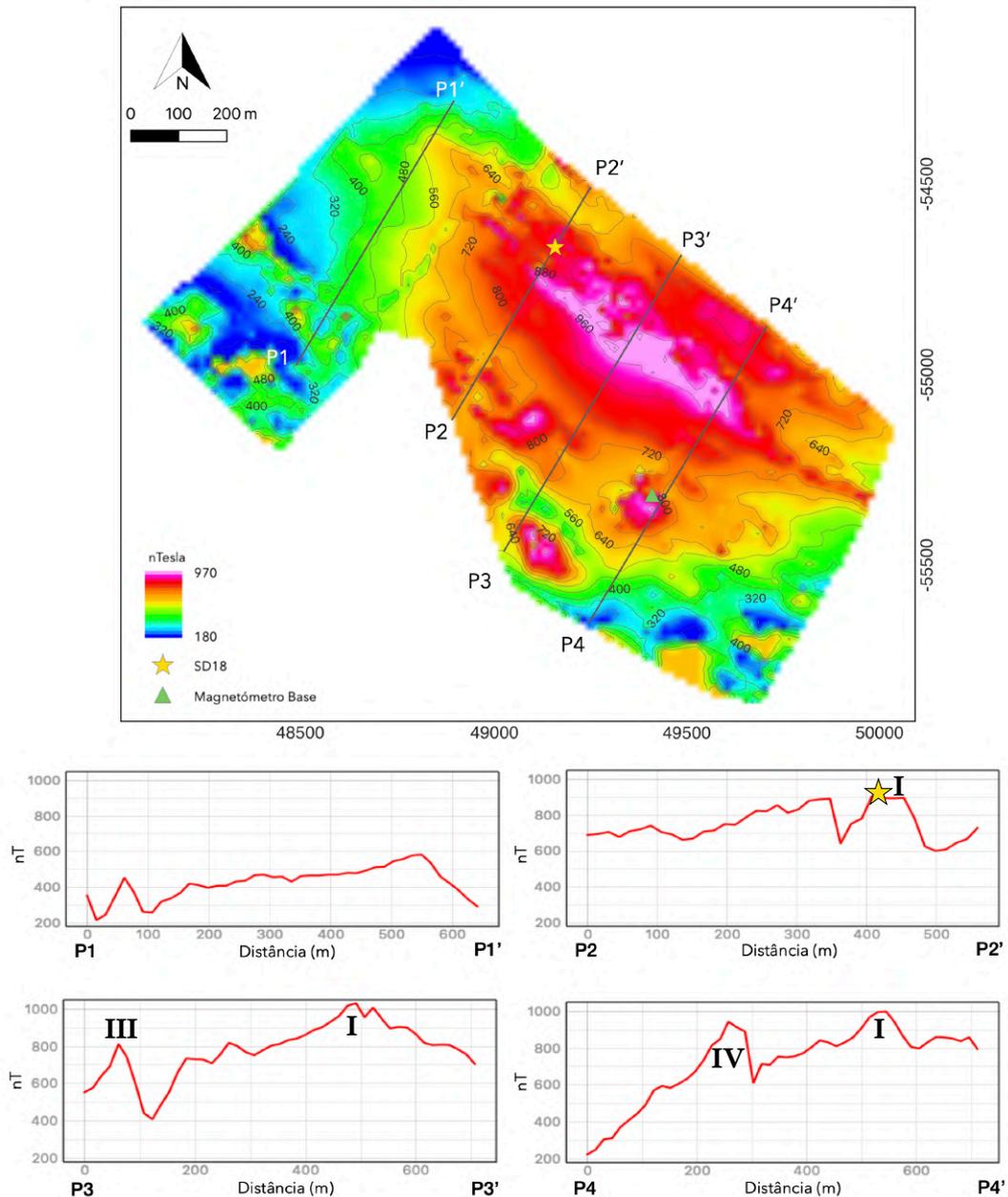


Figura 4.47 - Carta do campo magnético subtraído do IGRF, com assinaturas magnéticas correspondentes aos perfis assinalados.

A Fig. 4.48 apresenta exemplos retirados de Hinze *et al.*, (2013), que ilustram algumas assinaturas magnéticas que se relacionam com os perfis apresentados na Fig. 4.47 e 4.49.

De uma forma simplificada, a interpretação dos perfis P2-P2', P3-P3' e P4-P4' (Fig. 4.47) é suscetível de ser comparada com “*Dike*” (c) ou “*Narrow intrusive*” (d) (Fig. 4.48), que pode por vezes apresentar-se com um certo ângulo mergulhante “*Dipping dike*” (a).

A Fig. 4.49 apresenta dois perfis traçados na falha de Batigelas, sendo que o perfil M1-M1' foi traçado na mesma unidade litológica arcoses, pelo que se observa uma pequena oscilação aos 40 m. Este tipo de perfil é correlacionável com o modelo e) da Fig. 4.48. No caso do perfil M2-M2', traçado em duas unidades geológicas diferentes, arcoses e rochas calcossilicatadas, este apresenta um modelo correspondente ao esquema f) da mesma figura e relativo a diferentes unidades geológicas.

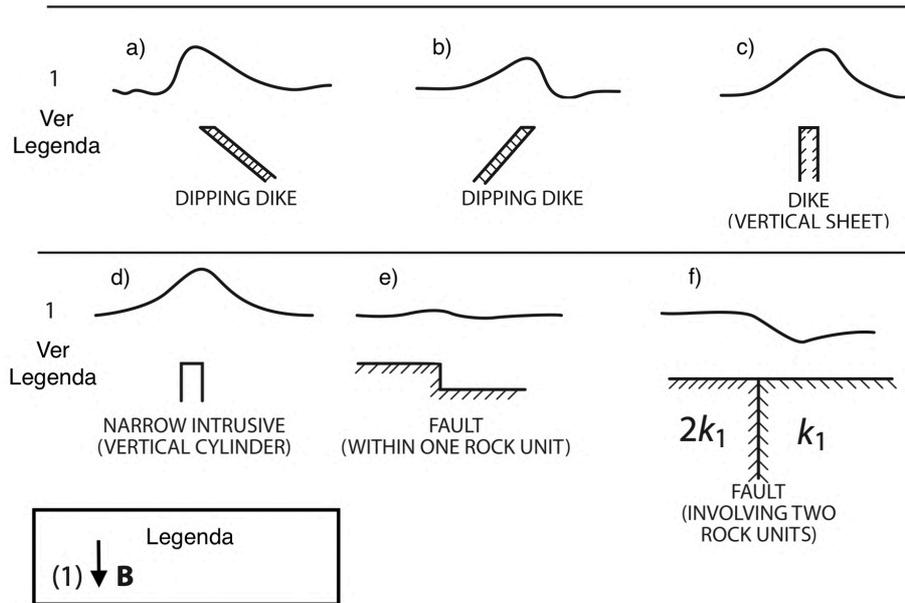


Figura 4.48 - Exemplos de perfis de anomalias magnéticas positivas sobre possíveis diferentes fontes geológicas (B - Campo geomagnético). A figura apresenta uma seleção de alguns exemplares. Adaptado de Breiner (1973) e Hinze *et al.*, (2013).

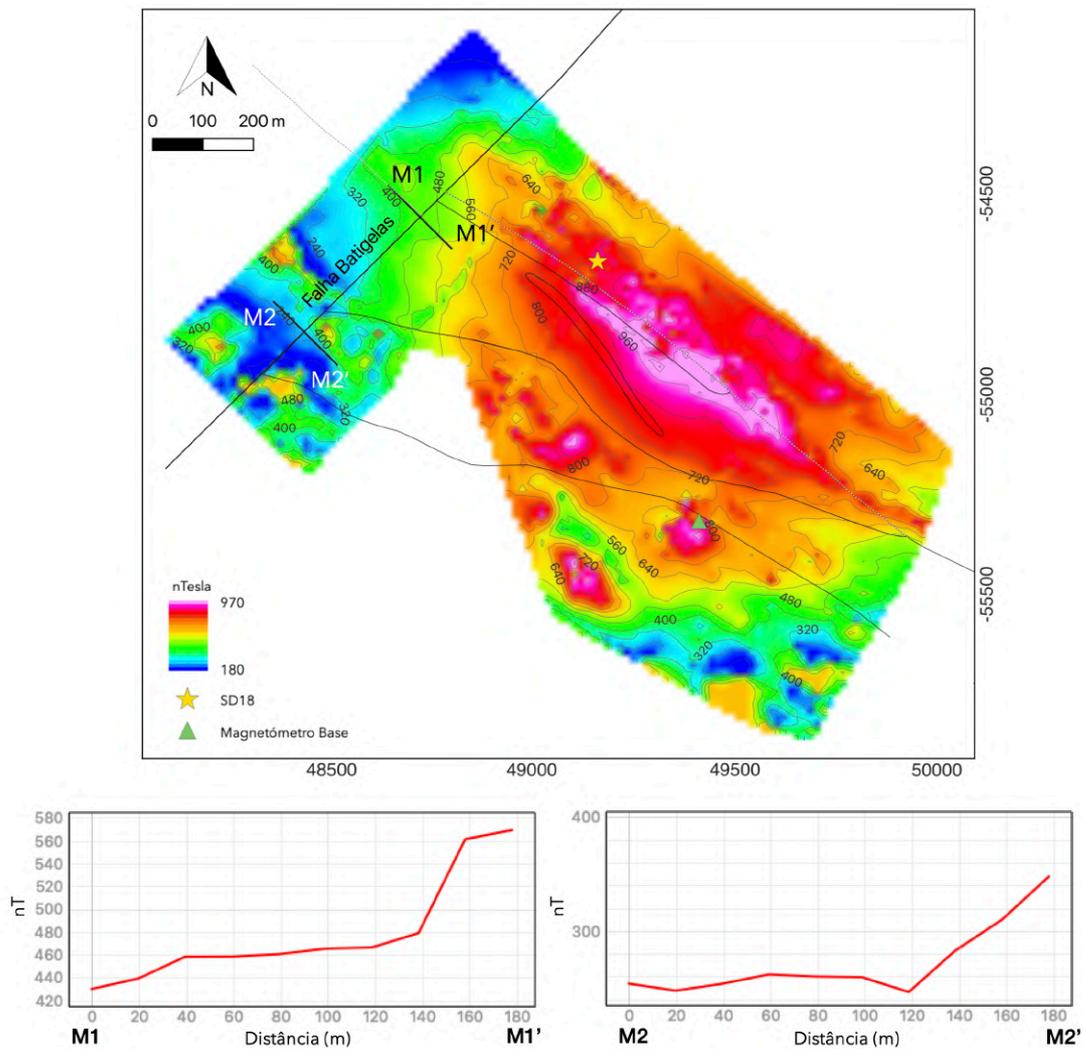


Figura 4.49 - Carta do campo magnético subtraído do IGRF, com assinaturas magnéticas dos perfis traçados na Falha de Batigelas.

Redução ao Polo Magnético

A Fig. 4.51 apresenta a carta do campo magnético reduzido ao polo para a região de Batigelas. Esta foi obtida após a redução do campo magnético principal de origem interna (IGRF), seguindo-se da redução ao polo através da aplicação da transformada de Fourier à intensidade do campo magnético reduzido (Hinze *et al.*, 2013). Este cálculo desloca as componentes da declinação e inclinação magnética em cada ponto, de forma a que o campo magnético seja verticalizado, tornando possível visualizar as anomalias sobre a vertical das respetivas fontes magnéticas (Fig. 4.50; Kearey *et al.*, 2002).

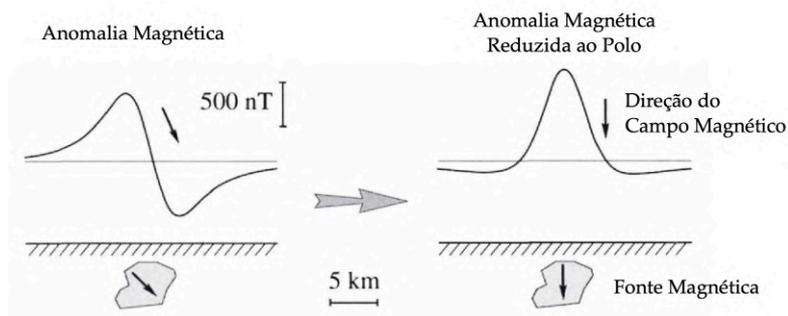


Fig. 4.50 - Anomalia magnética antes e após a redução ao polo. Adaptado de Blakely (1996).

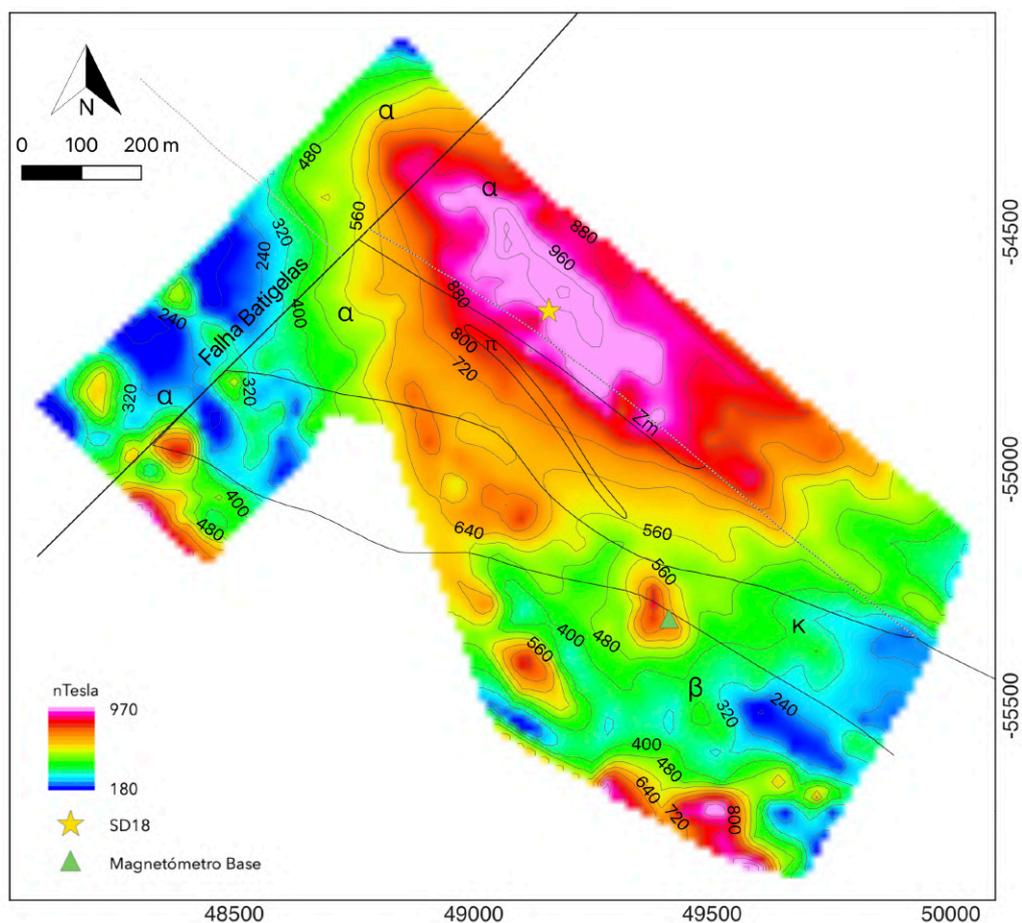


Figura 4.51 - Carta do campo magnético reduzido ao polo para a região de Batigelas.
 α - Arcoses e Metavulcanitos Ácidos; β - Rochas Básicas; κ - Rochas Calcossilicatadas; π - Pórfiro de carácter ácido;
 Zm - Zona mineralizada. Sistema de Coordenadas Hayford-Gaus Lisboa IPCC em metros.

A carta magnética de Batigelas produzida através da redução ao polo (Fig.4.51) mostra um deslocamento das anomalias para NW, mantendo-se a sua direção geral NW-SE, que se relaciona com as rochas identificadas na região. Sobressai através deste método a anomalia principal (I).

À semelhança dos perfis apresentados na Fig. 4.47, foram realizados sobre a carta do campo magnético reduzido ao polo novos perfis (Fig.4.51) segundo a direção da sondagem SD18, em que o perfil T2-T2' se encontra sobreposto a esta.

Os perfis apresentados na Fig. 4.52 apresentam uma forte tendência crescente de SW para NE. Estas assinaturas magnéticas são suscetíveis de serem comparadas com os modelos (c) “Dike” e (d) “Narrow intrusive” apresentados pela Fig. 4.48, dada à verticalização das anomalias magnéticas.

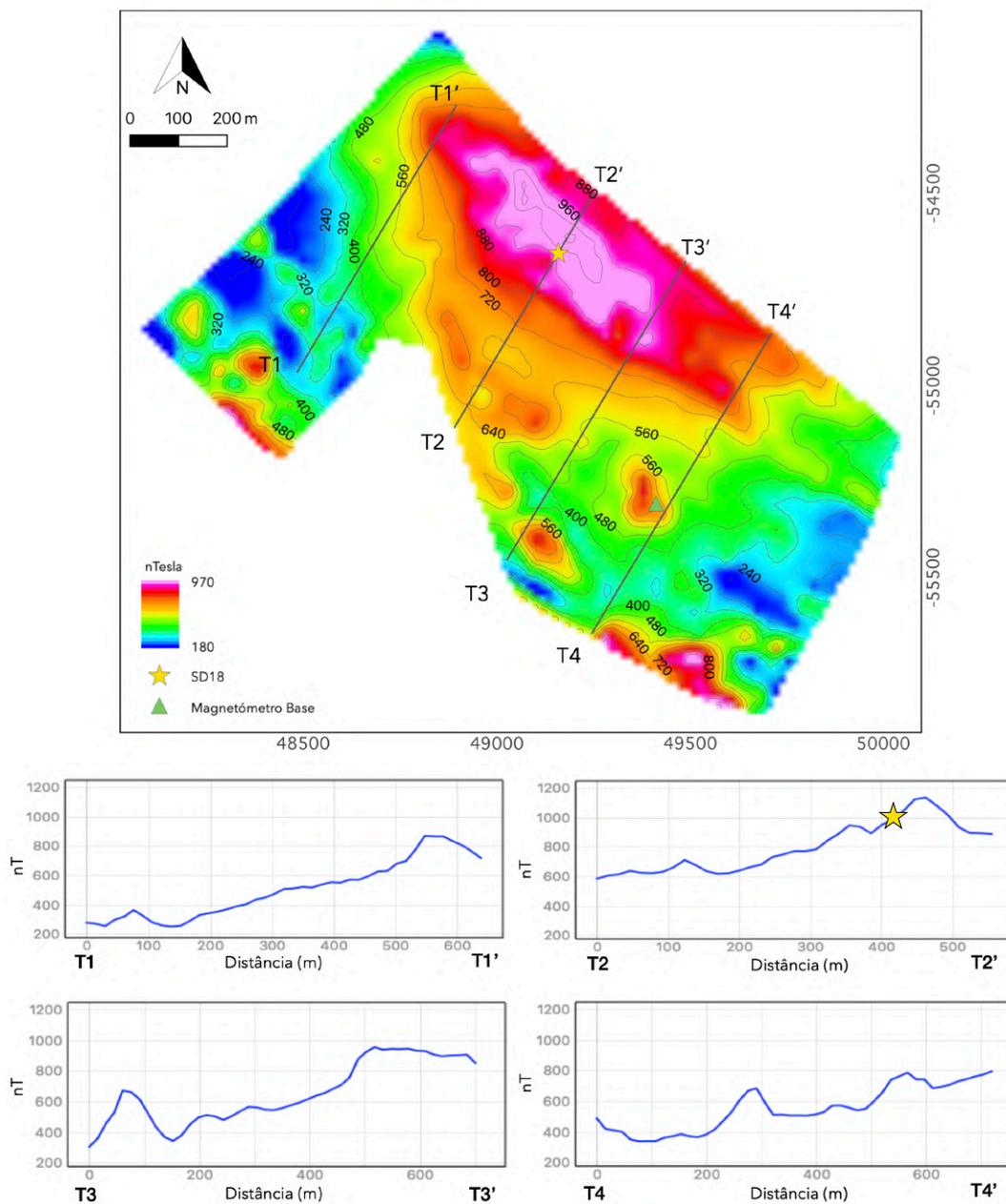


Figura 4.52 - Carta do campo magnético reduzido ao polo, com assinaturas magnéticas correspondentes aos perfis assinalados.

A Fig. 4.53 apresenta dois perfis traçados perpendicularmente à falha de Batigelas, à semelhança dos perfis apresentados e na Fig. 4.49. O perfil K1-K1' foi traçado dentro da unidade litológica arcoses, enquanto que o perfil K2-K2' foi traçado em duas unidades litológicas distintas, arcoses e rochas calcossilicatadas. Quando comparados com os perfis M1-M1' e M2-M2' (Fig. 4.49) é notória a consistência das assinaturas magnéticas, bem como a sua correspondência aos modelos (e) e (f) apresentados na Fig. 4.48. A mudança litológica nos perfis K2-K2' (Fig.4.50) e M2-M2' (Fig. 4.49) apresenta-se refletida entre os 100 e os 120m seguindo-se uma subida acentuada de valores, possivelmente relacionada com a inclinação da falha.

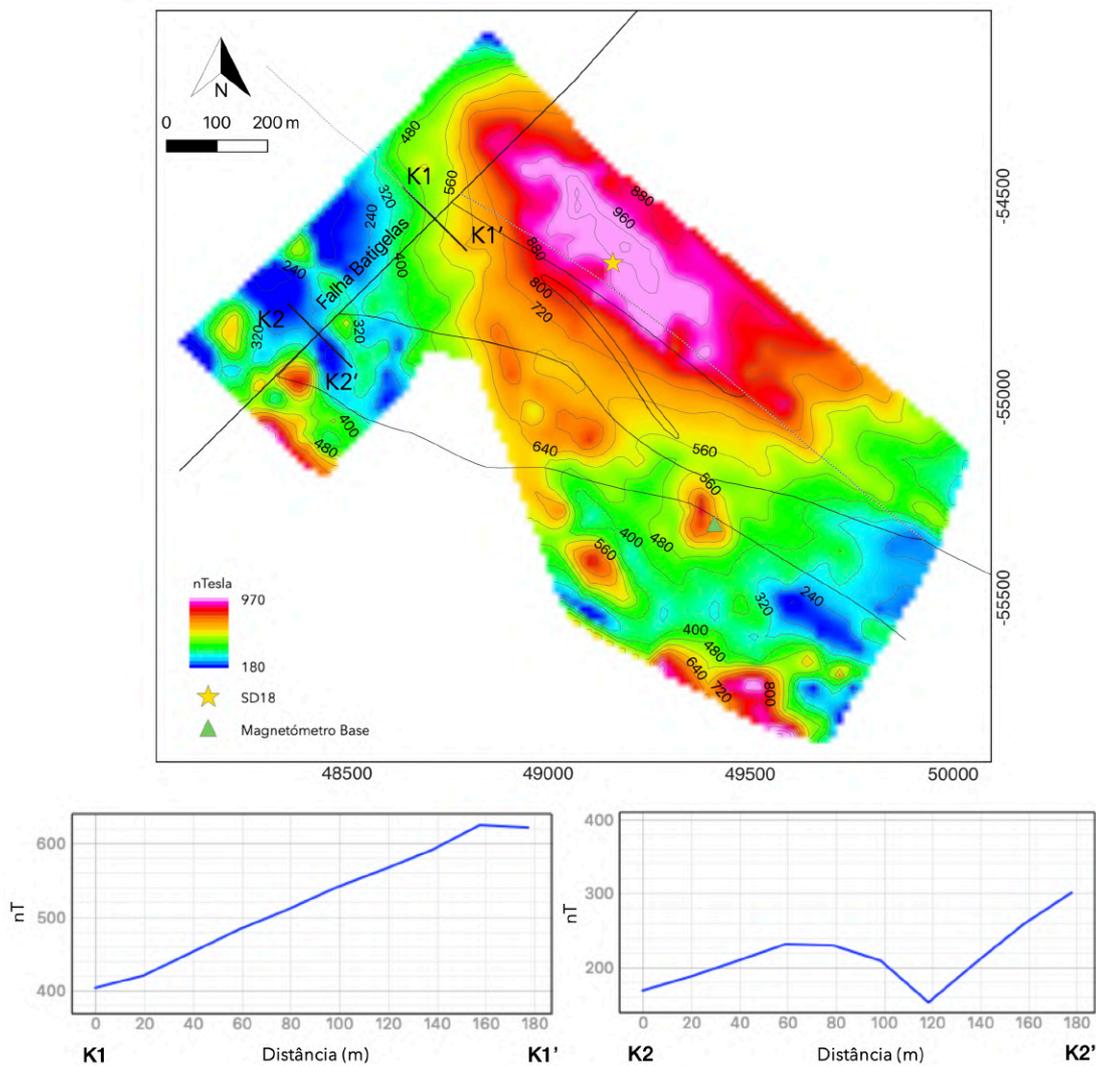


Figura 4.53 - Carta do campo magnético reduzido ao polo, com assinaturas magnéticas dos perfis traçados na Falha de Batigelas.

4.3. Resultados estruturais

De modo a melhor compreender, a sequência estratigráfica da área de estudo da região de Batigelas, foi efetuada uma caracterização estrutural. Nos levantamentos de campo realizados, mostram que o limite entre a unidade Arcoses e Conglomerados e a unidade Metavulcanitos Ácidos, inicialmente apresentado por Peleja & Jardim (1974) (Anexo I, Fig. AIII), é difícil de inferir. Assim, estas unidades foram agrupadas numa unidade única e homogénea designada por Arcoses e Metavulcanitos Ácidos (Fig. 2.7 - Cap. 2).

O conjunto de dados até aqui apresentado, juntamente com os levantamentos de campo realizados na região em estudo, permitiram a elaboração de um corte geológico simplificado do setor de Alter do Chão - Elvas (Fig. 4.54: A-B) (*vide* localização do corte A-B no Anexo VII, Fig. AI), bem como a elaboração de um corte geológico simplificado da região de Batigelas (Fig. 4.54: A'-B') (*vide* localização do corte A'-B' no Anexo VII, Fig. AII).

O corte geológico simplificado do setor (Fig. 4.54: A-B) apresenta-se limitado a sul pela Barra Quartzítica seguindo-se da Formação de Vila Boim (Câmbrico inferior), estando sobrepostas mais a norte pelas unidades da Faixa Blastomilonítica (Neo-Proterozóico). O corte geológico simplificado de Batigelas (Fig. 4.54: A'-B') apresenta-se limitado mais a sul pelas Rochas Básicas (rochas intrusivas na região) e mais a norte pelas unidades da Faixa Blastomilonítica (unidades mais antigas).

O modelo proposto para Batigelas é coerente com a anomalia magnética positiva I apresentada na Fig. 4.46, uma vez que esta se encontra sobreposta aos corpos básicos intercalados na unidade carbonatada.

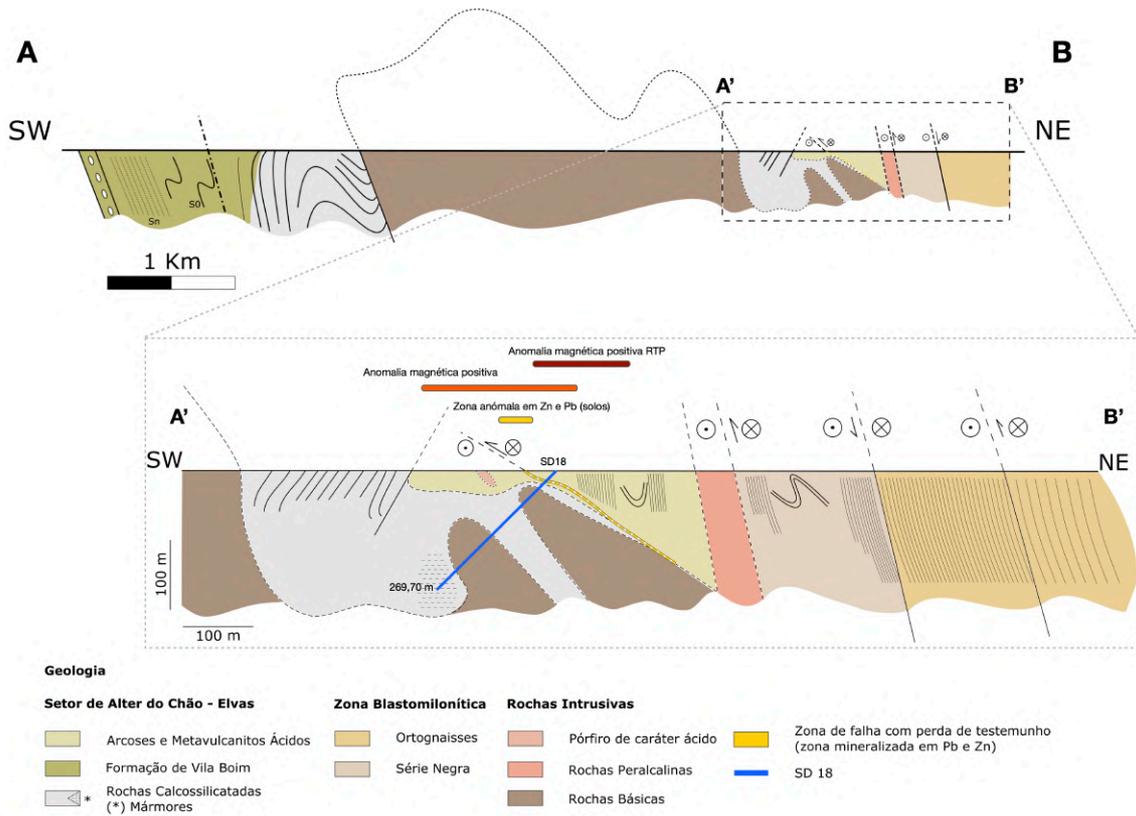


Figura 4.54 - A-B: Corte geológico simplificado do setor de Alter do Chão - Elvas (vide localização do corte A-B no Anexo VII, Fig. AI). Sem escala vertical.
 A'-B': Corte geológico simplificado da região de Batigelas e sondagem SD18 (vide localização do corte A'-B' no Anexo VII, Fig. AII).

Capítulo 5
Discussão e conclusão

Capítulo 5 - Discussão e conclusão

Nesta investigação, foram realizados diversos estudos com o intuito de compreender a anomalia magnética positiva detetada na região de Batigelas. O capítulo que de seguida se apresenta, sintetiza as observações referentes aos resultados anteriormente expostos.

5.1. Geologia

Na área de estudo de Batigelas foram identificados três conjuntos litológicos intersectados pela sondagem SD18: Arcoses, Rochas Calcossilicatadas e Rochas Básicas. Nas rochas básicas, aproximadamente entre as metragens de 154 m e os 173 m, foram identificadas litologias ultrabásicas consideradas como possíveis peridotitos. Entre as rochas calcossilicatadas, são destacados níveis de mármore intersectados a partir dos 240 m de comprimento de sondagem.

A Fig. 5.1 sintetiza a informação mineralógica relevante. Nas arcoses as mineralizações formam disseminações de óxidos de ferro em veios. Em menor representatividade, surge pirite sob a forma disseminada na matriz das rochas ígneas. Ao longo das litologias intersectadas pela sondagem, à exceção das arcoses, foram identificadas mineralizações do tipo disseminações de pirite, pirrotite, calcopirite, titanite e ilmenite, apresentando minerais acessórios como marcassite, rútilo, pentlandite e magnetite.

As fases sulfuretadas apresentam uma maior incidência nas litologias básicas, com destaque no nível intersectado entre os 140 m e os 227 m. Este apresenta veios com mineralização disseminada de sulfuretos. Entre os níveis ultrabásicos foi identificada a presença de minerais com níquel como pentlandite (Fig. 5.1). Ainda neste troço de sondagem foram identificados níveis de sulfuretos semi-maciços com predominância de pirite. Perto do contacto com o último troço intersectado de litologias calcossilicatadas, foi identificada uma brecha posterior mineralizada em sulfuretos, sobretudo pirite.

Nas litologias calcossilicatadas, entre os 28 m e os 40 m de comprimento, encontram-se disseminados óxidos de ferro e de titânio, assim como alguns sulfuretos. Neste troço destacam-se ainda veios de clorite e quartzo, apontados como os possíveis responsáveis pelo pico de suscetibilidade magnética Bt#3 (ver Fig. 4.44). Nas intersecções subjacentes deste litótipo, observa-se o aumento da presença de sulfuretos e uma diminuição de óxidos disseminados. Próximo da superfície estas fases são comuns sendo relacionadas com processos de oxidação. Os níveis de mármore identificados a partir dos 240 m de comprimento, apresentam magnetite disseminada (Fig.5.1).

Em síntese, ao longo da sondagem SD18 surgem óxidos disseminados de forma mais regular próximo da superfície, enquanto que as disseminações de sulfuretos tomam lugar significativo nas unidades litológicas intermédias a profundas. A maiores profundidades observa-se a presença de magnetite.

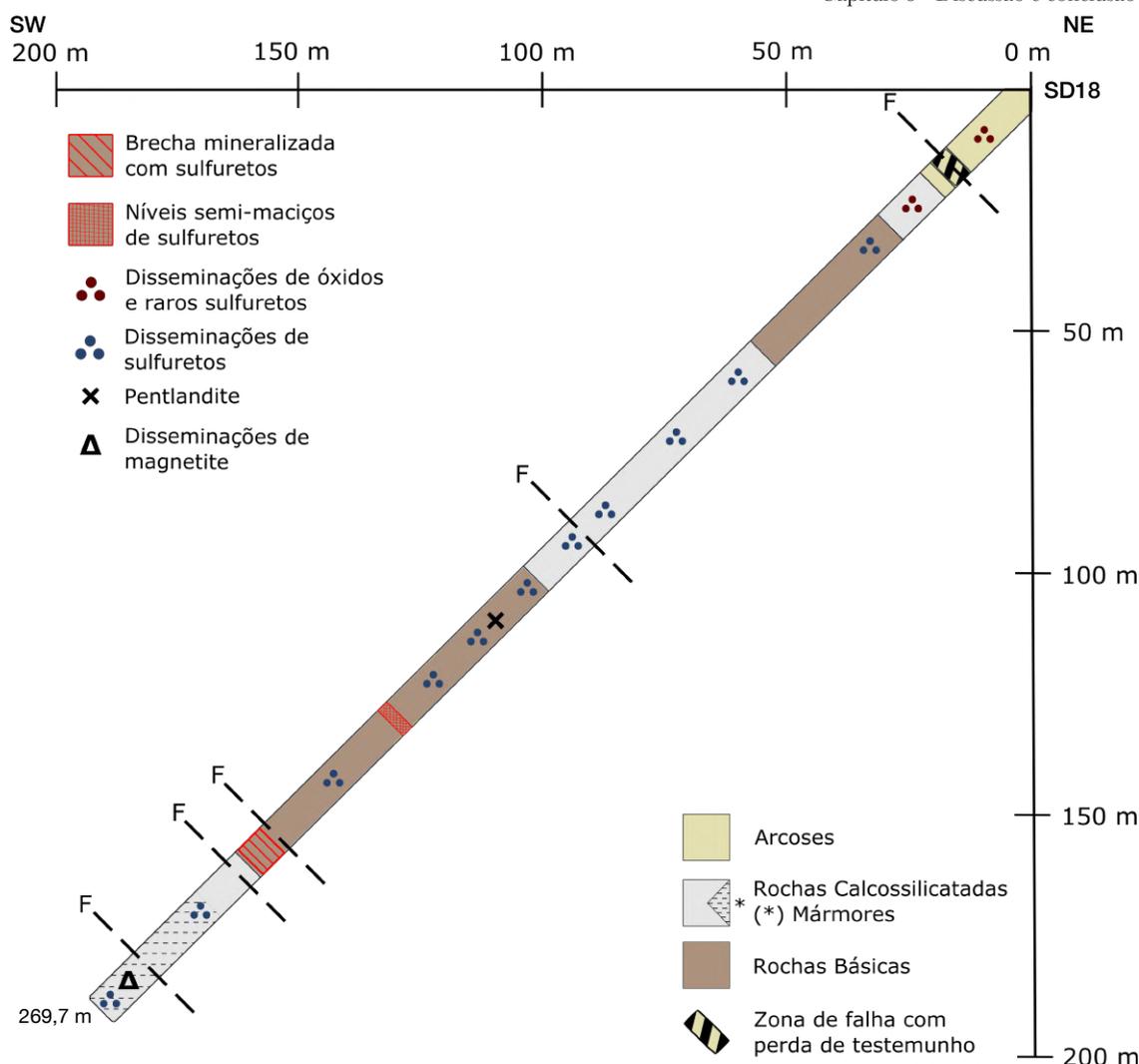


Figura 5.1 - Corte pela sondagem SD18 com síntese de informação mineralógica. Identificação de falhas detetadas ao longo da sondagem.

A estrutura em que as litologias em estudo se inserem, apresenta uma orientação NW-SE. Esta encontra-se delimitada a norte pelas unidades da Faixa Blastomilonítica e a sul pelas rochas básicas (*vide* corte geológico simplificado da região de Batigelas; Fig. 4.54). A estrutura geológica encontra-se inclinada para sudoeste, facto apoiado pelos dados magnéticos apresentados no capítulo anterior, em que a configuração da anomalia positiva de Batigelas sugere que o corpo anómalo se apresenta com um certo ângulo mergulhante para sul, bem como a Falha de Batigelas.

Nas arcoses, entre os 20 m e os 25 m de profundidade de tarolo, existiu perda de testemunho, o que sugere a existência de uma falha. A esta, associa-se a zona mineralizada em Pb e Zn, cartografada por Peleja & Jardim (1974) (ver Fig. 2.7 e Fig. 4.54). Esta zona mineralizada, tem uma representatividade à superfície, expressa em anomalia de geoquímica de solo de metais pesados, identificada pelo SFM, com valores máximos de 264 ppm de teor em metais pesados, num fundo regional de 0,2 ppm (ver Anexo I - Fig. AII, para carta geoquímica de metais pesados). Estudos recentes de Nogueira *et al.*, (2020) apresentam valores anómalos de Zn e Pb, sobrepostos aos valores já conhecidos na região pelo SFM, com uma alta correlação a elementos indicadores, o que sugere a existência de mineralizações de Zn-Pb associadas à anomalia.

5.2. Geofísica

A inexistência de leitura noturna do campo magnético na base de Batigelas, levou a que fosse necessário efetuar uma extrapolação desse valor com recurso à Base de Toledo. Este observatório com medições diárias é o que se encontra mais perto do local em estudo. No entanto, a estação espanhola situa-se a uma distância muito grande relativamente ao setor em estudo, sendo, por isso, não recomendada para este procedimento, tal como referido por vários autores, ex. Kearey *et al.*, (2002). Tendo em conta a condição da distância entre locais, apenas foi considerado o seu uso após uma rigorosa comparação das leituras entre os levantamentos magnéticos realizados em Batigelas e as leituras efetuadas na Base do Toledo. Uma vez que, não foram detetados eventos magnéticos ou outras irregularidades, o cálculo de correção do efeito da variação diurna foi efetuado. Contudo, são reconhecidas as reservas que este resultado bastante satisfatório pode apresentar, o que leva a que seja necessário efetuar uma leitura noturna de modo a obter o valor exato da zona em causa e assim efetuar uma nova correção, possibilitando uma comparação entre os dois resultados. Neste caso, coloca-se a questão que pode ser avaliada numa investigação futura. Poderá a distância entre o observatório e o local de estudo ser superior ao recomendado, dentro de determinadas condições?

É possível obter uma estimativa aproximada da profundidade a que se encontra um corpo magnético usando a forma da anomalia (Reynolds, 2011). A metodologia mais simples para determinar essa profundidade é através da medição da extensão horizontal (d) do segmento aproximadamente linear do pico principal da anomalia reduzido ao polo, tal como apresentado pelo método gráfico da Fig. 5.2.

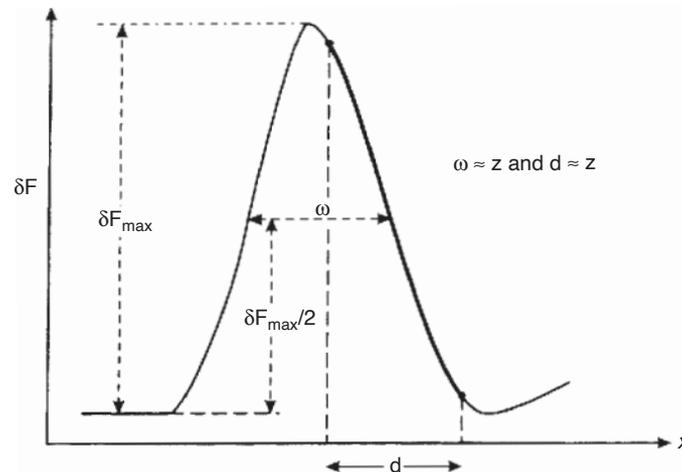


Figura 5.2 - Método gráfico para estimativa de profundidade de um corpo magnético. Adaptado de Reynolds, 2011.

A Fig. 5.3 apresenta a estimativa gráfica da profundidade do corpo anómalo de Batigelas responsável pelos elevados valores de intensidade do campo magnético total observado na zona sujeita ao levantamento. Foi determinado no pico principal da anomalia, considerando esta como simétrica, o que permitiu uma aplicação direta do método gráfico representado pela Fig. 5.2. Foi utilizado o perfil T2-T2' (vide Fig. 4.52 - Cap. 4) extraído da carta do campo magnético reduzido ao polo. Importa referir que este perfil se encontra sobreposto à sondagem SD18, que foi realizada com 45° de inclinação, num comprimento máximo de 269,7 m e com um azimute de 217,9°. Como a forma do corpo anómalo permanece incógnito, a estimativa da profundidade foi calculada admitindo pelo menos duas formas, esfera/cilindro horizontal para calcular w , e um prisma com um certo ângulo d .

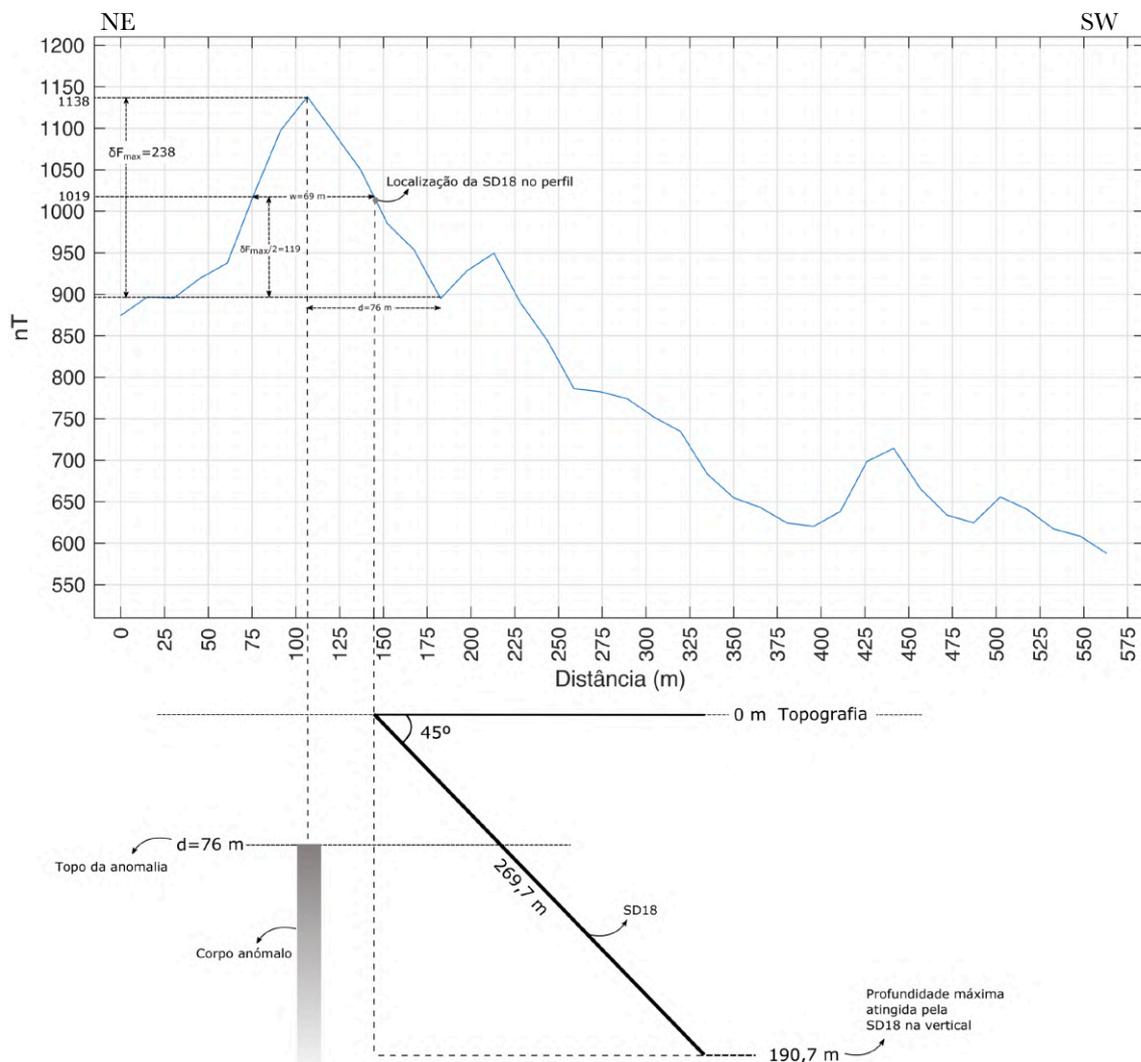


Figura 5.3 - Estimativa gráfica da profundidade do corpo anómalo de Batigelas.

No caso de w , admitiu-se que $\delta F_{\max} = 1138 - 900 \text{ nT} = 238 \text{ nT}$ pelo que $\delta F_{\max}/2 = 119$, sendo localizado assim o centro do pico principal, logo $w = 144 - 75 \text{ m} = 69 \text{ m}$. Este valor é grosseiramente igual à profundidade até o centro do corpo magnético (Reynolds, 2011).

No caso de d , o cálculo é feito do pico da anomalia até ao primeiro ponto de inflexão, logo $d = 182 - 106 \text{ m} = 76 \text{ m}$. Este valor corresponde à profundidade do topo do corpo anómalo, dentro de $\pm 20\%$ (Reynolds, 2011).

Posto isto, foi considerado o valor de $d = 76 \text{ m}$ para a representação gráfica, pelo que é notório que a sondagem SD18 não atinge na totalidade o alvo magnético. Ainda que para a representação gráfica fosse utilizado $w = 69 \text{ m}$, admitindo este valor como o centro de um corpo magnético, a sondagem executada pelo SFM teria ficado aquém do alvo. Este facto é consistente com as leituras de suscetibilidade magnética efetuadas na sondagem, pois estas apresentam valores baixos face ao esperado, caso se tivesse atingido a anomalia.

Trabalhos de diferentes autores como Araújo (2013), Ribeiro (2013), Dias (2014), referem a existência de uma estrutura em flor (*flower structure*) no eixo da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba, na Zona de Ossa-Morena (ZOM) que apresenta um regime de cavalgamento e dobras deitadas na ZOM sobre a Zona Centro-Ibérica. Segundo Lopes (2020), a estrutura em flor domina estruturalmente a Faixa Blastomilonítica com uma orientação NW-SE, constituída por um conjunto de dobras vergentes para NE e SW. O mesmo autor refere ainda que o núcleo da mega-estrutura tectónico-estratigráfica (*flower structure*) pertence ao Maciço de Campo Maior. É possível que a zona em estudo possa pertencer a uma parte desta estrutura maior. A região em estudo encontra-se dentro do seu controlo estrutural, uma vez que abrange a Faixa Blastomilonítica, a NE pelo cavalgamento de Alter do Chão. A anomalia de Batigelas é assim uma sub-anomalia positiva de uma anomalia de maior escala, a anomalia do Complexo de Cabeço de Vide (*vide* Anexo I - Fig. AIV, para carta magnética do Complexo de Cabeço de Vide).

A anomalia de Batigelas surge a SE da Falha de Batigelas, indicando uma possível inclinação desta falha tardia para sul. A configuração da anomalia sugere que em conjunto as fontes anómalas mostram um *trend* para sul. Esta atitude é porem distinta da observada nas formações geológicas indicando estas uma inclinação para NE (ver Fig. 4.54). É possível ainda que o controlo estrutural apresentado pela configuração da anomalia seja indicador da presença de mineralizações de sulfuretos de Pb - Zn (?). Contudo, é ainda colocada em aberto a hipótese da anomalia de Batigelas se tratar de uma sobreposição de anomalias, provocada pela presença de fontes mais profundas. Como origem para estas anomalias pode considerar-se a existência hipotética de mineralizações ricas em ferro, níquel, cobre e elementos do grupo da platina (?), e por níveis mineralizados mais superficiais e ricos em chumbo e zinco.

Uma interpretação mais profunda e detalhada poderia ser feita com recurso à inversão dos dados magnéticos recolhidos complementados pelos constrangimentos geológicos observados, no entanto, esse trabalho extravasa o âmbito desta dissertação.

5.3. Conclusão

Considerando o que foi exposto ao longo deste trabalho constata-se que a mineralização de Batigelas é um importante indício de minerais metálicos ricos em Fe, Ni, Pb e Zn. Através da correlação entre a morfologia das mineralizações e os dados geofísicos, conclui-se que, a forte resposta magnética observada não está diretamente relacionada com as mineralizações identificadas em superfície e confirmadas pela sondagem SD18, por estas se apresentarem de forma disseminada e pouco desenvolvida. Na zona do furo, os processos mineralizantes não foram suficientemente intensos, ou seja, o sistema hidrotermal não foi efetivo na descarga de metais de modo a formar condições necessárias para a existência de um jazigo. Contudo, é possível que nas imediações deste furo possam ocorrer mineralizações mais importantes e com dimensão próxima da de um depósito.

O estudo metalogénico permitiu a individualização de estilos de mineralização como as disseminações de sulfuretos (pirite, calcopirite e pirrotite), disseminações de óxidos de ferro e óxidos de titânio, disseminações de magnetite, veios com sulfuretos e ocasionalmente com minerais ricos em níquel.

Os resultados do levantamento magnético de Batigelas, permitiram definir com maior detalhe a anomalia magnética positiva previamente detetada. A otimização da malha de espaçamento para 13 metros, possibilitou uma alta resolução das cartas magnéticas apresentadas. A área coberta pelo levantamento permitiu a deteção de duas possíveis zonas de falhas, que sugerem um controlo por falhas das zonas de intensidade magnéticas superior. A Falha de Batigelas situada a NW da região anómala, surge marcada por um gradiente. Os resultados da redução ao polo da carta magnética de Batigelas, mostram um deslocamento das anomalias para NW. Este deslocamento, sugere que possa existir mineralização a NE da sondagem SD18 (Fig. 4.51 e Fig. 4.54). Futuramente, em novos trabalhos de prospeção e pesquisa, uma nova sondagem poderia ser projetada nessa região.

Relativamente aos resultados de suscetibilidade magnética obtidos, estes estão de acordo com as baixas concentrações minerais expressas em disseminações de sulfuretos com predominância de pirite. Não foram assim assinaladas as evidências que demonstrassem a presença de um depósito na zona do furo.

Estudos promovidos pela empresa Rio Narcea Gold Mines S.A. na região de Cabeço de Vide (Pinto *et al.*, (2006a), revelam a existência de mineralizações de sulfuretos compostas por calcopirite, calcopirite + pirrotite e em menor quantidade cobaltopentlandite, especulando a hipótese da deposição destas possíveis fases sulfuretadas ocorrerem na base de estruturas intrusivas básicas. As mineralizações intersectadas pela sondagem estudada são de tipo disseminado e em veios, sendo por isso de fraca expressão. No entanto, o cenário geofísico é promissor sugerindo a presença de outros níveis mineralizados nas proximidades do furo estudado, possivelmente na base do corpo intrusivo básico/ultrabásico. A investigação está assim de acordo com os resultados de prospeção apresentados pela Rio Narcea Gold Mines S.A. para o Complexo Básico-Ultrabásico de Cabeço de Vide.

Capítulo 6
Trabalhos futuros

Capítulo 6 - Trabalhos futuros

O trabalho apresentado levantou questões pertinentes, que levam à necessidade de novas investigações na região. O estudo mineralógico da sondagem SD18, foi essencialmente focado na mineralogia de opacos com propriedades magnéticas. Futuramente, será determinante associar a esta investigação, o estudo petrográfico da paragênese hidrotermal de modo a compreender as diferentes fácies existentes. Assim, será possível esclarecer algumas questões que ficaram por esclarecer como a presença de rochas vulcânicas e/ou plutônicas, que durante o estudo foram sempre referidas como rochas ígneas. Será conveniente associar também a essa futura investigação, o estudo sobre os flossilicatos e outros minerais que acompanham as mineralizações de sulfuretos. Bem como, uma análise química às diferentes fases mineralizantes, possibilitando a identificação e distinção química das gerações de carbonatos e de quartzo. Nestes trabalhos futuros será importante investigar as fases mineralógicas que acompanham a mineralização sulfuretada, quer na geração de sulfuretos, quer na geração de minerais com níquel.

Será também de interesse futuro o alargamento da malha de levantamento magnético, de forma a delimitar o bordo da anomalia magnética positiva de Batigelas. Realizar levantamentos eletromagnéticos na anomalia magnética detetada, possibilitando a criação de pseudo-seções para posterior interpretação das mesmas. Será igualmente importante fazer a modelação dos dados magnéticos obtidos nesta investigação, ou seja, fazer a modelação do campo magnético produzido pelo corpo, aplicando diferentes inclinações e diferentes suscetibilidades magnéticas para diferentes profundidades. E ainda, conjugar estes com outros dados geofísicos existentes neste setor da ZOM, como a gravimetria. Ainda que, os resultados do cálculo de correção do efeito da variação diurna tenham sido bastantes satisfatórios, é de extrema importância efetuar uma leitura noturna no local em estudo de modo a obter o valor exato da zona (expugnando a variação diurna). Deste modo, será possível efetuar uma comparação entre o resultado até então obtido e o novo, iniciando-se assim, uma nova investigação sobre a distância recomendada entre o observatório e o local de estudo.

Embora as mineralizações estudadas não sejam potencialmente económicas, a área de estudo de Batigelas oferece-nos um contexto de prospeção mineral muito favorável para Ni e Zn.

Referências Bibliográficas

- Alvoeiro, V. (1970a) - Carta de isogamas da componente vertical do campo magnético da região de Portalegre (estação) à escala 1:5 000, Folha +48/-54, *Serviço de Fomento Mineiro*, Arquivo LNEG.
- Alvoeiro, V. (1970b) - Carta geoquímica de metais pesados da região de Portalegre (estação) à escala 1:5 000, Folha +48/-54, *Serviço de Fomento Mineiro*, Arquivo LNEG.
- Alvoeiro, V. (1972a) - Carta magnética da região de Cuba - Vidigueira à escala 1:25 000 para a folha 499, *Serviço de Fomento Mineiro*, Lisboa.
- Alvoeiro, V. (1972b) - Contribuição do método magnético na prospecção mineira do sul do país. *Direção-Geral de Minas e Serviços Geológicos (Serviço de Fomento Mineiro)*, Lisboa.
- Araújo, A. (1995) – *Estrutura de uma Geotransversal entre Brinches e Mourão (Zona de Ossa-Morena): Implicações na evolução geodinâmica da margem Sudoeste do Terreno Autóctone Ibérico*. Tese de doutoramento, Universidade de Évora, Portugal, 200 p.
- Araújo, A., Fonseca, P., Munhá, J., Moita, P., Pedro, J., Ribeiro, A. (2005) – The Moura Phyllonitic Complex: an accretionary complex related with obduction in the Southern Iberia Variscan Suture. *Geodinamica Acta*, 18(5), 375-388.
- Araújo, A. (2013) – O Varisco do sector sul de Portugal. In: R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha, J.C. Kullberg (Eds). *Geologia de Portugal*. vol. I, Escolar Editora, pp. 483-492.
- Araújo, A., Piçarra de Almeida, J., Borrego, J., Pedro, J., Oliveira, J.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*. vol. I, Escolar Editora, pp. 509-549.
- Ballet, O., Coey, J. M. D., Burke, K. J. (1985) - Magnetic properties of sheet silicates; 2: 1: 1 layer minerals. *Physics and Chemistry of Minerals*, 12(6), 370-378.
- Blakely, R. J. (1996) - Potential theory in gravity and magnetic applications. *Cambridge university press*.
- Breiner, S. (1973) - Applications manual for portable magnetometers. *Geometrics*, Sunnyvale, California, vol. 395, 58p.
- Carrilho, L. (2004) – *Petrologia e Geoquímica de Complexos Plutónicos do Nordeste Alentejano (Portugal Central). Província Alcalino e Maciço de Campo Maior*. Tese de doutoramento, Universidade de Évora, Portugal, 505p.

- Dias, P. A., Gomes, C. L., Castelo Branco, J. M., Pinto, Z. (2006) – Localização paragenética de paládio e platina em rochas máficas e ultramáficas de Cabeço de Vide–Complexo Ígneo de Alter do Chão. *VII Congresso Nacional de Geologia*, pp. 1007-1010.
- Díez Fernández, R., Pereira, M. F., Foster, D. A. (2015) - 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.
- Gonçalves, F. (1971) – Subsídios para o conhecimento geológico do Nordeste Alentejano. *Memórias Serviço Geológico Portugal*, Nova Série 16, 62 p.
- Gonçalves, F. (1973a) - Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000 e notícia explicativa para a folha 32-B- Portalegre. *Serviços Geológicos de Portugal*, Lisboa.
- Gonçalves, F. (1973b) - Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000 para a folha 32-D-Sousel. *Serviços Geológicos de Portugal*, Lisboa.
- Gonçalves, F. (1975) – Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000 e notícia explicativa para a folha 32-D- Sousel. *Serviços Geológicos de Portugal*, Lisboa.
- Heinrich, F. C., Schmidt, V., Schramm, M., Mertineit, M. (2017) - Magnetic and mineralogical properties of salt rocks from the Zechstein of the Northern German Basin. *Geophysical Journal International*, 208(3), 1811-1831.
- Hinze, W. J., Von Frese, R. R., Von Frese, R., Saad, A. H. (2013) - Gravity and magnetic exploration: Principles, practices, and applications. *Cambridge University Press*.
- Hroudá, F., Chlupáková, M., Chadima, M. (2009) - The use of magnetic susceptibility of rocks in geological exploration. *Terraplus, Brno*.
- Hrvoic, I. & Hollyer, G. M. (2005) - Brief review of quantum magnetometers. *GEM Systems Technical Papers*.
- Julivert, M., Fontboté, J.M., Ribeiro, A., Conde, L.E. (1974) – Memória Explicativa del Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares. *Instituto Geológico y Minero de España, Madrid*, 113 pp.
- Kearey, P., Brooks, M., Hill, I., (2002) - An introduction to geophysical exploration. *Blackwell Publishing*.
- Leys, C., Ley, C., Klein, O., Bernard, P., Licata, L. (2013) - Detecting outliers: Do not use standard deviation around the mean, use absolute deviation around the median. *Journal of Experimental Social Psychology*, 49(4), 764-766.

- Lotze, F. (1945) – Zur Gliederung der Varisziden der Iberischen Meseta. *Geotektonische Forschungen*, 6, pp. 78-92.
- Mata, J., & Munhá, J. (1990) – Magmatogénese de metavulcanitos Câmbricos do Nordeste Alentejano: Os estádios iniciais de rifting continental. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, 76, pp. 61-89.
- Mateus, A., Munhá, J., Inverno, C., Matos, J.X., Martins, L., Oliveira, D., Jesus, A., Salgueiro, R. (2013) – Mineralizações no sector português da Zona de Ossa-Morena. In: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J.C. (Eds.), *Geologia de Portugal*, vol. 1, Escolar Editora, pp. 577-619.
- Matos, J. X. & Filipe, A., Coordenadores, (2013) – Carta de Ocorrências Mineiras do Alentejo e Algarve à escala 1:400 000, versão digital. Edição LNEG/ATLANTERRA, Lisboa. ISBN: 978-989-675-029-9.
- Matos, J.X., Carvalho, J., Represas, P., Batista, M.J., Sousa, P., Ramalho, E.C., Marques, F., Morais, I., Albardeiro, L., Gonçalves, P., Dias, P., (2020) - Geophysical surveys in the Portuguese sector of the Iberian Pyrite Belt: a global overview focused on the massive sulphide exploration and geologic interpretation. *Comunicações Geológicas LNEG*, 107, Especial III, 41-78. ISSN: 0873-948X; e-ISSN: 1647-581X.
- Mitas, L., & Mitasova, H. (1999) - Spatial interpolation. *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications*, GeoInformation International, Wiley, 481 - 492.
- Mishra, S., & Datta-Gupta, A. (2017) - Applied statistical modeling and data analytics: A practical guide for the petroleum geosciences. *Elsevier*.
- Munhá, J., Oliveira, J., Ribeiro, A., Oliveira, V., Quesada, C., Kerrich, R. (1986) – Beja-Acebuches Ophiolite characterization and geodynamic significance. *Maleo*, vol. 2, no 13, pp. 31.
- Neumann, U. (2019) - *Guide for the microscopical identification of ore and gangue minerals: mineral profiles with photomicrographs*. Tübingen Tübingen University Press.
- Nogueira, P., Afonso, P., Roseiro, J., Maia, M., São Pedro, D., Moreira, N., Matos, J.X., Batista, M. J. (2020) - Portable X-ray fluorescence and clustering methods applied to mineral exploration: the significance and nature of Batigelas anomaly (Ossa-Morena Zone - Cabeço de Vide, Portugal). *Comunicações Geológicas* (2020) 107, Edição Especial II, 47-53
- Oliveira, V. (1974) - Sondagem n.º: 18. Área: Batigelas (Alter do Chão). Arquivo LNEG ID 14930, 9 p.

- Oliveira, V. (1986) – Prospecção de minérios metálicos a sul do Tejo. *Geociências*, Universidade de Aveiro, Aveiro, vol. 1(1-2), pp. 15-22.
- 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, Coruña*, vol. 16, pp. 221-250.
- Pearson, R. K. (2002) - Outliers in process modeling and identification. *IEEE Transactions on control systems technology*, 10(1), 55-63.
- Pedro, J. C., Araújo, A., Fonseca, P. Munhá, J. (2006) – Ofiolitos e Metamorfismo de Alta-Pressão. In: R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha, J.C Kullberg (Eds). *Geologia de Portugal no Contexto da Ibéria*, Universidade de Évora, Évora, pp. 195-206.
- Pereira, F. & Silva, J.B.A. (2006) – Nordeste Alentejano. In R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha, J.C. Kullberg (Eds). *Geologia de Portugal no Contexto da Ibéria*. Universidade de Évora, Évora, pp. 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.
- Peleja, A. & Jardim, J. (1974) – Carta geológica e mineira à escala 1:5.000, Folha nº +48/-54, orientada por Oliveira, V. & Camarinhas, M. *Serviços de Fomento Mineiro*, Arquivo LNEG.
- Piçarra, J. (2000) – *Estudo Estratigráfico do Sector de Estremoz-Barrancos, Zona de Ossa Morena, Portugal*. Tese de doutoramento, Universidade de Évora, 268 p.
- Pinto, Z., Pañeda, A., Castelo Branco, J. M. (2004a) - Área de Campo Maior. Relatório inédito de prospecção e pesquisa (1º semestre de 2004) da Rio Narcea Gold Mines S. A., 21 p. + anexos.
- Pinto, Z., Pañeda, A., Castelo Branco, J. M. (2004b) - Área de Campo Maior. Relatório inédito de prospecção e pesquisa (2º semestre de 2004) da Rio Narcea Gold Mines S. A., 15 p. + anexos.
- Pinto, Z., Pañeda, A., Castelo Branco, J. M. (2005) - Área de Campo Maior. Relatório inédito de prospecção e pesquisa (1º semestre de 2005) da Rio Narcea Gold Mines S. A., 15 p. + anexos.
- Pinto, Z., Pañeda, A., Castelo Branco, J. M. (2006a) - Área de Campo Maior - Relatório final de actividades: [2003-2006]. Relatório inédito de prospecção e pesquisa da Rio Narcea Gold Mines S. A., 10 p. + anexos.

- Pinto, Z.A., Pañeda, A., Castelo Branco, J.M., Leal Gomes, C., Dias, P.A. (2006b) – Cartografia Geológica do Complexo básico – ultrabásico de Castelo de Vide – Ensaio sobre a geometria e potencial metalogenético. *VII Congresso Nacional de Geologia*, pp. 1051-1054.
- Pracejus, B. (2008) - *The Ore Minerals Under the Microscope: An Optical Guide*. Elsevier.
- Quesada, C. (1991) – Geological constraints on the Paleozoic tectonic evolution of tectonostratigraphic terranes in the Iberian Massif. *Tectonophysics*, vol. 185, pp. 225-245.
- Quesada, C., Fonseca, P., Munhá, J., Oliveira, J., Ribeiro, A. (1994) – The Beja-Acebuches Ophiolite (southern Iberia Variscan Foldbelt): geological characterization and geodynamic significance. *Boletín Geológico y Minero de España*, 105-1, pp. 3-49.
- Ribeiro, M. L., Mata, J., Munhá, J. (1992) - Magmatismo do Paleozóico Inferior em Portugal. In : Gutierrez - Marco , J. C.; Saavedra, J. & Rábano, I . (Eds.) *Paleozoico Inferior de Ibero – América*, Universidade de Extremadura, pp. 377 - 395.
- Rocha, F., Costa, C., Marques, J. M. (2017) - Mineralogical evidence of hydrothermal alteration in Cabeço de Vide mafic–ultramafic complex, Central Portugal. *Procedia Earth and Planetary Science*, 17, pp. 936-939.
- Rosenblum, S., & Brownfield, I. K. (2000) - *Magnetic susceptibilities of minerals*. US Department of the Interior, US Geological Survey.
- Sant’Ovaia, H. (2008) - Propriedades magnéticas dos minerais. Estudos de ASM para a caracterização petrofísica das rochas. In: A. Guedes & F. Noronha (Eds), Curso “Técnicas Aplicadas à Análise Físico-Química de Minerais”, *GEÓlogos*, 7: 45-52.
- 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.
- Schwertman, N. C., Owens, M. A., Adnan, R. (2004) - A simple more general boxplot method for identifying outliers. *Computational statistics & data analysis*, 47(1), 165-174.
- Silva J.B. (1997) – Transpressive tectonics during the pre-mesozoic cycles in West Iberia. In: Pires C, Gomes M, Coke C (Eds.) *Evolução Geológica do Maciço Ibérico e seu enquadramento Continental*. UTAD, Vila Real, Portugal, pp 237–242.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E. (1990) - *Applied geophysics*. Cambridge university press.

Tornos, F., Inverno, C.M.C., Casquet, C., Mateus, A., Ortiz, G., Oliveira, V. (2004) – The metallogenic evolution of the Ossa-Morena Zone. *Journal of Iberian Geology*, 30, pp. 143–181.

Weed, S. B., Bowen, L. H. (1990) - High-gradient magnetic concentration of chlorite and hydroxy-interlayered minerals in soil clays. *Soil Science Society of America Journal*, 54(1), 274-280.