

Contribuição para o estudo da mineralogia da brecha de Sta. Helena - Minas da Borralha

Luís António Santos Lima

Mestrado em Geologia

Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território
2015

Orientador

Fernando Manuel Pereira Noronha,
Professor Catedrático
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Coorientador

Eng.º Adriano Fernando Barros,
CEO da Minerália - Minas Geotecnia e Construções Lda.

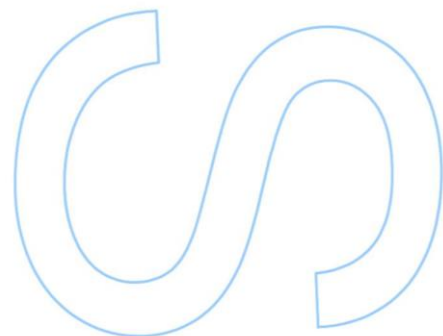
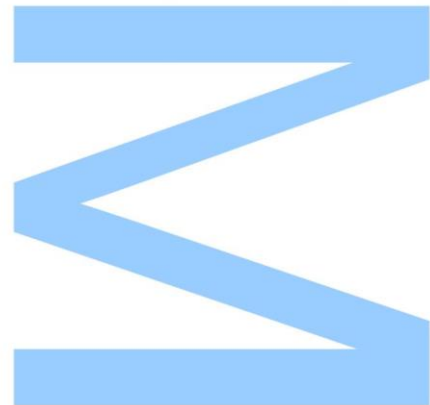
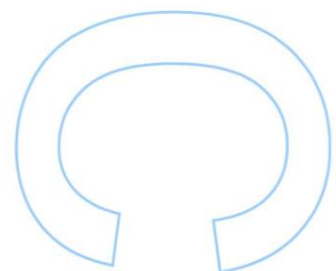
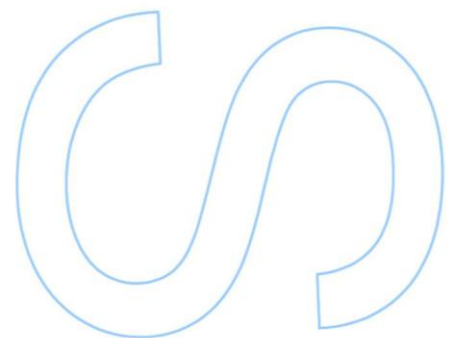
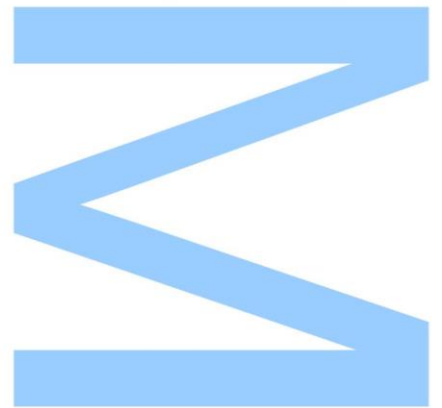


Figura de Capa: Imagem que ilustra a associação entre a volframite e a ilmenite, ao microscópio eletrônico de varrimento.

Todas as correções determinadas
pelo júri, e só essas, foram efetuadas.
O Presidente do Júri,

Porto, ____/____/____



“De tudo ficaram três coisas...
A certeza de que estamos começando...
A certeza de que é preciso continuar...
A certeza de que podemos ser interrompidos antes de terminar...
Fazemos da interrupção um caminho novo...”

Fernando Sabino, 1956
In: O encontro marcado

Agradecimentos

A elaboração deste trabalho contribuiu para a minha formação quer a nível pessoal quer profissional. Contudo, este apenas foi possível devido à colaboração de algumas pessoas, que através do apoio, do incentivo e do esclarecimento de dúvidas possibilitaram a execução deste, como tal, passarei a seguir a enunciá-las.

Ao Eng^o. Adriano Barros na qualidade de CEO da empresa Minerália – Minas, Geotecnia e Construções Lda. e coorientador deste trabalho, por ter possibilitado a realização do estágio curricular no âmbito do qual foi publicado este estudo, assim como, pelo seu apoio no decorrer do mesmo.

Ao Professor Dr. Fernando Noronha pela sua disponibilidade para orientar este trabalho, assim como, por sempre se interessar em transmitir os seus conhecimentos ao nível da petrografia e da metalogenia.

Ao projeto “ NewOreS - Development of New models for the genesis of Rare Metal (W, Nb, Ta, Li) Ore deposits from the European Variscan Belt and valorization of low grade and fine grained ore and mine tailings”, que possibilitou a realização dos estudos ao microscópio eletrónico de varrimento.

A toda equipa de geólogos da Minerália, em particular ao geólogo Avelino Pinheiro, pela transmissão dos seus conhecimentos, assim como, pela sua ajuda na elaboração do Log de Sondagem.

Ao Eng^o. João Barros, Data Manager da Minerália pela disponibilização de alguns dos dados utilizados neste estudo, assim como, pelo apoio dado em algumas questões.

Aos meus pais, a minha enorme gratidão por todo apoio dado durante a minha formação, tal como pela sua compreensão e ajuda na resolução dos problemas nos piores momentos desta jornada.

Ao Jorge Ribeiro por todas as conversas que tivemos sobre este estudo, pelas suas ideias e por toda a disponibilidade na resolução de problemas com o *software* Canvas.

Aos meus amigos de longa data pela sua compreensão e incentivo que aumentaram o ânimo para a conclusão deste estudo, nomeadamente ao Emanuel, ao João, ao Guedes, ao Alexandre, à Tânia, à Daniela e à Isilda.

À minha querida Sónia, porque sem ela nenhuma destas páginas teria sido escrita e não chegariam todas elas para lhe agradecer pelas horas que me dedicou.

Resumo

As mineralizações hidrotermais de W e Sn que ocorrem na Península Ibérica são características da Orogenia Varisca. Esta foi responsável por um intenso dobramento das formações Pré-câmblicas e Paleozoicas, assim como, pelas intrusões graníticas que introduziram e remobilizaram grandes quantidades de elementos metálicos (Thadeu 1965).

O jazigo da Borralha foi explorado durante o século XX e correspondeu à segunda maior mina portuguesa de tungsténio. No decurso da exploração mineira deste jazigo foram reconhecidos dois corpos brechoides, a brecha de Venise e de Sta. Helena. Estudos anteriores da brecha de Sta. Helena permitiram classificá-la como uma brecha de colapso com fenómenos de injeção hidrotermal o que implicou a deposição de um cimento de quartzo mineralizado.

O objetivo principal deste trabalho é estudar as mineralizações presentes na brecha de Sta. Helena bem como do seu modo de distribuição.

Assim, o estudo petrográfico permitiu identificar minerais da classe dos tungstatos, e da classe dos sulfuretos, assim como, o modo de ocorrência desses minerais com minerais não metálicos como a moscovite, a sericite, a clorite, a biotite, e as várias gerações de quartzo. Quanto à sua sequência de deposição foram consideradas diferentes etapas que correspondem a quatro estágios de alteração hidrotermal: a moscovitização, a sericitização, a cloritização I e a cloritização II. É ainda de salientar que, neste estudo se verificou a presença de minerais ricos terras raras, que, são atualmente considerados elementos estratégicos para a exploração mineira, que ocorrem no primeiro estágio em associação com cassiterite e ilmenite.

Palavras-chave: brecha de Sta. Helena, tungsténio, petrografia, log de sondagem, alteração hidrotermal.

Abstract

The hydrothermal mineralization of W and Sn occurring in the Iberian Peninsula are characteristic of the Variscan Orogeny. This accounted for an intense folding of precambrian and Paleozoic formations, as well as by the granitic intrusions that have introduced and remobilized a large amounts of metallic elements (Thadeu 1965).

The ore deposit of Borralha was exploited during the twentieth century correspondind to the second portuguese tungsten mine. During the explotation of this deposit were recognized two breccia pipe bodies, the breccia of Venise and Sta. Helena. Previous studies of Sta. Helena breccia allowed to classify it as a collapse breccia with hydrothermal injection phenomena corresponding to a mineralized quartz deposition as cement.

The main objective of this work is to study the mineralization present in Sta. Helena breccia as well as its distribution mode.

The petrographic study allowed identify minerals from the tungstates and sulfides classes, and their mode of occurrence with other minerals such as moscovite, sericite, chlorite, biotite and the several generations of quartz. In regard of the deposition sequence it allowed us to identify several stages of mineral deposition corresponding to four hydrothermal alteration stages, the mocovization, the sericitization, the chloritization I and the chloritization II. It is also important to point out that in this study it was found the presence of minerals with rare earth elements (REE) wich, are actually considered as a group of strategic importance for mining; these minerals occur on the first stage associated with cassiterite and ilmenite.

Keywords: breccia of Sta. Helena, tungsten, petrography, drill hole log, hidrothermal alteration.

Índice

Agradecimentos.....	I
Resumo	III
Abstract	V
Índice.....	VII
Lista de Quadros	IX
Lista de Estampas	XI
Lista de Figuras	XIII
Lista de Abreviaturas	XVII
1. Introdução.....	1
1.1. Objectivos.....	1
1.2. Trabalhos Anteriores	2
2. As minas da Borralha.....	5
2.1. A Borralha no contexto mineiro português do século XX	5
3. Geologia	11
3.1. Enquadramento Geográfico.....	11
3.2. Enquadramento Geológico	16
3.2.1. Geologia Regional	16
3.2.2. Geologia Local.....	24
4. O caso de estudo, a brecha de Sta. Helena.....	33
4.1. Introdução	33
4.2. Métodos de estudo	38
4.2.1. Observação de Testemunhos de Sondagem.....	38
4.2.2. Microscopia ótica.....	39
4.2.3. Microscopia Eletrónica de Varrimento	42
5. Resultados e Discussão	47
5.1. Log de Sondagem	47
5.1.1. Caracterização das litologias observadas.....	51
5.1.2. Mineralogia.....	53
5.2. Amostragem	54
5.3. Estudo Petrográfico e Mineralógico	58
5.3.1. Minerais Metálicos	58
Tungstatos	58
Sulfuretos	62
5.3.1. Minerais não Metálicos	66
Quartzo	66

Micas Brancas.....	68
Biotite-Clorite.....	69
Plagióclase.....	70
Fosfatos	70
5.4. Sequência de deposição mineral.....	73
6. Referências	79
7. Conclusões.....	79
8. Anexos	91
8.1. Anexo I – Log da sondagem Bo_5/14.....	91
8.2. Anexo II – Fichas do estudo petrográfico.....	103

Lista de Quadros

Quadro 3.1: Famílias de fracturação e respectivas atitudes (Noronha 1983).	30
Quadro 5.1: Sequência de deposição mineral.....	74

Lista de Estampas

Estampa 5.1: Conjunto de fotografias das amostras recolhidas observadas à lupa. ..55

Lista de Figuras

Figura 3.1: Enquadramento geográfico da área em estudo. Mapa elaborado em <i>software Canvas</i> com recurso aos metadados CAOP e às Folhas nº 44 e 58 da Carta Militar de Portugal do Instituto Geográfico do Exército à Escala 1/25 000. Referenciação em UTM (Fuso 29N – Coordenadas Retangulares Quilométricas), WGS 84.	13
Figura 3.2: Imagem de GoogleEarth que demonstra a topografia e drenagem das águas na envolvente da área em estudo.	15
Figura 3.3: Unidades morfoestruturais da Península Ibérica e das zonas definidas no Maciço Hespérico, segundo Lotze (1945) e Farias <i>et al</i> (1987) (Adaptado de Vera, J. A. 2004).Jazigo das Minas da Borralha	16
Figura 3.4: Unidades alóctones, autóctones e parautóctones e respetivos domínios estruturais do norte de Portugal (Ribeiro <i>et al</i> 1990).Jazigo das Minas da Borralha.....	16
Figura 3.5: Figura ilustrativa da relação espacial entre os granitoides do Norte de Portugal e os sistemas mineralizantes, assim como, dos seus condicionantes (Mateus e Noronha 2001).	20
Figura 3.6: Distribuição das mineralizações estano-tungstíferas (Adaptado de Ribeiro e Pereira 1982).....	21
Figura 3.7: Unidades geotectónicas e depósitos de W e Sn portugueses (Adaptado de Martins, 2012).....	22
Figura 3.8: Representação esquemática da fracturação do NW português (baseada na Carta Tectónica de Portugal, 1972, e no mapa de “Sistema de Fracturas” de Conde e Andrade 1976). Adaptado de Noronha 1983.Salto	24
Figura 3.9: A-Imagem resultante da união das folhas 6-A e 6-C à escala 1:50 000 dos Serviços Geológicos de Portugal e do Instituto Geológico e Mineiro, respetivamente. A vermelho encontra-se delimitada aproximadamente a área em estudo. B- representação esquemática da cartografia geológica da brecha de Sta. Helena, e das suas rochas encaixantes.....	27
Figura 5.1: Esquema exemplificativo do contacto da brecha de Sta. Helena com as rochas encaixantes, assim como da sondagem Bo_5/14. Imagem realizada com o recurso ao <i>software Canvas</i>	47
Figura 5.2: Síntese do Log de Sondagem, no qual está ilustrado as litologias, a mineralogia principal e teores de tungsténio em ppm.	47
Figura 5.3: Fotografia de um exemplo da amostra representativa do xisto micáceo, rocha encaixante da brecha de Sta. Helena.	51

Figura 5.4: Fotografia de um exemplo da amostra representativa do xisto micáceo da zona de transição..	52
Figura 5.5: Fotografia de um exemplo da amostra representativa do pegmatito presente na brecha de Sta. Helena.	52
Figura 5.6: Fotografia de um exemplo da amostra representativa da brecha de Sta. Helena (elementos de granitos e de xisto cimentados por quartzo).	53
Figura 5.7: Fotografia de um exemplo da amostra representativa do granito encaixante.	53
Figura 5.8: Imagens que ilustram a associação entre a volframite e ilmenite, ao microscópio ótico de luz refletida em nicóis paralelos (A) e ao microscópio eletrónico de varrimento (B).	58
Figura 5.9: Imagem que ilustra a relação entre a volframite e alguns sulfuretos, ao microscópio ótico de luz refletida em nicóis paralelos (A e B).	59
Figura 5.10: Imagem ilustrativa de cristais de pirite no seio da volframite, assim como, a sua associação com o quartzo de segunda geração. Imagem ao microscópio ótico de luz refletida em nicóis paralelos. Qz II	59
Figura 5.11: Imagem ilustrativa da relação entre os cristais de volframite com a moscovite (A) e com a sericite (B) ao microscópio ótico de luz refletida em nicóis paralelos.	60
Figura 5.12: Imagem ilustrativa de um cristal de volframite e respetivos espetros, que demonstram a sua composição elementar. Imagem obtida ao microscópio eletrónico de varrimento.	61
Figura 5.13: Imagem ilustrativa de cristais de volframite e scheelite com os respetivos espetros, que demonstram a sua composição elementar. Imagem obtida ao microscópio eletrónico de varrimento.	61
Figura 5.14: Imagem ilustrativa da associação entre sulfuretos ao microscópio ótico de luz refletida em nicóis paralelos.	62
Figura 5.15: Imagem ilustrativa da cristalização dos fluidos resultantes da formação da calcopirite (A), assim como, da associação entre esta e a estanita (B). Imagens obtidas ao microscópio ótico de luz refletida em nicóis paralelos. Z12	63
Figura 5.16: Imagens ilustrativas do processo de alteração da calcopirite em covelite, ao microscópio ótico de luz refletida em nicóis paralelos (A) e ao microscópio eletrónico de varrimento (B).	63
Figura 5.17: Imagens ilustrativas das várias gerações de pirite, ao microscópio ótico de luz refletida em nicóis paralelos.	64

- Figura 5.18:** Imagens ilustrativas do processo de alteração da pirite em marcassite (A) e da sua fracturação com preenchimento de sericite (B). Imagens obtidas ao microscópio ótico de luz refletida em nicóis paralelos..... 64
- Figura 5.19:** Imagens ilustrativas do processo de piritização da galena ao microscópio ótico de luz refletida em nicóis paralelos (A) e da sua relação com a molibdenite ao microscópio eletrónico de varrimento (B)..... 65
- Figura 5.20:** Imagens ilustrativas da relação entre a molibdenite (Z8) e a calcopirite (A) e entre esta e cristais de matildite (Z9) e bismuto nativo (Z10) (B), ao microscópio eletrónico de varrimento..... 65
- Figura 5.21:** Imagem ilustrativa da relação entre os cristais de galena (Z9) e de greenockite (Z11) e, respetivo espectro elementar ao microscópio eletrónico de varrimento..... 66
- Figura 5.22:** Imagens ilustrativas das várias gerações de quartzo (B), assim como, das suas relações com outros minerais (A). Imagens obtidas ao microscópio ótico de luz transmitida em nicóis cruzados..... 67
- Figura 5.23:** Imagens ilustrativas da relação entre cristais de quartzo, cassiterite (Z1) e ilmenite (Z2), ao microscópio ótico de luz refletida em nicóis paralelos (A) e microscópio eletrónico de varrimento (B).Z1..... 67
- Figura 5.24:** Imagens ilustrativas da relação entre as micas brancas (A), assim como, entre estas e os minerais metálicos (B) ao microscópio ótico de luz transmitida em nicóis cruzados..... 68
- Figura 5.25:** Imagem ilustrativa da relação entre os cristais de ilmenite e moscovite ao microscópio ótico de luz refletida em nicóis paralelos..... 68
- Figura 5.26:** Imagens ilustrativas do processo de cloritização (A) e das variedades de clorite e sua relação com os sulfuretos (B). Imagens obtidas ao microscópio ótico de luz transmitida em nicóis paralelos..... 69
- Figura 5.27:** Imagem ilustrativa da relação entre a clorite lamelar e os minerais metálicos ao microscópio ótico de luz transmitida em nicóis paralelos. 69
- Figura 5.28:** Imagens ilustrativas da relação existente entre a plagioclase e as micas brancas (A), assim como, com o quartzo (B) ao microscópio ótico de luz transmitida em nicóis cruzados..... 70
- Figura 5.29:** Imagens ilustrativas da relação entre a apatite e a pirite (A), assim como, entre a apatite e os elementos de terras raras (B) e, respetivos espectros ao microscópio eletrónico de varrimento..... 71
- Figura 5.30:** Imagens ilustrativas dos elementos de terras raras no interior de possíveis cristais de monazite. Imagens obtidas ao microscópio eletrónico de varrimento. 71

Lista de Abreviaturas

CEMUP	Centro de Materiais da Universidade do Porto
CGUP	Centro de Geologia da Universidade do Porto
DGAOT	Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território
MEV	Microscópio Eletrónico de Varrimento
MEV ER	Microscópio Eletrónico de Varrimento Eletrões Retrodifundidos
MEV ES	Microscópio Eletrónico de Varrimento Eletrões Secundários
MM	Minerais Metálicos
NC	Nicóis Cruzados
NP	Nicóis Paralelos
ZAOL	Zona Astúrico-Occidental-Leonesa
ZCI	Zona Centro Ibérica
ZGTM	Zona Galiza Trás-os-Montes
ZOM	Zona Ossa Morena

Abreviaturas de Elementos

Ce	Cério
Fe	Ferro
La	Lantânio
Mn	Manganês
Th	Tório
U	Urânio
W	Tungsténio

Abreviaturas de Minerais

Ap	Apatite
Apy	Arsenopirite
Bt	Biotite
Chl	Clorite
Chll	Clorite lamelar
Chlv	Clorite vermicular
Cv	Covelite
Ccp	Calcopirite
Gn	Galena
Grt	Granada
Ilm	Ilmenite

Mrc	Marcassite
Ms	Moscovite
Pl	Plagióclase
Po	Pirrotite
Py	Pirite
Qz	Quartzo
REE	Elementos de Terras Raras
Sch	Scheelite
Ser	Sericite
Sn	Estanho
Snt	Estanite
Sph	Esfalerite
Wolf	Volframite

De acordo com Whitney e Evans (2010)

Introdução



1. Introdução

O presente trabalho insere-se no âmbito de um protocolo para a realização de um estágio curricular entre a Faculdade de Ciências da Universidade do Porto e a empresa Minerália – Minas, Geotecnia e Construções Lda., a qual é detentora da concessão de exploração da área mineira sobre a qual incidiu o presente trabalho.

O estágio curricular desenvolveu-se no antigo couto mineiro das Minas da Borralha, na freguesia de Salto, concelho de Montalegre.

A área em estudo, uma vez que, nela se situa uma mina com elevado interesse para o país foi alvo de vários trabalhos de índole académica. No entanto, os relativos à brecha de Sta. Helena são escassos. Este trabalho destinou-se a estudar a brecha de Sta. Helena, uma das particularidades do jazigo da Borralha, abordando a complexidade litológica deste corpo brechoide, assim como, as associações mineralógicas nela presentes.

Para tal estudou-se a sondagem a Bo_5/14 que foi realizada no período de 20 de Maio de 2014 a 9 de Junho de 2014 pela empresa Minerália – Minas, Geotecnia e Construções Lda. O log de sondagem foi realizado entre os meses de Julho e Dezembro de 2015 tendo sido estudadas cerca de 161 amostras com o comprimento de 1 metro. Tendo sido recolhidas cerca de 12 amostras para a realização de lâminas delgadas.

Procedeu-se ao estudo petrográfico das amostras ao microscópio ótico no Centro de Geologia da Universidade do Porto (CGUP) e Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento de Território (DGAOT) da Faculdade de Ciências e à observação e análises ao microscópio eletrónico de varrimento no Centro de Materiais da Universidade do Porto (CEMUP).

1.1. Objectivos

Tendo em vista o reconhecimento do potencial mineiro da brecha Sta. Helena foram realizadas pela empresa Minerália – Minas, Geotecnia e Construções Lda. várias sondagens com recuperação no decurso de 2014.

Tendo em conta os resultados de estudos analíticos efectuados sobre o material das sondagens procedeu-se à escolha de uma que reunisse as características de diversidade litológica e presença de mineralização.

O Log de sondagem da sondagem seleccionada permitiu identificar os melhores locais para a realização de observações de detalhe. Estas observações destinavam-se não só a, evidenciar as características geológicas da estrutura mineralizada como a identificar as zonas de alteração hidrotermal e as mineralizações presentes. Pretendeu-

se também determinar as associações minerais presentes e estabelecer uma sequência de deposição mineralógica que permitisse compreender melhor este corpo brechoide.

O objetivo principal deste trabalho é, assim, o estudo das mineralizações presentes na brecha de Sta. Helena bem como o seu modo de distribuição, para deste modo contribuir para a avaliação do interesse económico e a sua futura exploração mineira.

1.2. Trabalhos Anteriores

Apesar da elevada importância do couto mineiro da Borralha ao nível do tungsténio nacional, poucos foram os estudos de índole geológica realizados sobre este. É ainda de acrescentar que, apesar desta mina laborar desde 1902, apenas em 1971 Conde *et al* publicaram, no livro guia das excursões do I CHLAGE, o primeiro trabalho geológico sobre a área mineira, onde tecem algumas apreciações metalogénicas. Até essa data só existiam relatórios geológicos não publicados e mesmo esses raros, sendo de salientar os de Ferro (1957), pois contêm ainda hoje informações de locais da mina inacessíveis. Além destes são importantes os relatórios executados por Bonnici (1972), Prouhet e Bonnici (1972) e Gaillard (1972).

Outros estudos a referir são os de Amosse (1976 e 1978), acerca de uma análise físico-química das volframites e sua aplicação ao estudo da distribuição zonal da volframites e o de Neiva (1972) que a partir da geoquímica das moscovites tece algumas opiniões sobre as condições físico-químicas da génese deste jazigo.

Além disto, Noronha (1974, 1976, 1979a, 1979b, 1983, 1984) tece várias considerações acerca deste couto mineiro, sendo estas sobre o estudo de inclusões fluidas nos quartzos dos filões, a importância metalogénica da scheelite, a classificação das brechas deste jazigo e o estudo metalogénico acerca desta área tungstífera.

As minas da Borralha



2. As minas da Borralha

2.1. A Borralha no contexto mineiro português do século XX

O Couto Mineiro da Borralha é um marco no contexto da exploração mineira de Portugal do século XX, uma vez que, contribuiu para a elevada produção nacional de volfrâmio ou tungsténio.

Segundo a história popular, a Borralha foi, em tempos, um espaço de pastoreio da povoação. Assim, as Minas da Borralha surgiram devido a um moleiro de seu nome “Borralha” que devido à falta de bens se decidiu instalar nesta zona com a sua família. Uma vez que tinha uma família numerosa, os seus filhos tiveram a necessidade de procurar trabalho fora da sua terra, de forma a terem uma vida melhor. Um desses filhos decidiu ir trabalhar para Bragança, nas Minas do Coalhoso onde se extraía o volfrâmio. Este filho do “Borralha”, ao ver o volfrâmio explicou que na sua terra também existiam “pedras” iguais às que extraíam da mina, mas eram utilizadas pelos pastores para atirar às cabras. Com isto um funcionário superior da empresa para qual trabalhava decidiu dirigir-se à zona onde vivia este rapaz, registando então, estas em nome da empresa, a “Compagnie des mines d’étain et de wolfram” (Nunes 2010).

A exploração no couto mineiro da Borralha ter-se-á iniciado por decreto real no ano de 1902 com a concessão destas minas à “Compagnie des mines d’étain et de wolfram”, que concedia para exploração as propriedades de Borralha, de Monte Borralha nº1 e de Monte Borralha nº2. Em 1926, estas minas viriam a ser o que foi chamado por decreto ministerial de “Couto Mineiro da Borralha”, que compreendia um total de 36 concessões, numa área aproximadamente de 1179 hectares. Até ao ano de 1953, este couto mineiro sofreu aumentos sucessivos devido à agregação de novas concessões. No decorrer do ano de 1962 todo o património pertencente ao Couto Mineiro da Borralha foi transmitido para a empresa “ Mines de Borralha, S.A.” e em Junho de 1968 foram ainda cedidas mais 14 concessões. Assim, o couto mineiro passou a incluir um total de 52 concessões com uma área total de 2611 hectares. Por fim, todas estas concessões foram transmitidas durante o ano de 1980 para uma empresa de capitais anglo-americanos, a “Minas da Borralha, SARL”, que as encerrou em 1986 (Noronha 1983). Acresce ainda salientar que, de 1903 a 1986 a exploração de volfrâmio desta mina só teve duas paragens, uma de 1944 até aos fins de 1946, imposta por decreto de lei durante a 2ª Guerra Mundial, e outra de 1958 até 1962 depois de terminada a guerra da Coreia.

Como foi referido, a empresa “Minas da Borralha, SARL” possuía até ao encerramento 52 concessões das quais, 28 eram de volfrâmio, 12 de volfrâmio e estanho, 10 de estanho e 2 de volfrâmio, cobre, prata e molibdénio. Nestas, a mineralização ocorria preferencialmente em filões, ora de quartzo com volframite, scheelite e sulfuretos, ora em filões aplitopegmatíticos com cassiterite. Além destas estruturas filonianas ocorriam mineralizações em duas estruturas brechoides de cimento quartzoso, a brecha Venise e a brecha de Sta. Helena. Esta última, caso de estudo deste trabalho, foi explorada nos anos 50 devido a ser aflorante e ter consideráveis teores em tungsténio.

No couto mineiro, as concessões para tungsténio situam-se na sua parte mais central e poente e distribuem-se por quatro sectores principais: Borralha, Cruzinhas, Vale de Corças e Chão d’Além Rio. Destes o primeiro é o mais central e o mais explorado devido ao facto de nele os filões serem mais ricos que nos restantes. Nas Cruzinhas, Vale de Corças e Chão d’Além Rio a exploração, apesar de possuir teores mais baixos, ocorreu sobre as estruturas filonianas que consistiam num prolongamento dos filões do sector da Borralha para poente. Outros sectores de menor destaque, pois neles os trabalhos foram menos importantes, são os de Águas Terças, Quebrada e Além Rio; neles a atividade extrativa incidiu sobre filões subparalelos aos do sector Borralha. Nestes três últimos sectores, a atividade extrativa centrou-se particularmente em trabalhos à superfície realizados por “apanhistas”, tanto clandestinos como contratados, sendo esta mais intensiva durante o período da segunda guerra mundial. Os filões do sector Cerdeira, localizado a Este no Couto Mineiro, não apresentam ligação pelo menos aparente com os do sector da Borralha.

Como referido anteriormente, o sector da Borralha foi o local onde se desenvolveram a maioria dos trabalhos explorativos, pelo que foi dividido em nove grupos, designados com letras de A a I. Esta divisão obedecia a fatores como, a natureza do material (em particular a rocha encaixante), as características do minério, assim como, o estado dos terrenos. Aquando do fecho da exploração da mina, em 1985, apenas os grupos A, B, D e E se encontravam com trabalhos, sendo os mais profundos no grupo B onde estavam no nível -210, estando todos os outros apenas com trabalhos somente ao nível zero (nível do Rio Borralha, à cota de 772 m) e acima deste.

De modo a que se compreenda a importância da Mina da Borralha no panorama nacional abordar-se-ão dados relativos à sua produção. Nesta mina, desde o seu começo ao seu fecho, foram extraídos cerca de 18 500 toneladas de concentrados de volframite e scheelite. Esta constituiu, ao nível nacional, a mina mais importante na produção de scheelite, pois correspondeu a cerca de 45% da produção nacional. É de

salientar que estes dados não incluem a atividade extrativa de “apanhistas” ilegais e de acordo com relatos de antigos trabalhadores, estes tiveram uma atividade intensa na região. Em 1955 atingiu-se o pico máximo da exploração mineira, em que foram extraídas cerca de 524,311 toneladas de concentrados, dos quais aproximadamente 58,369 toneladas tinham origem na brecha de Sta. Helena e 44,385 na atividade “apanhista”.

Acresce ainda referir que, de 1975 até 1980 a produção de concentrados de volframite e scheelite foi de 1 816,95 toneladas e que, nestes anos, também ocorreu a produção de concentrados de calcopirite com uma produção global de 1 711,65 toneladas (Noronha 1983).

Salienta-se ainda, ao nível histórico que, com o decaimento do preço e da procura do volfrâmio houve a necessidade de o valorizar. Desta forma, surgiu a implementação de uma fundição, sendo a Borralha a única do mina país que, para além, da produção de concentrados ainda os valorizava transformando-os em ferro-tungsténio (Sousa 2010).

De acordo com o referido anteriormente, verifica-se que a Mina da Borralha foi uma das mais importantes minas no panorama mineiro português, isto é, aquando do auge da atividade extrativa em Portugal. Esta foi fundamental para evidenciar o nosso país como um dos países de interesse mineiro. A Mina da Borralha sofreu uma grande valorização devido à grande procura de volfrâmio aquando das diversas guerras do século XX, impulsionando Portugal como um país de interesse mineiro.

Geologia



3. Geologia

3.1. Enquadramento Geográfico

O Couto Mineiro das Minas da Borralha, no qual se situa a área em estudo, localiza-se no limite entre as regiões do Minho e Trás-os-Montes. Deste modo, a área em estudo situa-se no extremo oeste do distrito de Vila Real, mais concretamente na freguesia mais a sul do concelho de Montalegre, a freguesia de Salto, podendo ser observada com mais pormenor nas folhas número 44 e 58 do Serviço Cartográfico do Exército, à escala de 1:25 000 como se pode observar pela figura 3.1.

Está localizada a sul da Serra do Gerês e do rio Rabagão, assim como, a este da Serra da Cabreira

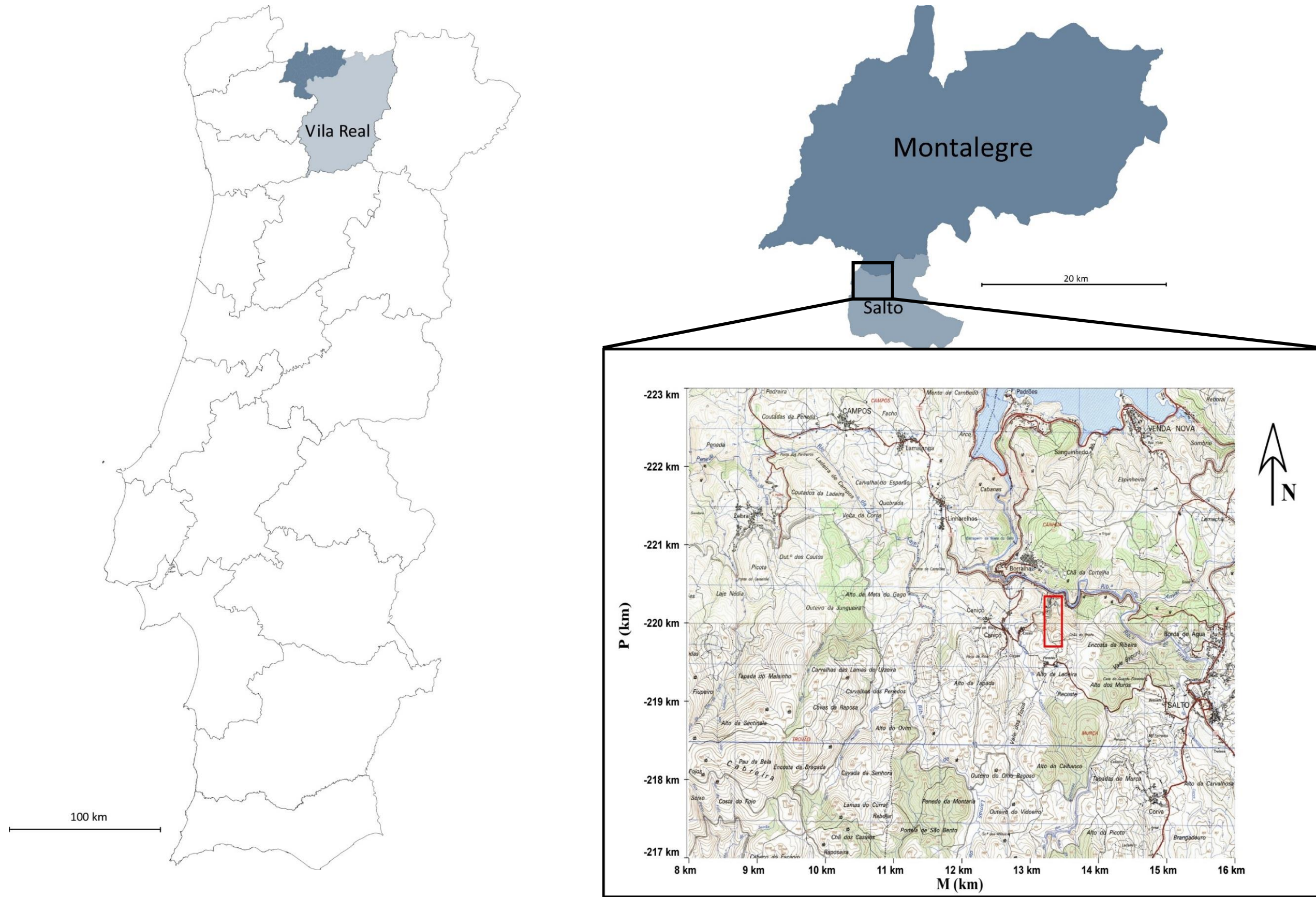


Figura 3.1: Enquadramento geográfico da área em estudo. Mapa elaborado em *software Canvas* com recurso aos metadados CAOP e às Folhas nº 44 e 58 da Carta Militar de Portugal do Instituto Geográfico do Exército à Escala 1/25 000. Referência em UTM (Fuso 29N – Coordenadas Retangulares Quilométricas), WGS 84.

A topografia é acidentada, variando entre os 785 m e os 900 m, associado a isto as linhas de água são extremamente cavadas. Deste modo todas as águas da área são drenadas para a ribeira de Amiar e para o ribeiro do Torrão que formam o rio Borralha que, por sua vez, envia as suas águas para o rio Rabagão (figura 3.2).



Figura 3.2: Imagem de GoogleEarth que demonstra a topografia e drenagem das águas na envôlvia da área em estudo.

O clima regional é típico da região de Trás-os-Montes, apresentando uma média de temperaturas mínimas na ordem dos 3°C e máximas na ordem dos 29°C (IPMA 2015). Por sua vez, a precipitação média nos meses mais húmidos é de 160 mm e nos meses mais secos de 15 mm (IPMA 2015).

3.2. Enquadramento Geológico

3.2.1. Geologia Regional

Com o intuito de melhor conhecer a região estudada é necessário compreender o contexto geológico em que esta se insere, como passamos a enunciar.

No contexto regional, o jazigo de tungsténio da Borralha encontra-se inserido na “Província metalogénica estano-tungstífera Ibérica” (Neiva, 1944 e Thadeu, 1977) que se estende a Este do cisalhamento Porto-Coimbra-Tomar e a Noroeste do carreamento da Juromenha. Assim, excetuando os jazigos relacionados com o maciço granítico de Sta. Eulália (ZOM – Zona Ossa Morena), a Província metalogénica estano-tungstífera desenvolve-se pelas regiões Centro e Norte de Portugal e situa-se na Zona Centro Ibérica (ZCI), na Zona Galiza Trás-os-Montes (ZGTM) e na Zona Astúrico-Occidental-Leonesa (ZAOL). Sob o ponto de vista geológico, a mina da Borralha encontra-se no limite entre a Zona Centro Ibérica (ZCI) e a Zona Galiza Trás-os-Montes (ZGTM), como se observa na figura 3.3.

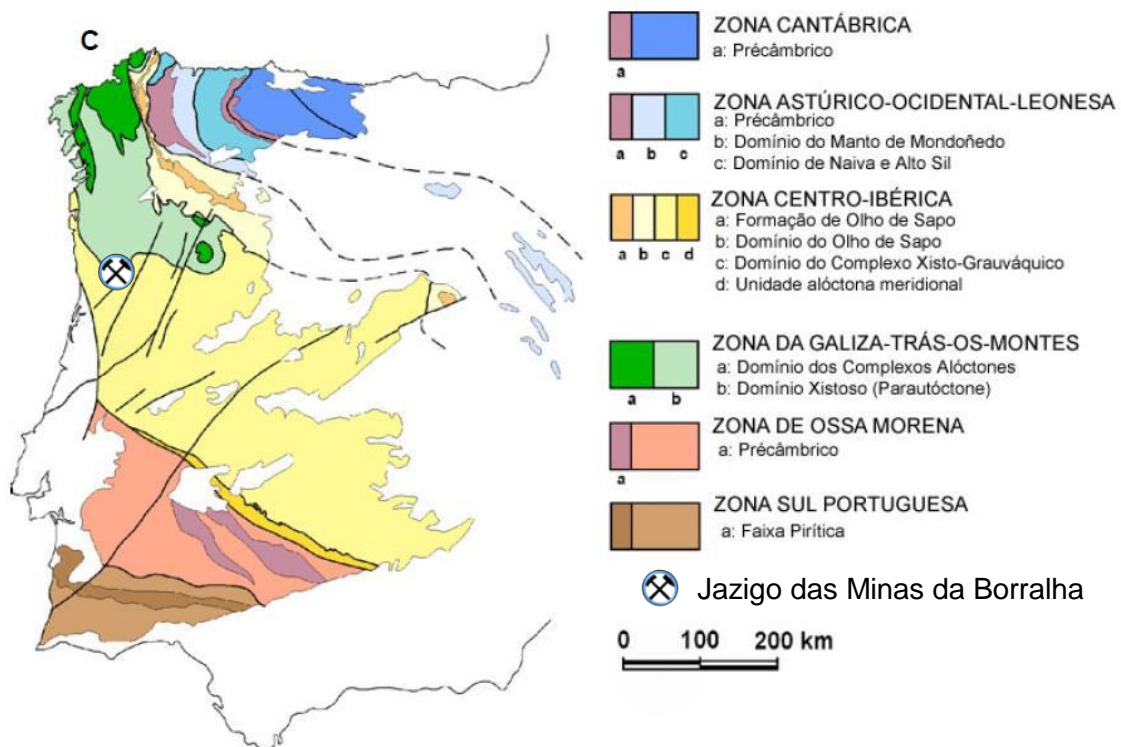


Figura 3.3: Unidades morfoestruturais da Península Ibérica e das zonas definidas no Maciço Hespérico, segundo Lotze (1945) e Farias *et al* (1987) (Adaptado de Vera, J. A. 2004).

A orogenia Varisca apresenta-se de extrema importância no estudo da geologia da Europa ocidental. Assim, o ciclo hercínico ou varisco é caracterizado por zonas geotectónicas com uma orientação que tende no sentido E-W. Nestas é possível

identificar características específicas ao nível da, paleogeografia, tectónica, metamórfica e magmática (Matte e Ribeiro 1975; Dias e Ribeiro 1995). Como tal, vários têm sido os autores que tentaram explicar a orogenia hercínica e o modo como o seu carácter polifásico afetou a ZCI e a ZGTM.

Segundo Schermerhorn (1956) e Oen (1960, 1970), o dobramento hercínico obedeceu a quatro fases de deformação, tendo sido a primeira (F1) de maior importância. Esta era caracterizada pela formação de dobras, cujo plano axial obedecia a uma orientação NW-SE, afetando a maioria da região norte de Portugal. Desta forma, ocorriam variações e estas dobras assumiam uma orientação N-S na zona costeira, e uma orientação que variava de E-W e ENE-WSW à medida que se ia para Este. Contudo, as restantes fases (F2, F3, F4) seriam caracterizadas essencialmente por falhas e dobramentos muito localizados. Em relação às idades, estes autores defendiam que F1 teria ocorrido do Dinaciano ao Vestefaliano inferior, tendo sido responsáveis por um metamorfismo orogénico do tipo Barroviano. Como facilmente se depreende, as fases posteriores seriam de idade pós-vestefaliano.

Um outro modelo surge com Matte (1968) que aponta para presença de apenas duas fases de deformação. O autor considera F1 a fase de maior importância, tendo esta ocorrido entre o Devónico inferior e o Vestefaliano. Esta deformação levou à geração de “nappes” de estilo superficial nas zonas mais externas. Além disso, levou também à formação de dobras deitadas com grande amplitude que são acompanhadas de metamorfismo e xistosidade nas zonas mais internas do maciço. Matte (1968) considera ainda que, apesar de F2 ser de menor importância, esta estaria representada por estruturas com planos axiais subverticais, com algum paralelismo às de primeira fase, isto para as zonas mais internas do maciço. Capdevila e Vialette (1970) atribuíram à F2 uma idade intra-Vestefaliana.

Posteriormente autores como Ribeiro (1974), Noronha *et al* (1979) e Dias e Ribeiro (1995) suportam a ideia que a deformação da ZCI e da ZGTM, que ocorre devido à Orogenia Varisca, se deu em três fases (D1, D2, D3). A fase D1, consoante o tipo de terreno, seja ele autóctone, parautóctone ou alóctone, forma dobras com diferentes orientações e vergências, mas ainda assim estas apresentam uma orientação predominantemente NW-SE e com plano axial vertical nas regiões autóctones, e vergente nas regiões parautóctones. A fase D2 representada sobretudo no alóctone e no parautóctone apresenta uma acentuada vergência das dobras para SE, ocorrendo nesta a formação de várias dobras deitadas com flanco inverso curto. A fase D3 (F2 de Matte), tal como D1, afeta todos os terrenos, implicando dobras largas de pequena amplitude com plano axial vertical. Nesta fase de deformação a foliação a ela associada

depende essencialmente do tipo e da orientação das anisotropias e foliações prévias. Além disto, ao mesmo tempo que ocorria a fase D3 foram desenvolvidas zonas de cisalhamento dúctil, verticais.

Um dos aspetos mais marcantes da Zona Galiza Trás-os-Montes é a sobreposição estrutural dos seus terrenos, alóctones e parautoctones, que ocorre devido a carreamentos (Arenas *et al* 1988; Ribeiro *et al* 1990). Estas unidades estruturais apresentam uma individualidade estratigráfica, estrutural e metamórfica. Além disto, o limite entre ZGTM e ZCI, ou seja, o limite entre as unidades alóctone e parautoctone sobre a unidade autóctone é marcado por um carreamento maior, como é observável na figura 3.4.

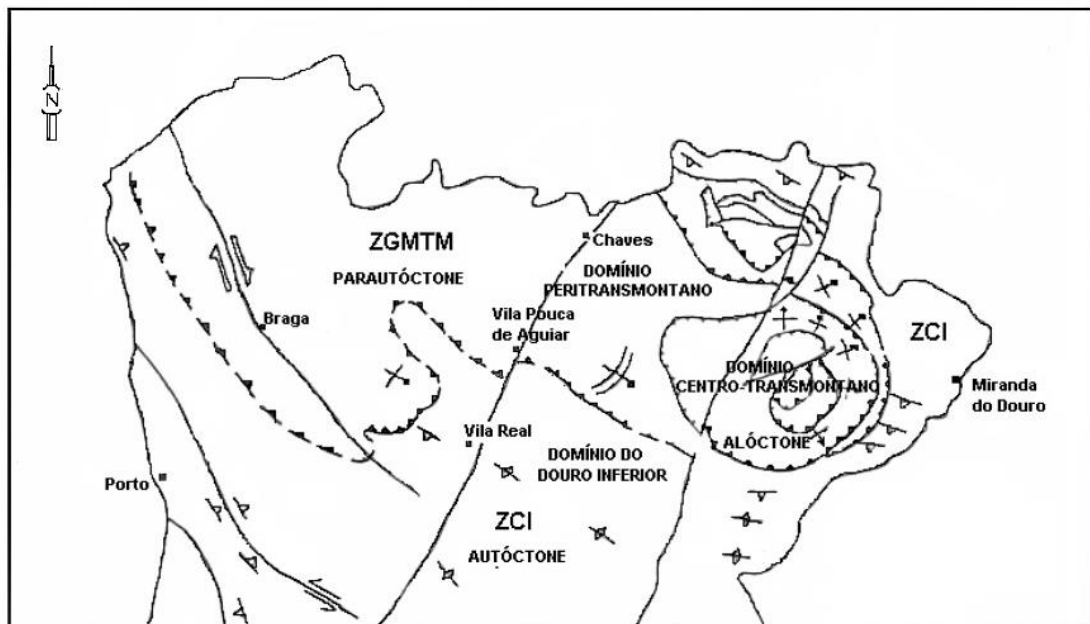


Figura 3.6: Unidades alóctones, autóctones e parautoctones e respetivos domínios estruturais do norte de Portugal (Ribeiro *et al* 1990).

Ao nível regional, a fracturação ocorreu sobretudo num período tardi- e pós-D3 devido a uma deformação dúctil-frágil e frágil, que desenvolveu um sistema de fraturas com direções principais NNE-SSW conjugado com a direção NNW-SSE.

Um dos aspetos mais interessantes da Orogenia Varisca que afetou a ZCI e a ZGTM, é a simultaneidade de processos magmáticos e metamórficos de médio a alto grau, que sugerem que magmas graníticos tiveram um papel importante na evolução térmica do orógeno destas zonas (Dallmeyer *et al* 1997; Abalos *et al* 2002). Durante as primeiras duas fases de deformação, ocorreu o desenvolvimento de um espessamento crustal ainda mais acentuado devido à instalação de mantos. Estes acontecimentos permitiram o desenvolvimento de condições propícias à génese de granitos de anatexia

crustal que se instalam condicionados por estruturas D3 (Ortega e Iburguchi 1990; Dias e Ribeiro 1995).

Os granitos hercínicos do NW peninsular podem ser classificados consoante diversos critérios. No entanto, as classificações mais aceites são baseadas em critérios geocronológicos, tectónicos e em características químico-petrográficas.

A classificação geocronológica divide os granitos do NW peninsular em três grupos: “oldest”, “older” e “younger”. Por outro lado, a classificação baseada em características químico-petrográficas divide os granitos variscos em dois grupos: o dos granitos peraluminosos ou de duas micas e o dos granitos com biotite dominante. Nesta classificação é inevitável que num mesmo grupo existam granitos geocronologicamente distintos (Capdevila e Floor 1970).

Assim, na evolução da Orogenia Varisca, mais concretamente, no magmatismo granítico consideram-se dois grupos de granitoides. No primeiro grupo inserem-se os granitos peraluminosos de duas micas com moscovite dominante que foram gerados por anatexia húmida na crosta média. No segundo podemos encontrar os granitoides biotíticos com plagioclase cálcica, tendo estes uma origem basicrustal, com uma fácies que pode variar desde os tonalitos e granodioritos até granitos biotíticos ou mesmo leucogranitos (Ferreira *et al* 1987).

Especialmente os dois grupos de granitoides ocorrem de forma distinta, os granitos do grupo 1 observam-se em estreita associação com terrenos metamórficos, isto deve-se ao facto destes serem simultâneos à fase de dobramento D3. Os granitos peraluminosos estão associados às zonas de cisalhamento dúctil, ocorrendo segundo os alinhamentos dos núcleos das grandes antiformas desta fase de deformação. Por outro lado, os granitoides do grupo 2 ocorrem em maciços alongados ou como intrusões mais ou menos circunscritas e bastante superficiais. Os granitoides pertencentes a este grupo aproveitaram a intensa fracturação gerada no fim de D3 para a sua instalação.

Quanto a uma classificação tectónica a terminologia aplicada é a de granitos sintectónicos, tarditectónicos e pós-tectónicos utilizando como referência a fase D3.

Os granitos de duas micas são essencialmente sin- a tarditectónicos. Contudo, os granitoides biotíticos podem ser sintectónicos, tardi, tardi a pós-tectónicos ou pós-tectónicos (Ferreira *et al* 1987).

A distribuição dos granitos na ZCI e ZGTM, apresentam fortes condicionamentos tectónicos que os levaram a definir alinhamentos como é observável na figura 3.5 (Ferreira *et al* 1987).

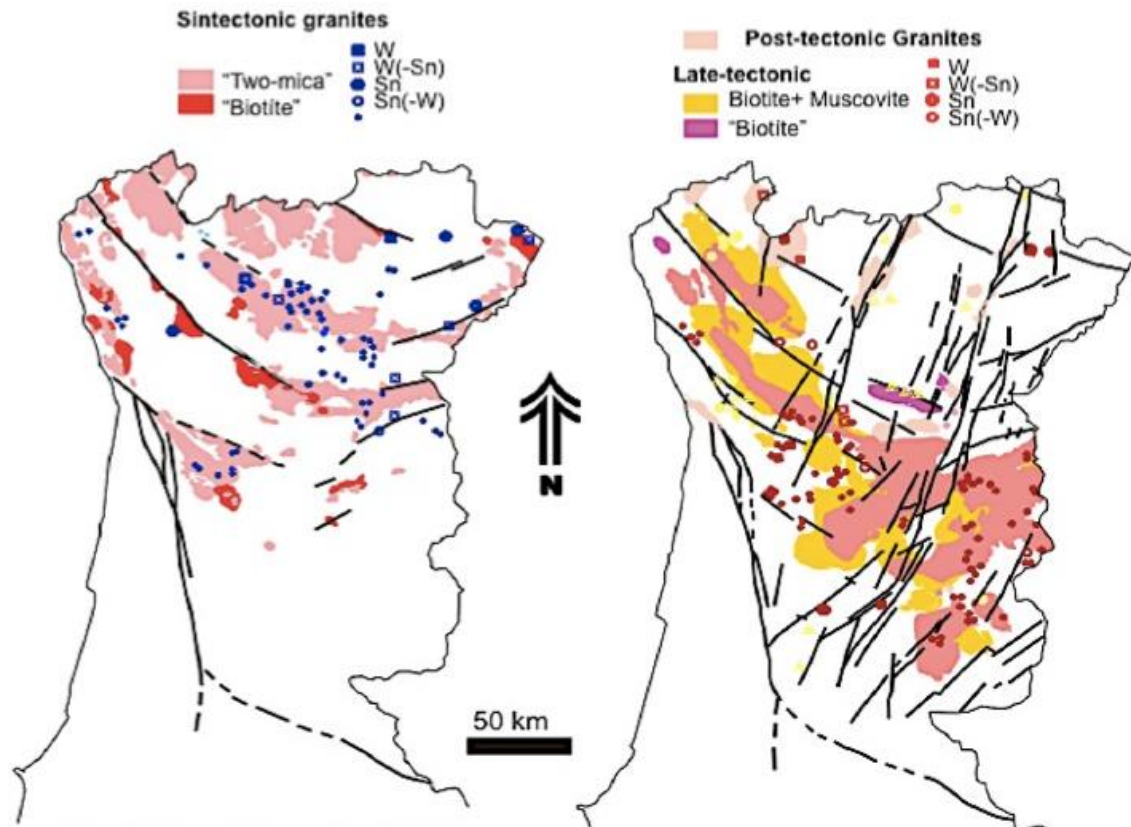


Figura 3.7: Figura ilustrativa da relação espacial entre os granitoides do Norte de Portugal e os sistemas mineralizantes, assim como, dos seus condicionantes (Mateus e Noronha 2001).

Os jazigos estano-tungstíferos do NW da Península Ibérica encontram-se associados a diferentes tipos de granitos e em diferentes situações nomeadamente aplitepegmatitos, skarns, e filões quartzosos hidrotermais. Estes últimos contribuindo para a maior parte da produção de tungsténio nacional (Goinhas, 1987 *In* Martins, 2012). Assim, as concentrações filonianas de Sn e W da ZCI são o exemplo de um feliz encadeamento de processos, estando alguns ligados a fenómenos magmáticos, outros a fenómenos hidrotermais e a um indispensável binário entre os granitos e metassedimentos que originaram a ocorrência destes jazigos (Noronha 1983).

As mineralizações hidrotermais de estanho e tungsténio obedecem a uma distribuição muito variada. No entanto, esta encontra-se condicionada por alinhamentos paralelos aos da estruturação Varisca, assim como, pela localização de afloramentos graníticos Variscos ou pelas suas auréolas de contacto metamórfico, sendo estas reflexo da presença de granitos a baixa profundidade. As mineralizações podem ocorrer tanto na zona entre o contacto de granitos intrusivos e metassedimentos, como sobre a zona de contacto de granitos intrusivos noutros granitos mais antigos (Conde *et al.* 1971) (figura 3.6)

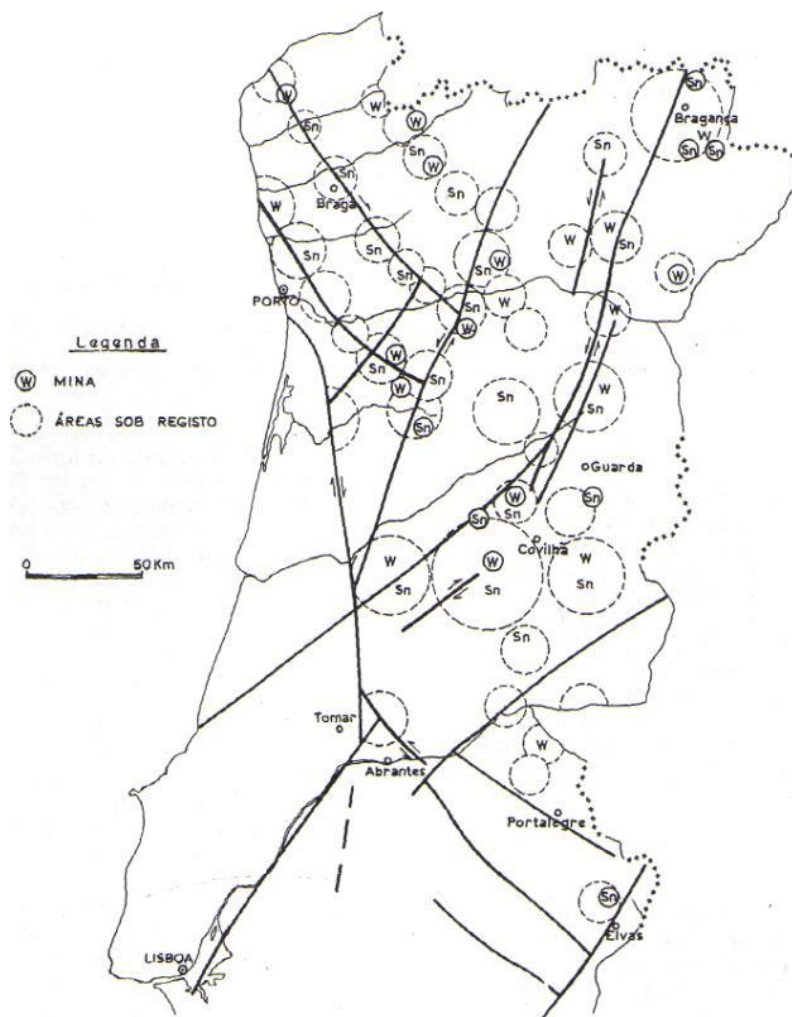


Figura 3.8: Distribuição das mineralizações estano-tungstíferas (Adaptado de Ribeiro e Pereira 1982).

Os jazigos hidrotermais segundo Conde *et al.* (1971) podem ser divididos em três tipos relativamente à sua paragénesis. Os jazigos tungstíferos como o da Borralha com mineralização de molibdenite, volframite, scheelite e rara cassiterite com abundantes sulfuretos. Os jazigos estaníferos como o de Montesinho, com diferenciações de greisen mineralizados com cassiterite, pobres em sulfuretos e esporadicamente com berilo, e

jazigos tungstíferos-cassiteríticos como da Ribeira e Panasqueira (mineralizados em volframite, cassiterite e ricos em sulfuretos e carbonatos) (figura 3.7).

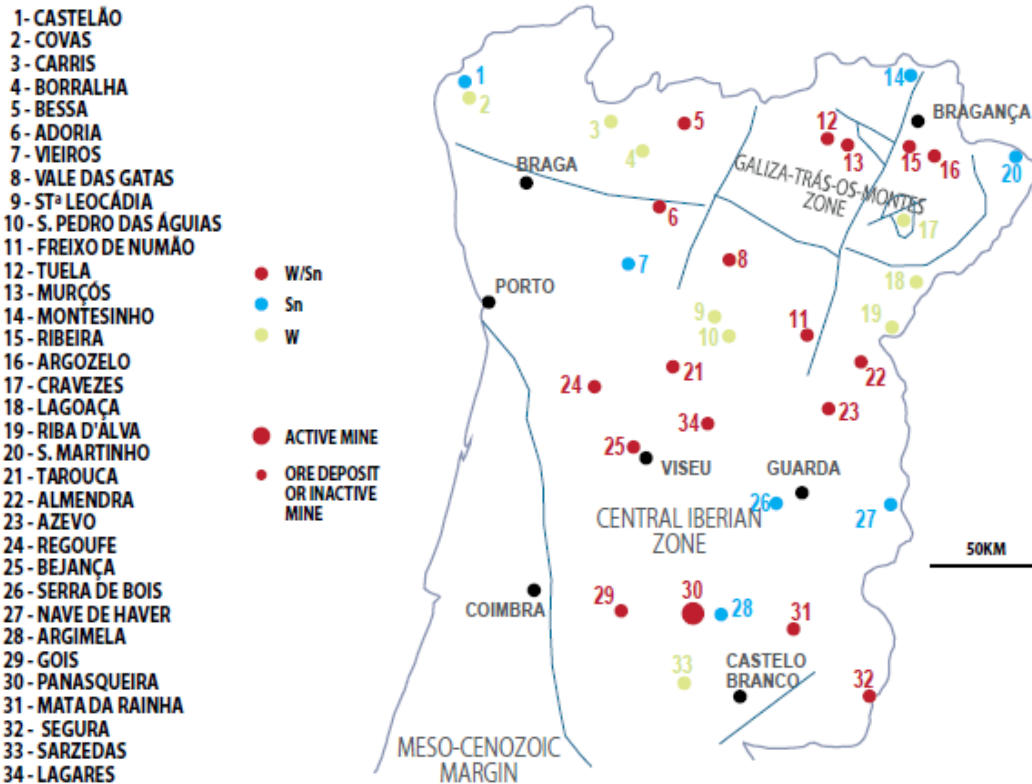


Figura 3.9: Unidades geotectónicas e depósitos de W e Sn portugueses (Adaptado de Martins, 2012).

É também importante abordar a fracturação do NW português que se encontra bastante afetado por fracturação, sendo esta bem visível tanto ao nível regional como ao nível dos afloramentos.

Variados autores debruçaram-se sobre a génese das fraturas do soco hercínico, p.e Ribeiro (1974) e Arthaud e Matte (1975).

Assim, as fraturas com orientação NNE-SSW a NE-SW corresponderão a desligamentos esquerdos posteriores aos granitos de duas micas sintectónicas tendo, no entanto controlado a instalação dos granitos mais recentes.

Por outro lado, as fraturas NE-SW a ENE-WSW são desligamentos que rejogaram em tempos pós-hercínicos, sendo que funcionaram durante o mesozoico como falha normal e durante as compressões alpinas como falha inversa. Este conjunto de fraturas condicionaram morfologicamente a região, constituindo importantes agentes condicionantes na orientação das grandes serras, assim como, de alguns rios (Arthaud e Matte 1975, Freire de Andrade 1935).

Acresce ainda que, as fraturas de orientação NW-SE constituem direções sub-paralelas às estruturas hercínicas que funcionaram como desligamentos direitos tardi-hercínicos. No entanto, constituíram falhas normais desde o início da sedimentação paleozoica e cavalgamentos ou desligamentos durante as fases de dobramento hercínicas (Arthaud e Matte 1975). É ainda importante referir que, Iglésias e Ribeiro (1981) declararam a presença de zonas de cisalhamento dúctil com orientação de NW-SE, associadas geneticamente à fase de deformação D3.

Por fim, as fraturas ENE-WSW a E-W, que correspondem a desligamentos esquerdos são considerados por Ribeiro (1974) como conjugados do sistema de fraturas NNE-SSW, estando geneticamente relacionados com um campo de tensões semelhante ao da terceira fase, ou seja, a uma tensão com uma compressão máxima de direção média NE-SW.

Quanto ao grupo NW-SE, este é em tudo semelhante ao desligamento de Amarante, no qual também englobamos o desligamento das Torrinheiras que se considera ser um cisalhamento dúctil tardi-F3 (Iglésias e Ribeiro 1981).

Deve-se ainda referir que os alinhamentos NS a N10°W têm uma grande importância no maciço granítico do Gerês, assim como, em toda a região em estudo, uma vez que, são os principais alinhamentos das zonas de brechificação e ainda locais de ocorrência de rochas vermelhas de composição episienítica (Martins 1972, Cottard 1979).

Por fim, os alinhamentos NE-SW embora pouco representados apresentam uma elevada importância, uma vez que, condicionam o traçado do rio Cávado a sul do maciço granítico da serra do Gerês sugerindo, como referido anteriormente por Freire de Andrade (1935), um controlo destes alinhamentos sobre a morfologia.

Todos estes aspetos podem ser observados na figura 3.8.

constituída por filitos e micaxistos intercalados com litologias ricas em matéria orgânica, como o xisto negro. Na base desta unidade abundam as litologias mais ricas em matéria orgânica e siliciosa, por outro lado, na sua parte superior encontram-se litologias mais pelíticas, como filitos e micaxistos (Ribeiro M.A. *et al* 2000).

A unidade seguinte embora apresente os mesmos tipos litológicos da anterior individualiza-se devido à predominância de litologias mais siliciosas, como quartzitos e quartzofilitos intercalados em filitos. Esta denomina-se por xistos pelíticos e quartzofilitos com intercalações de quartzitos, liditos, ampelitos e rochas calcossilicatadas (na folha 6-C, a sigla adotada é S^b e na folha 6-A por S unidade inferior). Além disto, nesta unidade as rochas com matéria orgânica são menos abundantes do que na anterior e o carácter mais silicioso desta unidade é evidenciado pela abundância de micaxistos quartzosos, ricos em quartzo de exsudação, aparecendo preferencialmente associados a quartzitos e quartzofilitos (Ribeiro M.A. *et al* 2000).

Por último, as rochas mais recentes destas formações metassedimentares datam do ludloviano e são conhecidas por xistos pelíticos e metagrauvaques com intercalações de rochas calcossilicatadas, vulcanitos ácidos e raros liditos (na folha 6-C, a sigla adotada é S^c e na folha 6-A por S unidade superior). Estas são principalmente constituídas por filitos, micaxistos e metaquartzovaques com intercalações de rochas calcossilicatadas, sendo estas e os vulcanitos ácidos mais abundantes que nas unidades anteriores (Ribeiro M.A. *et al* 2000).

Quanto aos granitóides aflorantes na área em estudo pode-se encontrar uma grande variedade litológica, contudo estes podem-se dividir em dois grupos, os granitoides sintectónicos a D3 e os granitoides pós-tectónicos. O primeiro grupo pode ainda ser dividido em dois grupos, os granitos de duas micas e os granitoides biotíticos.

Os granitos de duas micas estão representados por cinco tipos de rochas diferentes, o granito da Serra da Cabreira, o granito de Murça, o granito de Ruivães e Barroso, o granito de Pisões e o granito das Torrinheiras. O granito da Serra da Cabreira (na folha 6-C, a sigla adotada é γ^m e por γ^m2 na folha 6-A) situa-se na serra com o mesmo nome e prolonga-se até à vila de Ribeira de Pena. Este caracteriza-se por um granito de grão médio de duas micas, com tendência porfiroide e em que se observam esporadicamente concentrações biotíticas e encaves microgranulares de rocha cinzenta clara. O granito de Murça (γ^m na folha 6-C) constitui uma mancha de direção NW-SE próxima do contato com os granitoides biotíticas tarditectónicos, a sul da Mina da Borralha. Este é um granito de duas micas bastante semelhante ao anterior, apenas distinguindo-se devido a um enriquecimento em moscovite. No flanco NE da Serra da Cabreira encontra-se o granito de Ruivães e Barroso (na folha 6-C, a sigla adotada é

$\gamma'g2$ e por $\gamma'g$ na folha 6-A). Esta fácies litológica é essencialmente de grão grosseiro com tendência porfiroide. Apesar de ser classificado como um granito de duas micas, este é essencialmente biotítico. O granito de Pisões ($\gamma'g1$ em ambas as folhas) também de duas micas apresenta uma fácies de grão médio a grosseiro e aflora numa mancha alongada a sul das Serras da Cabreira e Torrinheiras. Este granito está espacialmente associado ao granito do Barroso, contudo não é tão grosseiro nem revela uma tendência porfiroide como este. Acresce ainda referir, que o granito de Pisões em comparação com o do Barroso apresenta-se muito mais orientado, no entanto a transição entre estas duas fácies é de natureza gradual. Por fim, o granito das Torrinheiras ($\gamma'f1$ em ambas as folhas) pode ser encontrado na serra com o mesmo nome. Este é um granito moscovítico de grão fino a médio, muito claro e fortemente orientado devido aos cristais de moscovite e quartzo (Noronha e Ribeiro M.L. 1983; Ribeiro M.A. *et al* 2000).

Por outro lado, os granitoides biotíticos dividem-se apenas em duas fácies, o granito da Borralha e o granitoide de Campos e Borralha. O granito da Borralha ($\gamma\pi m$ em ambas as folhas) consiste numa faixa que se estende desde as Minas da Borralha até ao maciço do Gerês. Este é um granito de grão grosseiro a médio, porfiroide e com megacrístais <5cm que se encontram orientados. O granitoide de Campos e Borralha ($\gamma\Delta$ em ambas as folhas) situa-se nas imediações das povoações com os mesmos nomes. Este trata-se de pequenas manchas com aproximadamente 1 km² cada uma e consiste num tonalito biotítico. Deste modo, caracteriza-se por rochas de granularidade média a fina que por possuir grande abundância de biotite apresenta uma cor escura, sendo conhecida como “rocha negra” (Noronha e Ribeiro M.L.1983; Ribeiro M.A *et al* 2000).

No grupo dos granitos mais recentes, os granitos pós-tectónicos relativamente a D3, apenas se inclui o granito de Penedos (γGm). Este constitui um pequeno afloramento localizado a 1500m a NW das Minas da Borralha, sendo intrusivo no granito da Borralha. O granito de Penedos consiste numa fácies homogénea de grão médio a grosseiro, apresentando abundante quartzo globular, sendo a sua característica principal a presença de granadas visíveis em amostra de mão (Noronha e Ribeiro 1983; Ribeiro *et al* 2000). Todas estas litologias, assim como, uma representação esquemática da brecha de Sta. Helena são observáveis na figura 3.9.

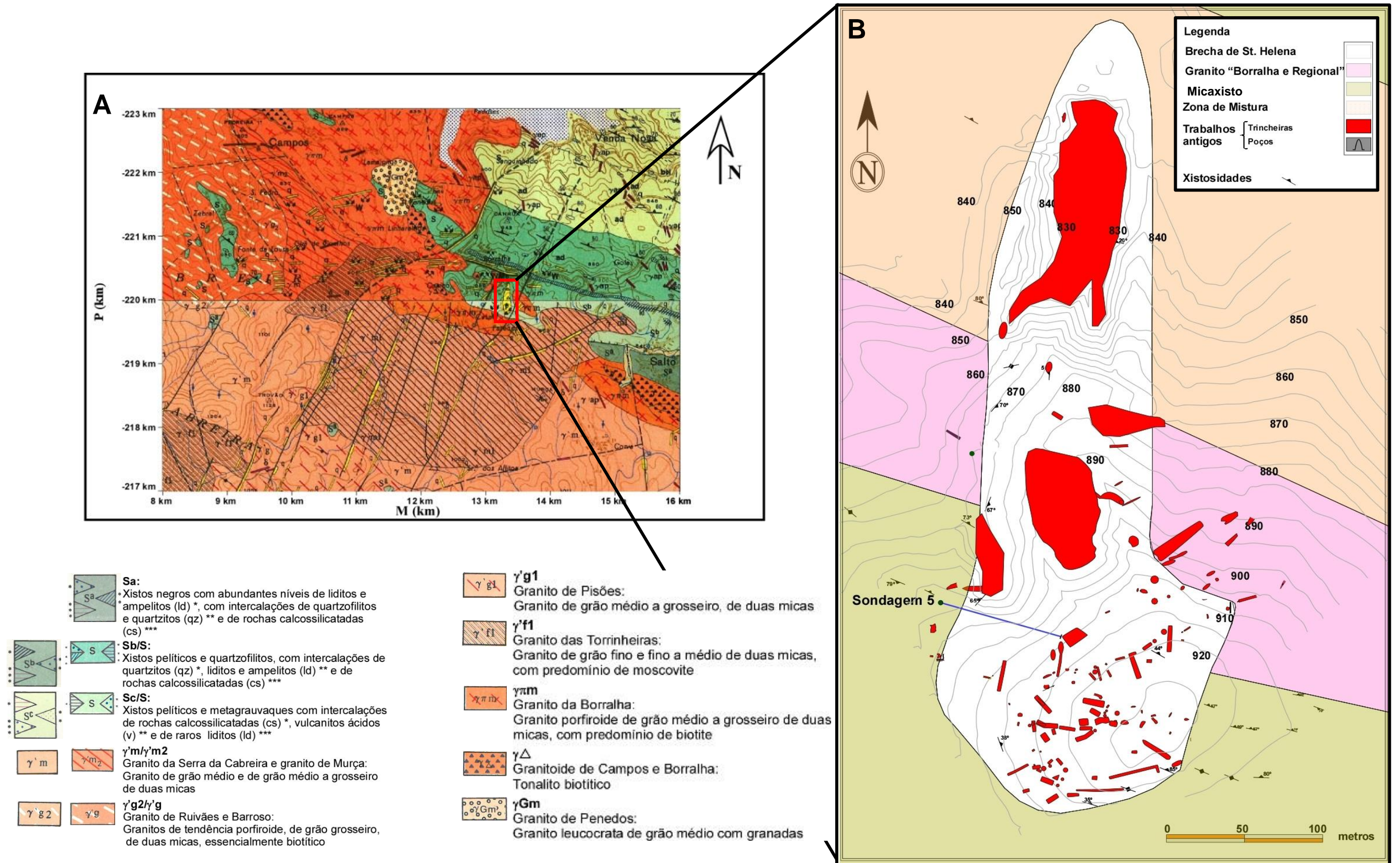


Figura 3.12: A-Imagem resultante da união das folhas 6-A e 6-C à escala 1:50 000 dos Serviços Geológicos de Portugal e do Instituto Geológico e Mineiro, respetivamente. A vermelho encontra-se delimitada aproximadamente a área em estudo. B- representação esquemática da cartografia geológica da brecha de Sta. Helena, e das suas rochas encaixantes.

Finalizado o estudo das litologias principais aflorantes na área de trabalho, procedeu-se a um estudo pormenorizado das rochas encaixantes ao jazigo da Borralha. Este jazigo encontra-se na zona de contacto entre as formações metassedimentares e o granito sintectónico da Borralha. Deste modo, as rochas encaixantes à mineralização são exclusivamente micaxistos e granitos, podendo estes últimos ser intersectados por filões e bolsadas de material aplitopegmatítico. Do ponto de vista litológico podem ser definidas diferentes zonas, a zona granítica franca, a zona xistenta e a zona de rocha negra. A zona granítica franca observa-se a SW do jazigo e é constituída essencialmente pelo granito da Borralha. Por outro lado, a zona xistenta é composta essencialmente por rochas metassedimentares, principalmente por micaxistos. É também de considerar a presença de rochas ricas em quartzo com abundantes leitões micáceos que lhe confere um aspeto listrado, ocorrendo sobretudo no sector NE. A zona da rocha negra encontra-se em contacto direto com a zona granítica e é constituída essencialmente por granitoides de grão médio ou fino, de cor negra (tonalito biotítico) devido à abundância de biotite (Granitoide de Campos e Borralha). Na zona central do jazigo podem aparecer em contacto todas estas litologias, podendo esta zona ser subdividida em zona de mistura e zona granítica intercalar. A zona de mistura caracteriza-se por painéis lenticulares de rocha sedimentar que alternam com rochas graníticas e granitoides. Por outro lado, a zona granítica intercalar é caracterizada pela abundância de granito da Borralha com painéis de micaxisto de dimensão inferior (Noronha 1983).

A área estudada encontra-se sobre uma densa rede de fracturação resultante de uma fase frágil posterior à fase de deformação D3. Como tal, passaremos agora a descrever as características das principais famílias de fracturação.

Atendendo ao facto que cada região apresenta um sistema de fracturação muito próprio devido aos campos de tensões aplicados, assim como, às características plásticas do material, podemos perceber que os grupos de fracturação que ocorrem na região estudada não diferem dos estabelecidos para o NW peninsular.

Assim os grupos de fracturação para a região da Borralha coincidem com os descritos no que diz respeito à fracturação do NW peninsular.

Como tal, o grupo NNE-SSW, que se encontra bem representado em áreas com predomínio de granitos sintectónicos e/ou rochas metassedimentares dobradas é semelhante aos alinhamentos de Vieira do Minho, Boticas e Rio Tâmega.

Por outro lado, à semelhança da falha de Salto, surge o grupo NNW-SSE com os seus desligamentos esquerdos tardi-hercínicos que afetam todo o sector, assim como, os granitos pós-tectónicos do Gerês.

Em particular na area das antigas minas da Borralha ocorrem vários grupos que representam a fracturação subvertical, sendo as direções destes N20° a N30°E (NNE-SSW), N10°W a N20°E (N-S – NNE-SSW) e N10°W a N30°W (NNW-SSE). As orientações das fraturas com menor representatividade são NW-SE, NE-SW e E-W (Noronha 1983).

No sector NW da região estudada, que abrange exclusivamente o granito pós-tectónico do Gerês, verifica-se que os alinhamentos NNE-SSW não têm grande representação ao passo que os alinhamentos N0° a N10°W são muito representados nesta zona. No entanto, em zonas onde predominam os granitos sin-tectonicos e as formações metassedimentares ocorre uma grande representatividade dos alinhamentos NNE-SSW, tal como dos alinhamentos NW-SE relacionados com as estruturas S da fase F3 (Noronha 1983).

Segundo trabalhos anteriormente realizados no jazigo da Borralha podem ser consideraros oito famílias de fracturação, estando estas representadas no quadro 6.1.

Quadro 3.1: Famílias de fracturação e respectivas atitudes (Noronha 1983).

Família	Atitude média
F1	N20° E, 70° NW
F'1	N45° E, 60°NW
F2	N90° E, 60°N
F3	N110° E, 50°N
F4	N20°E, 70°SE
F5	N20°W, 80°SW
F6	N6°W, 70°E
F7	N140°E, 60°NE
F8	N140°E, 80°NE

As famílias F1 e F'1 apresentam um rejeito normal de componente esquerda, as famílias F2, F4 e F5 apresentam um rejeito normal de componente direita, F3 é inversa esquerda e, por último, F7 e F8 apresentam um rejeito inverso de componente direita. F1 é a família com maior frequência e as falhas inversas apresentam pouca variação da sua direcção, sendo subconcordantes com a xistosidade regional.

O caso de estudo, a brecha de Sta. Helena



4. O caso de estudo, a brecha de Sta. Helena

4.1. Introdução

Antes de iniciar o estudo da brecha de Sta. Helena é importante realizar uma primeira análise a este tipo de estruturas. Esta análise deve ser feita não só à sua classificação, como também à sua génese.

Desta forma será importante em primeiro lugar definir o termo brecha. Esta designação foi pela primeira vez utilizada por Ferro (1957) como “pipe bréchico” referindo-se à brecha de Sta. Helena. Segundo Noronha (1979b), o termo brecha é muito abrangente, consistindo numa estrutura de forma variável, composta total ou parcialmente por fragmentos de rochas de forma angular ou arredondada, estando estas suportadas com ou sem matriz.

Uma vez que o termo brecha é tão abrangente, existe uma enorme diversidade, surgindo a necessidade de classificar estas estruturas. Por este motivo, vários autores propuseram diversas teorias genéticas, visto que algumas brechas surgem como alguns dos maiores jazigos mundiais de minerais metálicos (Noronha 1983).

Assim, existem diversos autores como Johnston e Lowell (1961), Bryant (1968) e Konstantinov (1978), que propuseram diferentes mecanismos genéticos para as variadas brechas conhecidas. Segundo Johnston e Lowell (1961) os tipos de génese possíveis são: explosão, tectónica, intrusão ígnea, intrusão de fluidos, dissolução e substituição, “mineralization stoping”, “shrinkage”. Bryant (1968), por seu lado considera que estes mecanismos podem ser, ação explosiva de fluidos em expansão, tectónica, intrusão ígnea ou intrusão, dissolução e substituição, intrusão de fluidos ou fluidização e colapso. Por fim, Konstantinov (1978) propõe os termos de génese, de explosão, tectónica, injeção e metassomático. Apesar da classificação das brechas estar intimamente ligada com a sua génese, o descrito anteriormente não é aceite pelos respetivos autores como uma classificação. Acresce ainda referir a grande discussão acerca dos termos genéticos utilizados pelos diferentes autores.

De acordo com as várias propostas de classificação genética de brechas podemos classificá-las como:

1. Brechas tectónicas;
2. Brechas ígneas não efusivas, de contato ígneo ou protoclasticas;
3. Brechas ígneas efusivas;
4. Brechas de explosão profunda ou automagmáticas;

5. Brechas de injeção;
6. Brechas metassomáticas;
7. Brechas de intrusão hidrotermal por fluidização ou intrusivas;
8. Brechas de subsidência por,
 - a) “Mineralization Stopping” ou colapso hidrotermal;
 - b) “Shrinkage”;
 - c) “Withdrawal of magma”.

A problemática relativamente à classificação das estruturas brechoides deve-se ao facto de que muitas delas, senão todas, resultam do encadeamento de vários mecanismos genéticos. No entanto, é provável que um dos mecanismos tenha um papel mais influente na génese de uma brecha (Noronha 1983).

De seguida, passaremos a descrever mais pormenorizadamente a brecha de Sta. Helena, uma vez que esta consiste no caso de estudo do nosso trabalho. Como tal, a estrutura brechoide que nos encontramos a estudar, consiste na única brecha deste tipo na Península Ibérica, sendo uma das poucas do continente Europeu e está situada no sector Sul das Minas da Borralha, entre as rochas encaixantes de micaxisto e o granito da Borralha (figura 3.9). Esta constitui uma estrutura subvertical de secção elíptica cuja dimensão aumenta com a profundidade, pelo que à superfície o seu eixo maior tem orientação N-S com cerca de 400 m de comprimento e o eixo menor tem cerca de 80 m. A sua dimensão vertical não é totalmente conhecida, no entanto esta é observada numa frente de mina no nível -110 (se considerarmos o nível do rio Borralha o nível 0 como referência). Deste modo, podemos inferir que esta atinge pelo menos 200 m em profundidade.

Na brecha de Sta. Helena os contatos com as rochas encaixantes são bruscos, sendo observados filões de quartzo que chegam a uma possança em afloramento, de cerca de 3 m, não ultrapassando os 80 cm em profundidade. Estes filões em alguns locais podem atualmente coincidir com zonas de falha, no entanto não pode ser afirmado que as falhas limitam esta estrutura brechoide. Na verdade o que sucede é que estas falhas com ou sem cavalão (filões de quartzo estéril) atravessam a brecha, mantendo a sua direção fora e dentro desta (Noronha 1983).

Recordando as zonas litológicas definidas para a Mina da Borralha no contexto geológico local e considerando a fracturação na brecha de Sta. Helena, podemos afirmar que a zona xistenta é menos fraturada que a zona de mistura e que as zonas graníticas. Ainda ao nível da fracturação e de acordo com estudos anteriores, verifica-se que a nascente desta estrutura dominam as famílias de falhas F6 e F4 e a poente as

famílias F1 e F5. Tal sugere que a brecha de Sta. Helena desempenhou uma forte influência na história da fracturação do jazigo da Borralha, uma vez que, veio a funcionar como um núcleo rígido mais resistente em torno do qual ocorreu o afundamento das rochas encaixantes.

É ainda de salientar, quanto à estrutura em estudo que, Ferro (1957) define uma zona que se estende para além da brecha, por vezes mais de 50 m caracterizada por uma intensa fracturação, assemelhando-se a um “stockwerk”.

Ao nível composicional, a brecha de Sta. Helena é invariavelmente semelhante às rochas encaixantes, pelo que possui elementos de granitoides, granitos, pegmatitos e micaxistos. Os fragmentos presentes nesta são predominantemente angulosos verificando-se, em alguns casos um ligeiro arredondamento. No entanto, a granulometria destes fragmentos é bastante variável, uma vez que, se observam lado a lado blocos de grandes dimensões e pequenos fragmentos centimétricos. Estes elementos encontram-se unidos por um cimento composto por quartzo hidrotermal, e esporadicamente por clorite e adularia. O quartzo hidrotermal está mineralizado com, volframite, scheelite e também com sulfuretos. Esta mineralização ocorre não só no cimento, mas também nos vazios, assim como, preenche as fraturas dos fragmentos, principalmente os de maiores dimensões (Noronha 1983).

Retomando a temática da classificação de brechas e aplicando-a ao nosso caso de estudo constatam-se alguns problemas, demonstrando a complexidade da sua classificação. As características que podem ajudar na classificação da brecha de Sta. Helena são:

- 1) A estrutura brechoide apresenta uma forma grosseiramente elíptica à superfície e uma forma cónica na vertical, embora não seja conhecido o seu formato abaixo do nível -110.
- 2) Não ocorre qualquer tipo de controlo estrutural para a ocorrência desta estrutura, no entanto não será de descartar a possível relação com a zona de intersecção de falhas do sistema N-S, com o sistema N90° a N100° E.
- 3) Os contactos da brecha com as encaixantes são bruscos e como tal bastante nítidos, no entanto não há evidência de movimento ao longo destes contactos. Como referido anteriormente, na brecha de Sta. Helena os contactos estão marcados por filões de quartzo estando pontualmente associados a falhas com ou sem “cavalão”.
- 4) Os elementos da brecha tem a mesma composição que as rochas encaixantes, pelo que os fragmentos de micaxistos mostram o mesmo grau de metamorfismo e a mesma deformação do micaxisto encaixante. Acresce

ainda referir que os elementos se encontram misturados, não sendo possível delinear áreas com elementos de uma única litologia. Contudo, existem elementos dominantes de acordo com a litologia da rocha encaixante mais próxima, pelo que na brecha em estudo os elementos de micaxisto são mais abundantes nos níveis mais superficiais.

- 5) Os elementos da brecha apresentam diferentes tamanhos, ocorrendo elementos desde alguns centímetros até vários metros, contudo o seu tamanho é independente da litologia.
- 6) Os elementos constituintes da brecha não apresentam qualquer orientação preferencial, quer em função de tamanho quer à sua posição no seio da estrutura isto é, a distribuição destes ocorre de forma desordenada não havendo nenhuma dimensão predominante em qualquer área da brecha.
- 7) Quanto à forma dos elementos esta é predominantemente angular podendo ocorrer fragmentos com um ligeiro arredondamento, no entanto os seus limites são sempre bem definidos.
- 8) Os elementos ocorrem fora da sua posição original, tal é suportado devido à variação de orientações das S do micaxisto, assim como, as diferentes orientações dos blocos de granito porfiroide orientado da Borralha.
- 9) Os elementos da brecha são cimentados com um cimento quartzoso hidrotermal, contudo é possível observar outros minerais hidrotermais que entram na composição deste cimento. De referir a ausência de matriz.
- 10) Nas rochas encaixantes é difícil a observação de fenómenos de brechificação ou de alteração, a não ser a presença de estruturas do tipo “angular-crackle-breccia”, sendo a sua observação apenas visível nos níveis mais próximos da superfície.

Vários autores já se referiram à génese brecha de Sta. Helena. Desta forma, Conde *et al* (1971) refere-se a esta como uma brecha de colapso, Gaillard (1972) considera que esta estrutura é uma brecha de colapso formada por “block caving”. No entanto, Prouhet e Bonnici (1972) propõe duas hipóteses para a formação da brecha de Sta. Helena, a hipótese de brecha de colapso, ou a hipótese de uma brecha de explosão, embora segundo as suas observações estes referem que a teoria que melhor se enquadra é a hipótese de brecha de explosão. Assim, de acordo com a opinião dos vários autores e tendo em conta todas as características da brecha de Sta. Helena, podemos excluir vários tipos de classificação de brechas.

Como tal, pela observação desta estrutura é fácil perceber, que esta sofreu um movimento, uma vez que, os clastos encontram-se misturados e fora da sua posição original. Além disto, podemos ainda concluir que este movimento foi pequeno, visto ser possível relacionar a natureza do encaixante com o tipo litológico dominante. Além de pequeno o movimento foi descendente, uma vez que, ocorre uma predominância de clastos de micaxisto nos níveis mais superficiais, assim como, não se observam clastos provenientes dos níveis mais profundos. Como tal a hipótese de ser uma brecha do tipo ígneo efusivo não poderá ser posta (Noronha, 1979, 1983).

A hipótese desta ser uma brecha metassomática é posta de lado visto que os fragmentos são essencialmente angulosos e com contatos bastante nítidos, o que é um indicador que a ação de fluidos corrosivos não ocorreu ou terá sido de pequena intensidade. O facto do cimento quartzoso constituir cerca de 30 a 40% do volume total da brecha e a ausência de qualquer tipo de matriz exclui a hipótese desta ser uma brecha do tipo ígneo não efusivo (Noronha 1979b).

O tipo de brecha que ocorre por intrusão hidrotermal pode ser eliminado, uma vez que, não ocorre um movimento ascendente como é possível perceber pelos factos anteriormente referidos. Para além disto, também não se observam fatores que indiquem a ação de um longo transporte. É ainda de referir que, esta estrutura poderá ser segundo os termos de Konstantinov (1978) uma brecha de injeção do tipo “angular-crackle breccias”, visto que o movimento dos elementos foi pequeno e os tipos litológicos existentes são os das rochas encaixantes (Noronha 1979b; Noronha 1983).

Atendendo a todos os fatores descritos, podemos classificar esta brecha quanto à sua génese como uma brecha de colapso, embora o colapso esteja interligado com fenómenos de injeção hidrotermal e ação explosiva. Como tal, a génese da brecha de Sta. Helena terá ocorrido segundo a seguinte sequência:

1. A formação desta estrutura deu-se numa fase tardia provavelmente associada a um processo magmático pós-D3;
2. Os fenómenos de substituição provocados por ação de fluidos terão sido pouco importantes, pelo que estes não terão sido responsáveis pela presença de vazios no cimento quartzoso;
3. Os vazios ocorreram provavelmente devido ao efeito de soluções hidrotermais relativamente salinas que circulam a alta pressão. Estas soluções foram responsáveis pela deposição dos primeiros minerais, entre eles a volframite. Ao mesmo tempo que isto acontece, ocorre também o colapso da câmara magmática, que levou a um movimento pouco intenso dos fragmentos, mas ainda assim suficiente para a criação de lacunas;

4. Paralelamente a este fenómeno de colapso, formam-se algumas fraturas sub-horizontais, que atravessam os fragmentos. Estas são de seguida preenchidas com fluidos com um grau de salinidade menor, assim como de temperatura inferior. Tal, levou à deposição de minerais como o quartzo e a maioria dos sulfuretos.

De acordo com o descrito sobre a brecha de Sta. Helena é facilmente perceptível a importância desta estrutura no contexto mineiro e também ao nível económico no mercado de Tungsténio. Salienta-se ainda que, a génese desta estrutura brechoide já se encontra suficientemente clarificada, pelo que a observação das lâminas delgadas polidas poderá ser uma importante ferramenta para a melhor compreensão deste depósito.

4.2. Métodos de estudo

4.2.1. Observação de Testemunhos de Sondagem

Como foi referido anteriormente, no estudo da brecha de Sta. Helena foram utilizados, no essencial, três métodos de estudo, o Log de sondagem, a petrografia utilizando o microscópio ótico polarizante de luz transmitida e de luz refletida e estudos mineralógicos complementares utilizando o microscópio eletrónico de varrimento (MEV).

A primeira abordagem à elaboração do Log de sondagem consistiu na observação macroscópica das amostras (testemunhos) retiradas da sondagem 5 (Bo_5/14) de uma campanha de sondagens efetuada pela empresa Minerália, Lda. Esta sondagem permitiu inferir macroscopicamente um quadro paragenético preliminar que atende às relações entre as mineralizações e os quartzos presentes, assim como, os tipos de alteração observáveis. A observação macroscópica foi aplicada de modo a selecionar o conjunto de locais que apresentassem as melhores características para a produção de lâminas delgadas polidas.

No Log de sondagem foram considerados outros aspetos da brecha de Sta. Helena, como a delimitação entre esta e as rochas encaixantes e a estimativa visual dos minerais com interesse económico presentes na sondagem. Esta sondagem e, conseqüentemente, este Log permitiram observar que as rochas encaixantes predominantes são à superfície o micaxisto e em profundidade o granito.

Foram selecionadas um total de 12 amostras que são do cimento de quartzo e mineralização e de fragmentos de composição granítica. Na seleção das amostras consideraram-se principalmente, a estimativa visual dos minerais, a diversidade mineral

e, ainda, os contactos entre fragmentos e o cimento quartzoso. Este último aspeto permitiu excluir amostras semelhantes. Assim, parte-se do princípio que as amostras recolhidas são representativas do corpo brechoide.

Na brecha de Sta. Helena a mineralização ocorre quer em minerais metálicos opacos quer em transparentes (p.e scheelite), pelo que um estudo desta implica um estudo destes minerais, assim como, dos seus envolventes (cimentos e alterações). Neste sentido, o método de investigação mais adequado é a microscopia ótica, quer em luz transmitida como em luz refletida.

4.2.2. Microscopia ótica

A microscopia ótica de luz transmitida destina-se a estudar os minerais transparentes, nomeadamente os que constituem as rochas dos elementos das brechas, os cimentos quartzosos, bem como, as alterações hidrotermais presentes. Por outro lado, a microscopia ótica de luz refletida permite o estudo de minerais opacos, nos quais se inserem os elementos metálicos.

Na microscopia ótica consideram-se as propriedades físicas, morfológicas e ainda as propriedades óticas dos minerais. Assim, a resolução microscópica permite melhorar bastante o estudo dos modos de contacto. Salieta-se que, a microscopia ótica permite observar texturas e intercrescimentos específicos, facilitando a identificação da espécie mineral, uma vez que, cada espécie mineral apresenta propriedades de intercrescimento específicos.

No sentido de compreender melhor os minerais transparentes presentes nas amostras estudadas utilizou-se a microscopia ótica de luz transmitida. Nesta procederam-se a estudos de propriedades que podem ser englobadas em dois grupos dependendo do tipo de observação efetuado, assim utilizou-se a observação em luz polarizada plana (nicóis paralelos) ou em luz polarizada cruzada (nicóis cruzados). Tivemos de ter em conta propriedades morfológicas como a dimensão, forma e simetria dos grãos, a clivagem, as maclas, assim como, fenómenos de inclusão, intercrescimento e alteração. Para além destas propriedades também consideramos as propriedades óticas, das quais se destacam a cor, o pleocroísmo, o índice de refração e a birrefringência (Raith *et al* 2012).

Nas propriedades morfológicas, o tamanho, a forma e simetria do grão dependem das condições de crescimento das espécies minerais, sendo estas uma expressão da simetria e estrutura do arranjo atómico do mineral constituinte do grão. Como tal, estes estão interligados com o hábito e formas cristalinas. A clivagem é uma importante

propriedade, visto que a partir do número de planos e dos ângulos que fazem entre si ajudam o diagnóstico da espécie mineral observada. Acresce ainda que, a clivagem pode fornecer informações sobre a orientação dos grãos numa lâmina delgada. Uma das propriedades com elevada importância no estudo de microscopia de luz transmitida é a presença ou ausência de maclas. Estas ocorrem devido aos intercrescimentos de duas ou mais partes de um cristal, segundo uma simetria bem definida. Em muitas espécies minerais as maclas são uma característica importante para a sua identificação. Assim, numa lâmina delgada a forma mais fácil de identificar as maclas é em nicóis cruzados devido a uma diferença de intensidade e de cor entre os cristais maclados. Por fim, os fenómenos de inclusão, intercrescimento e alteração podem facilitar a identificação mineral, uma vez que, indiciam as condições de formação de um determinado cristal (Raith *et al* 2012).

Por outro lado, nas propriedades óticas tanto a cor como a intensidade são propriedades de elevada importância, sendo a última gerada devido à absorção seletiva da luz por parte do cristal atravessado. Tal como a cor, o pleocroísmo resulta da absorção da luz, pelo que consiste numa propriedade direcional, ou seja, a orientação dos cristais irá alterar a cor observada. A refração da luz é também bastante importante na identificação mineral, pois o seu valor pode ser diretamente calculado na lâmina delgada através da estimativa por comparação com o meio de montagem (Raith *et al* 2012).

Na observação dos minerais opacos foi utilizada a microscopia em luz refletida e devem ser considerados os quatro tipos principais de propriedades qualitativas, as propriedades óticas, as propriedades dependentes da dureza, as propriedades texturais e as propriedades estruturais e morfológicas. Neste sentido, descrevemos a seguir cada uma destas propriedades, tal como cada um dos seus componentes.

As propriedades óticas podem ser englobadas em dois grupos dependendo do tipo de observação efetuado, quando a observação se realiza em luz polarizada plana (nicóis paralelos) ou em luz polarizada cruzada (nicóis cruzados). Em nicóis paralelos devem-se considerar fatores como a cor, o poder refletor e o pleocroísmo. Deste modo, quando nos centramos no aspeto da cor, devemos perceber que apenas uma pequena parte dos minerais opacos é distintamente colorido, pelo que esta característica depende da iluminação, do próprio observador e dos minerais envolventes. Assim, deveremos descrever a cor dos minerais por comparação (Uytenbogaardt e Burke 1985; Picot e Johan 1977). Por outro lado, o poder refletor é um aspeto que pode ser quantificado, podendo recorrer-se à observação do brilho para comparar com os minerais de referência. Por fim, o pleocroísmo corresponde à variação da cor, aquando da variação

da orientação dos cristais de um determinado mineral (Dória e Marques 2008). Na observação em nicóis cruzados requerem especial atenção dois aspetos: anisotropia e reflexões internas. A anisotropia é uma propriedade que realça a mudança da cor ou tonalidade em função da orientação, podendo-se classificar a sua intensidade numa escala que varia entre muito fraca a muito forte. As reflexões internas evidenciam a capacidade que os minerais transparentes e translúcidos têm em se deixar atravessar pela luz incidente. Deste modo, os raios são refletidos pelas fraturas, pelas inclusões, pelos defeitos da rede cristalina, descontinuidades e limites entre minerais, podendo estas dissimular as cores de anisotropia (Dória e Marques 2008).

As propriedades dependentes da dureza, que podem ser observadas em nicóis paralelos, refletem a resistência que um determinado mineral tem ao processo de polimento da lâmina. Desta forma, pode-se determinar a dureza relativa de um mineral pela observação da linha de Kalb por um processo análogo à franja de Becke (Craig e Vaughan 1994).

Outras propriedades que devem ser consideradas são as propriedades estruturais e morfológicas. Estas dependem da estrutura cristalina dos minerais em observação e entre elas compreendem a forma, o hábito, a partição e clivagem, pelo que estas duas últimas não são observáveis em secções polidas. O efeito das clivagens poderá produzir arrancamentos, isto se as direções destas se intersectarem.

Por último, o aspeto textural dos minerais é também de elevada importância visto que a interpretação das relações espaciais entre os grãos, ou seja, a sua textura é um dos aspetos mais difíceis aquando do estudo das rochas e minerais (Barton 1991). Com o estudo desta propriedade podemos ter indicações dos processos iniciais de deposição, assim como, dos eventos subsequentes, como a alteração meteórica, oxidação e cimentação, sendo estes de elevado interesse para o nosso estudo. Além disso, do ponto de vista teórico esta é uma propriedade indispensável na identificação do tipo de paragénese de um depósito mineral podendo tornar-se imprescindível nas fases de exploração e beneficiação de um minério (Dória e Marques 2008).

De acordo com o descrito anteriormente, em relação às propriedades microscópicas, denota-se que a microscopia ótica é um método primordial no estudo de mineralizações e dos seus envolventes. Assim, neste estudo deu-se preferência a este método.

4.2.3. Microscopia Eletrónica de Varrimento

No sentido de aumentar a escala de observação deste estudo, assim como, o grau de resolução, procedeu-se ao estudo de áreas previamente selecionadas das lâminas delgadas polidas em microscopia eletrónica de varrimento. Esta técnica é baseada na análise de eletrões que, após a incidência de um feixe, um feixe de eletrões, analisa os eletrões que são expulsos da superfície, isto é, são contados em detetores. Este tipo de microscopia funciona em termos geométricos, de uma maneira muito semelhante à microscopia ótica de luz refletida.

Neste estudo foi utilizado no CEMUP o Microscópio Eletrónico de Varrimento ambiental, de alta resolução (*Schottky*), com Microanálise por Raios-X e Análise de Padrões de Difração de Eletrões Retrodifundidos: Quanta 400FEG ESEM / EDAX Genesis X4M. Para a utilização deste equipamento as amostras foram revestidas com filme fino de carbono, por vaporização, utilizando o equipamento JEOL JEE – 4X *Vacuum Evaporator*.

Na microscopia eletrónica de varrimento (MEV) podemos não só contar os eletrões, como também medir a própria energia que aparece no momento em que esses eletrões se afastam da superfície, pelo que esta pode ser medida sob a forma de calor ou sob a forma de comprimento de onda, isto é, o comprimento de onda da radiação emitida. Os modos que podem ser utilizados na microscopia eletrónica de varrimento são os eletrões retrodifundidos, os eletrões secundários e a dispersão de energia (Dedavid *et al* 2007).

A imagem em que os eletrões refletem na superfície e se espalham designa-se por imagem de eletrões retrodifundidos e, portanto, o modo de eletrões retrodifundidos (MEV ER). Neste modo, a quantidade de contagens de eletrões vai ter uma relação muito estreita com o peso atómico do elemento que estiver na superfície, isto é, numa superfície polida se tivermos elementos de alto peso atómico o número de eletrões retrodifundidos é muito superior ao de um elemento de baixo peso atómico, em consequência os detetores vão ter muito mais contagens a partir de uma fase com elementos de alto peso atómico do que uma fase de baixo peso atómico. A imagem correspondente a este modo conta os impulsos que chegam, ou seja, uma fase que na superfície tem elementos de mais alto peso atómico vai ser muito mais brilhante do que uma fase que na superfície tem elementos de menor peso atómico. Assim, numa imagem de eletrões retrodifundidos, as fases com predominância de elementos de alto peso atómico são muito mais brilhantes do que as outras, numa fotografia estes são muito mais brancos e, conseqüentemente, uma imagem clara, pelo que esta é tanto mais clara quanto o alto peso atómico do elemento preponderante. Pelo contrário,

quando o elemento preponderante é de baixo peso atômico temos uma imagem escura. Com estas imagens surge um contraste enorme, sendo este contraste o que se vê em elétrons retrodifundidos designando-se por contraste de número atômico ou peso atômico ou, simplesmente contraste de fase. O contraste de fase que é possível observar com o MEV ER permite ver intercrescimentos, exsoluções e todas as geometrias que se usem das relações de nucleação e crescimento cristalino. Contudo, dada a sua limitação, para entender o sistema é necessário fazer o percurso todo, desde o campo até ao que apenas é observado ao microscópio eletrónico (Dedavid *et al* 2007).

Por outro lado, a imagem em que os elétrons vão refletir em todas as superfícies da amostra e, portanto, vai haver um emaranhado de trajetórias é a imagem de elétrons secundários (modo de elétrons secundários – MEV ES). Deste modo para se observarem os elétrons secundários não se pode polir a superfície, porque em modo de elétrons secundários a superfície polida não dá contraste, uma vez que, os elétrons vão refletir sobre a superfície de igual forma. Assim, se a superfície for homogeneizada o que estaremos a ver não é a diferença de fase, mas sim diferenças de reação ao polimento por parte das fases. Neste caso, se aplicamos o MEV ES a um fragmento, tanto a morfologia dos cristais como o tipo de clivagem aparecem de forma exuberante. Tal sucede, porque as imagens do MEV ER dizem respeito a duas dimensões, à superfície polida, logo temos que ter o espécime em superfície polida, enquanto as imagens do MEV ES dão acesso a três dimensões e o espécime tem que ser um fragmento ou uma partícula. Assim, as imagens de MEV ES não são imagens de contraste de fase, mas sim imagens topográficas. Como é fácil compreender, este modo não poderá ser utilizado no nosso estudo, pois como é dito anteriormente este não pode ser utilizado em amostras polidas (Dedavid *et al* 2007).

No modo de análise de dispersão de energia, ou de microanálise de raio-X, a amostra depois de bombardeada por um feixe de elétrons emite raios-X de uma zona microscópica, estes são característicos e específicos de um determinado número atômico. Desta forma, o seu comprimento de onda ou a sua energia dispersa podem ser utilizados para identificar o elemento que o está a emitir. Este tipo de análise pode funcionar de duas formas, por varrimento em que toda a superfície da amostra é varrida por um feixe de energia e, assim é feita uma leitura geral da amostra, ou então por pontos em que apenas um local é estudado. Com este modo é possível medir as quantidades relativas dos elementos que estão em proporção na amostra, fazendo assim uma análise semi-quantitativa da fase mineral através dos espectros de dispersão de energia. O espectro assim obtido é comparado com os espectros padrão, permitindo identificar os elementos maiores e definir as suas quantidades relativas pela relação de

picos, ou seja, pela altura dos picos poderá se ter uma ideia da quantidade relativa do elemento. Contudo, isto tem pouco significado podendo em princípio dizer-se que o mineral que tem os picos mais altos corresponde ao mineral que tem maiores percentagens e, assim hierarquizá-los (Dedavid *et al* 2007).

Pelo descrito anteriormente, verifica-se que os métodos de investigação adotados são os mais adequados para a concretização dos objetivos a que nos propusemos.

Resultados e Discussão



5. Resultados e Discussão

Nesta secção serão descritos de forma pormenorizada os resultados obtidos neste estudo, sendo estes divididos em Log de Sondagem, estudo petrográfico e mineralógico, pelo que a partir destas deduziu-se a sequência de deposição mineral.

5.1. Log de Sondagem

A apresentação do log de sondagem inclui o log de sondagem completo (anexo 1) e uma síntese que permitiu elaborar uma análise pormenorizada de todos os aspetos relevantes do log. Como referido anteriormente esta análise foi realizada à sondagem Bo_5/14, tendo sido esta efetuada com um azimute N 110° e uma inclinação -60°. Na figura 5.1 pode ser observada uma secção geológica onde está representada a sondagem estudada.

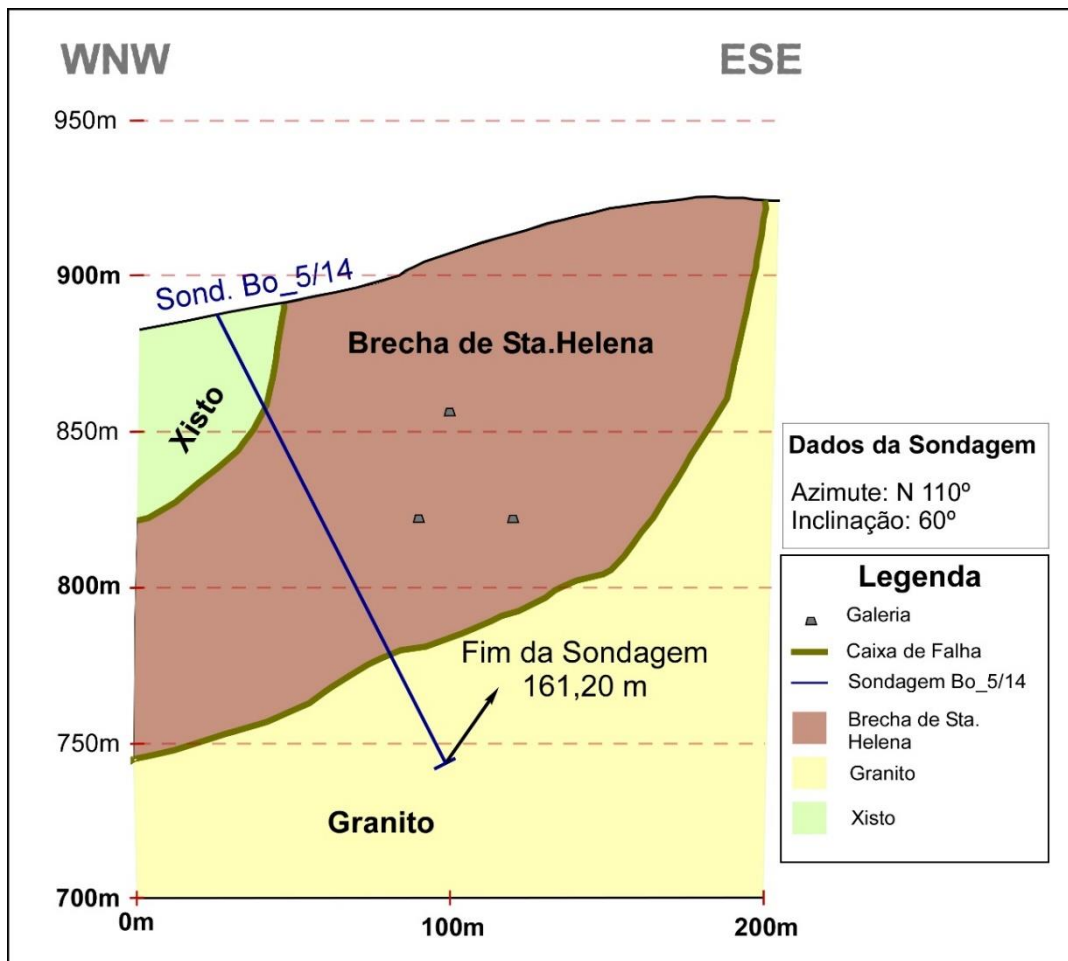


Figura 5.1: Esquema exemplificativo do contacto da brecha de Sta. Helena com as rochas encaixantes, assim como da sondagem Bo_5/14. Imagem realizada com o recurso ao *software* Canvas.

O estudo do log de sondagem divide-se em, caracterização das litologias observadas, mineralogia e em amostras recolhidas (figura 5.2).

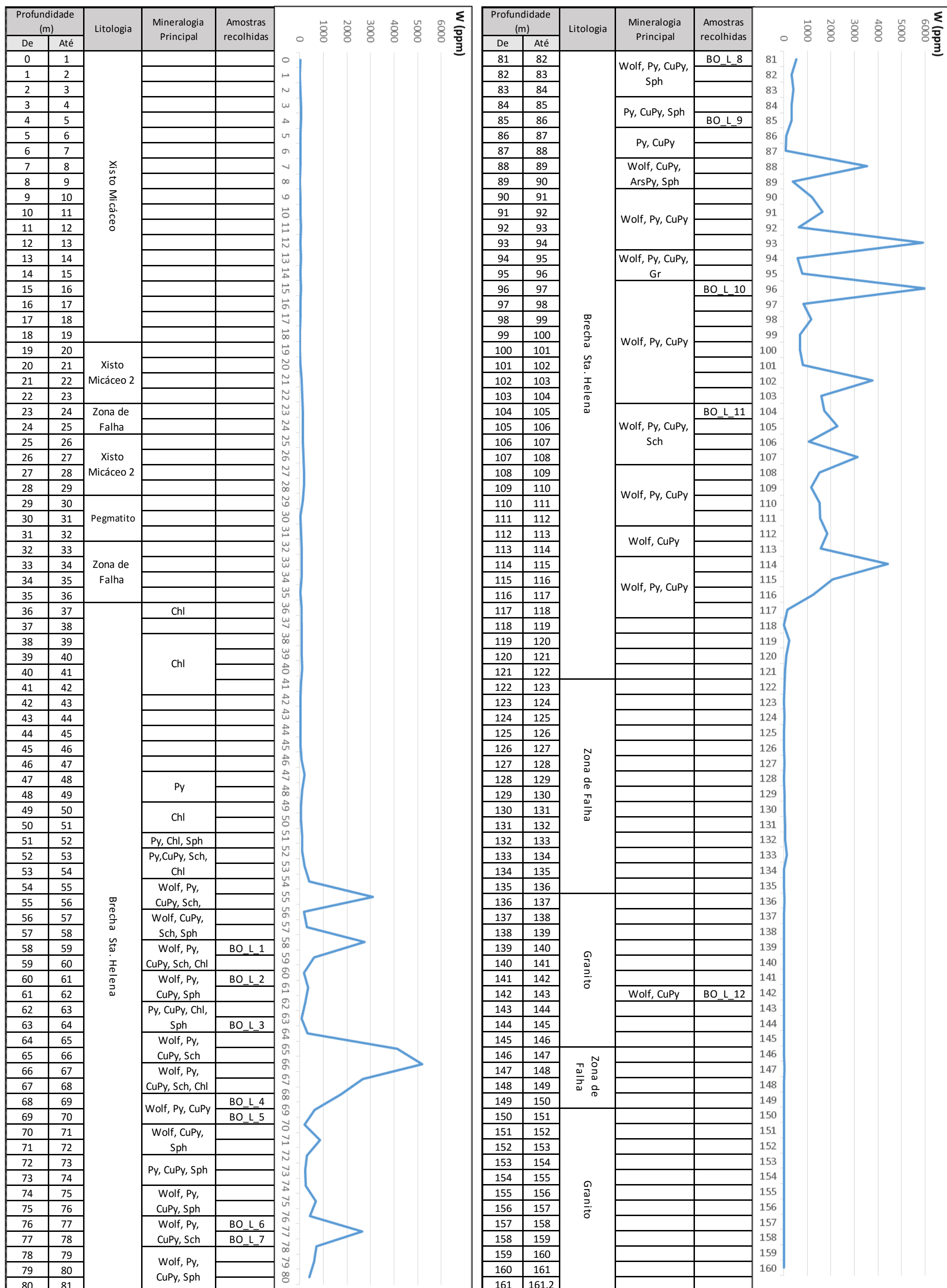


Figura 5.4: Síntese do Log de Sondagem, no qual está ilustrado as litologias, a mineralogia principal e teores de tungstênio em ppm.

O log de sondagem foi estruturado de modo a englobar as litologias, aspetos geológicos particulares (filonetes, “boxwork”, fraturas, etc.), a mineralogia, o log pictorial e local das amostras recolhidas, em função da profundidade (m). Desta forma, as litologias serviram para distinguir quer os diferentes tipos de rochas presentes, quer no encaixante da brecha de Sta. Helena, quer nos elementos que a constituem. Por sua vez, em estruturas geológicas faz-se a sua identificação, assim como, a sua caracterização pormenorizada. A mineralogia constituiu um aspeto fundamental neste estudo, uma vez que, permitiu identificar os principais minerais, com destaque para os minérios, presentes na brecha de Sta. Helena. O log pictorial consiste numa simplificação gráfica e colorida da informação obtida no log de sondagem. Por fim, a elaboração e análise do log em combinação com os dados analíticos relativos aos teores em tungsténio (W) permitiu a recolha de amostras que foram depois, sujeitas a um estudo petrográfico, mais concretamente a uma análise macroscópica e microscópica.

5.1.1. Caracterização das litologias observadas

Com a elaboração do log sondagem foi possível identificar três litologias dominantes. A primeira destas tem início aos 0 metros da sondagem e prolonga-se até aos 29 metros, consistindo num xisto bandado ou “listrado” com intercalações de micas e quartzo de segregação metamórfica. Esta rocha apresenta-se bastante fraturada e argilizada, apresentando também algumas zonas com bastantes óxidos corados. No entanto, os xistos permaneceram intactos, sendo isto indicador da presença de alterações hidrotermais, nomeadamente silicificação. Na figura 5.3 é possível observar uma amostra desta rocha.



Figura 5.5: Fotografia de um exemplo da amostra representativa do xisto micáceo, rocha encaixante da brecha de Sta. Helena.

Esta litologia, encaixante da brecha, sofreu uma pequena alteração nas proximidades desta, ocorrendo uma zona de transição que apresenta uma maior silicificação. Tal ocorre desde os 19 até aos 29 metros, podendo ser observado um exemplo na figura 5.4.



Figura 5.6: Fotografia de um exemplo da amostra representativa do xisto micáceo da zona de transição..

De seguida e, como se pode observar na figura 5.2, surge um pegmatito granítico argilizado e bastante fraturado desde os 29 até aos 32 metros, observando-se, contudo, pouco alterado em alguns locais (boa recuperação). Na figura 5.5 pode-se observar um exemplo da litologia descrita.



Figura 5.7: Fotografia de um exemplo da amostra representativa do pegmatito presente na brecha de Sta. Helena.

Posteriormente e, de acordo com o log de sondagem, surge uma caixa de falha desde os 32 até aos 36 metros. De seguida e até aos 122 m ocorre a brecha de Sta. Helena. Contudo é de referir que o contacto da brecha com o xisto encaixante (encosto poente) é também marcado por quartzo maciço bastante fraturado (“cavalão”). A brecha caracteriza-se por apresentar elementos angulares de granito, tonalito, pegmatito e xisto. Estes elementos podem variar o seu tamanho desde alguns centímetros até vários metros. Os elementos desta brecha são cimentados por quartzo. A figura 5.6 ilustra um exemplo desta brecha.



Figura 5.8: Fotografia de um exemplo da amostra representativa da brecha de Sta. Helena (elementos de granitos e de xisto cimentados por quartzo).

Por último, a partir dos 136 metros até ao final da sondagem(161,20 m), surge uma nova litologia, um granito de duas micas equigranular que exibe alguma clorite vermicular, assim como, pequenos filonetes de quartzo. Estes filonetes vão-se extinguindo em profundidade, o que indica que também esta rocha apresenta uma zona de transição (figura 5.7). Contudo é de referir que ocorrem duas caixas de falha, uma desde os 122 até aos 136 metros e outra dos 146 até aos 150 metros, correspondendo a primeira ao limite nascente da brecha, pois ocorre também quartzo leitoso.



Figura 5.9: Fotografia de um exemplo da amostra representativa do granito encaixante.

5.1.2. Mineralogia

A realização do log de sondagem tinha o intuito de analisar os melhores locais para a realização da amostragem. Assim, o estudo mineralógico tornou-se imprescindível para a realização deste objetivo. Como tal, para a sua realização foi efetuada uma

observação macroscópica das rochas e, assim foram identificados os principais minerais característicos da brecha de Sta. Helena.


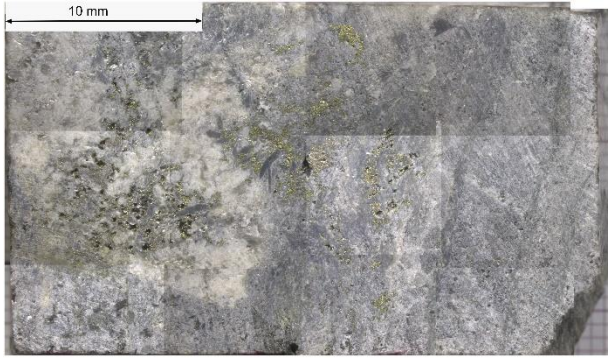

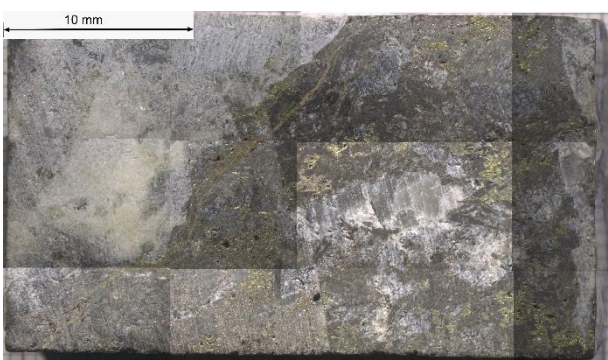

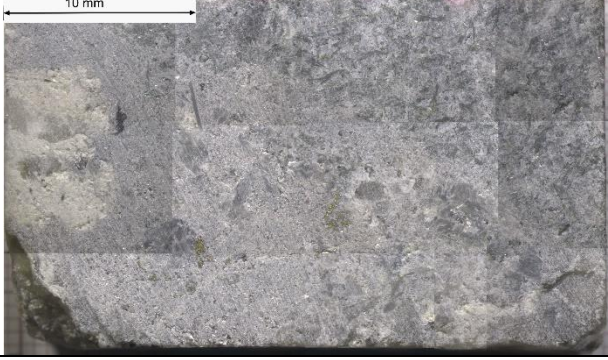
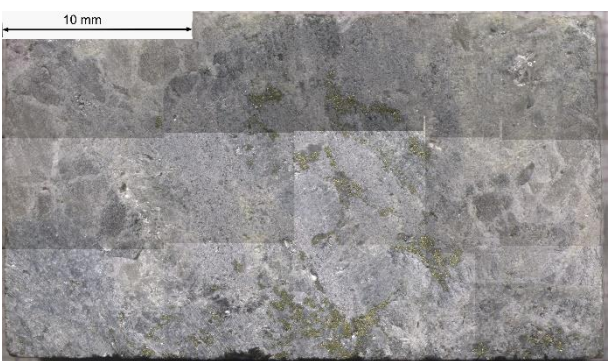



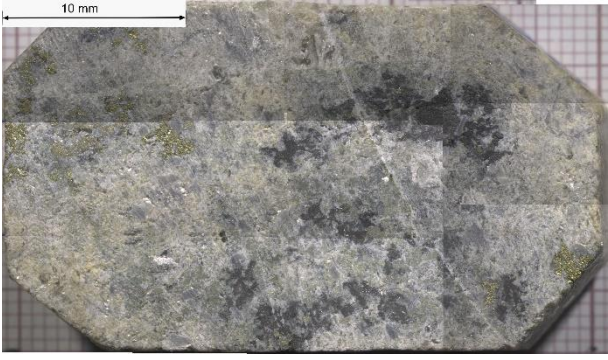

Os principais minerais identificados foram além do quartzo, a volframite, a clorite, a calcopirite, a pirite, a esfalerite e a scheelite. Como se pode observar pela figura 5.2, nos primeiros metros da brecha, ou seja, dos 36 aos 51 metros o mineral principal é, essencialmente a clorite. Por outro lado, verifica-se também que a esfalerite ocorre sempre acompanhada da calcopirite e que a scheelite ocorre quando está presente a volframite. Por fim é ainda de reparar que nos últimos metros do corpo brechoide em estudo, dos 90 aos 118 metros, os minerais principais são, essencialmente a volframite, a pirite e a calcopirite.

5.2. Amostragem

A recolha de amostras foi fundamental para a análise microscópica, uma vez que, deveria caracterizar a especificidade da brecha de Sta. Helena. Assim, os critérios utilizados para a seleção das amostras foram a diversidade mineralógica e o teor em tungsténio da brecha de Sta. Helena, tal pode ser observado na figura 5.2. De modo a ilustrar as amostras recolhidas é apresentado o estampa 8.1, no qual podem ser observadas fotografias à lupa.

Estampa 5.1: Conjunto de fotografias das amostras recolhidas observadas à lupa.

Amostras recolhidas

Bo_L_1 Profundidade: 58,80 m - 59,00 m 	Bo_L_2 Profundidade: 60,73 m - 60,76 m 
Bo_L_3 Profundidade: 62,92 m - 62,96 m 	Bo_L_4 Profundidade: 68,48 m - 68,52 m 
Bo_L_5 Profundidade: 69,12 m - 69,15 m 	Bo_L_6 Profundidade: 76,75 m - 76,76 m 
Bo_L_7 Profundidade: 77,93 m - 77,97 m 	Bo_L_8 Profundidade: 81,57 m - 81,64 m 
Bo_L_9 Profundidade: 85,33 m - 85,37 m 	Bo_L_10 Profundidade: 96,07 m - 96,14 m 
Bo_L_11 Profundidade: 104,25 m - 104,30 m 	Bo_L_12 Profundidade: 142,10 m - 142,12 m 

Da análise da estampa 8.1 podemos verificar que, à exceção da amostra Bo_L_12 que é do granito encaixante, as outras amostras são da brecha. Deste modo, a Bo_L_1, a Bo_L_2, a Bo_L_6 e a Bo_L_7 são de elementos graníticos, com moscovitização evidente e com vários filonetes de quartzo multidirecionais. Por sua vez, a Bo_L_3 é composta por um granito mais greisenizado, podendo-se encontrar diversos veios multidirecionais de quartzo. A Bo_L_4 é uma amostra em que se identificam duas zonas, uma de pegmatito, onde se encontram diversos filonetes multidirecionais de quartzo, e uma outra que se caracteriza pela presença de um aglomerado lamelar de biotite. A amostra Bo_L_5 é de uma rocha xistenta com uma grande quantidade de biotite, sendo visível um filonete preenchido com minerais metálicos. Por outro lado, as amostras Bo_L_8 e a Bo_L_9 são constituídas por granito com oxidação, que confere cor acastanhada, assim como, por vários filonetes de quartzo multidirecionais. A Bo_L_10 consiste em granito não alterado, em que são evidentes vários filonetes de quartzo multidirecionais. No caso da Bo_L_11, a amostra é composta por granito com aglomerados de clorite, assim como, por vários filonetes de quartzo multidirecionais, de sublinhar que há mineralização metálica e que se encontra em maior quantidade nos locais com clorite. Por fim, a Bo_L_12 é constituída por uma rocha granítica com um filonete de quartzo, apresentando este algum preenchimento de clorite.

5.3. Estudo Petrográfico e Mineralógico

Como referido anteriormente, este estudo englobou uma análise ao microscópio ótico e outra ao eletrónico de varrimento. Estes métodos permitiram dividir os resultados obtidos em vários grupos de minerais. Os resultados obtidos pelo estudo petrográfico às amostras recolhidas pode ser consultado na sua totalidade no anexo 2. Assim, o estudo será dividido em minerais metálicos e minerais não metálicos.

5.3.1. Minerais Metálicos

O estudo petrográfico e mineralógico dos minerais metálicos presentes na brecha de Sta. Helena permitiu identificar duas classes mineralógicas nomeadamente os tungstatos e os sulfuretos.

Tungstatos

Neste estudo foram identificados na brecha de Sta. Helena, dois minerais pertencentes à classe dos tungstatos, a volframite e a scheelite. A volframite foi, destes, o que apresentou maior predominância. Deste modo, a este mineral será dado maior ênfase durante o trabalho, uma vez que, constitui um dos alvos principais do projeto no âmbito do qual se inseriu o estágio curricular. Tal sucede uma vez que a sondagem que descrevemos faz parte de um programa de reconhecimento da brecha como uma potencial fonte de minério de tungsténio.

De acordo com o referido anteriormente, ilustra-se o seguinte conjunto de imagens relacionado com a volframite (figura 5.8).

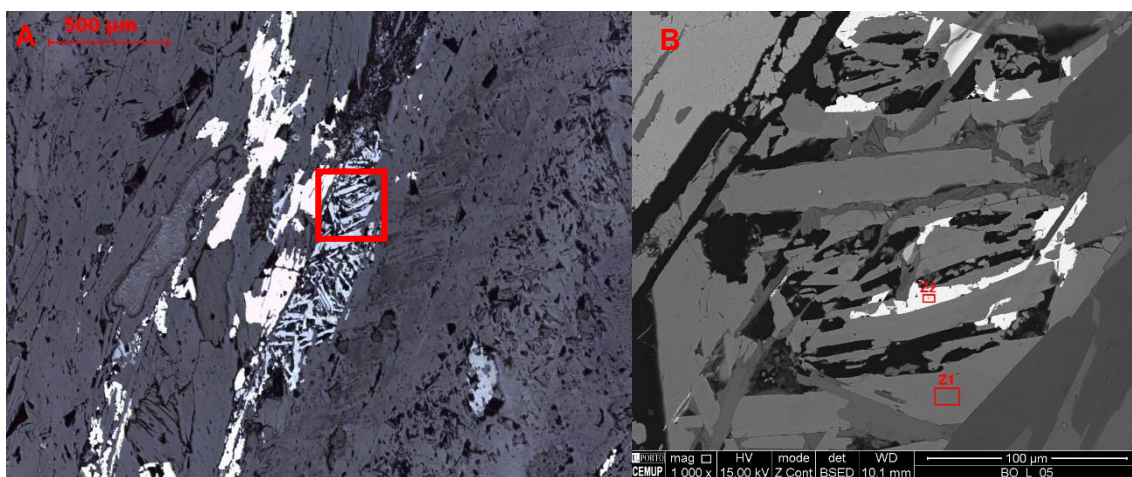


Figura 5.10: Imagens que ilustram a associação entre a volframite e ilmenite, ao microscópio ótico de luz refletida em nicóis paralelos (A) e ao microscópio eletrónico de varrimento (B).

A partir do estudo da imagem A pertencente à figura 5.8, é fácil perceber a presença de um cristal de volframite, estando este associado com um outro mineral, a ilmenite. Com mais pormenor, a imagem B denota a associação entre os cristais alongados de volframite (Z2) com cristais de ilmenite (Z1). Esta associação é indicadora da presença de óxidos de titânio durante os estágios de mineralização deste corpo brechoide.

Além do referido anteriormente, a volframite sofre também um processo de substituição por parte de sulfuretos como a calcopirite e pirite, tal é visível na figura 5.9.

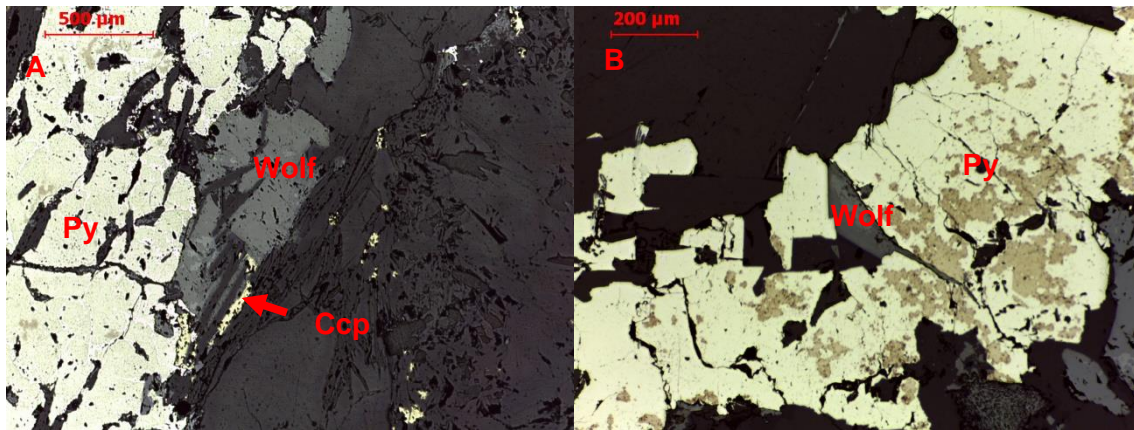


Figura 5.11: Imagem que ilustra a relação entre a volframite e alguns sulfuretos, ao microscópio ótico de luz refletida em nicóis paralelos (A e B).

Na figura 5.9A pode-se observar através do estudo ao microscópio ótico, um cristal de volframite cercado de cristais de pirite e calcopirite. Tal indica que o minério de tungsténio cristalizou antes do que os restantes. É ainda de salientar que este cristal de volframite apresenta alguns sinais de fraturação.

Da análise da imagem B da figura 5.9 pode-se perceber um cristal euédrico de volframite envolvido por um cristal de pirite, em que se observa um contacto bem definido. Tal indica que a volframite é anterior à pirite. Acresce ainda que, no seio do cristal de volframite se podem observar pequenos cristais de pirite, uma vez que, estes cristais cristalizaram nos locais livres da volframite (figura 5.10).

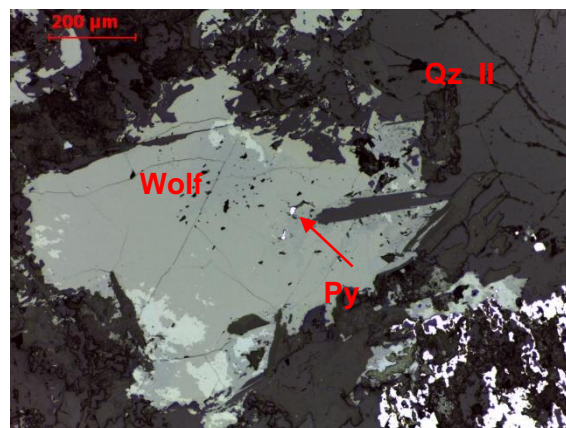


Figura 5.13: Imagem ilustrativa de cristais de pirite no seio da volframite, assim como, a sua associação com o quartzo de segunda geração. Imagem ao microscópio ótico de luz refletida em nicóis paralelos.

Ao contrário do que foi visto anteriormente, a volframite não se relaciona apenas com minerais metálicos, podendo ser observada em associação com minerais como a moscovite e a sericite. De notar que neste trabalho nos vamos referir como sericite, a uma mica branca de pequenas dimensões (figura 5.11). Pelo estudo desta imagem é perceptível que o cristal de volframite ocorre no interior de cristais de moscovite, sugerindo que esta é anterior à volframite. A partir da observação da imagem B é possível perceber que a mineralização de tungsténio se encontra associada à sericite. Tal é perceptível, uma vez que, esta mica branca pode ser observada a cercar os cristais de volframite, assim como, no seu interior.

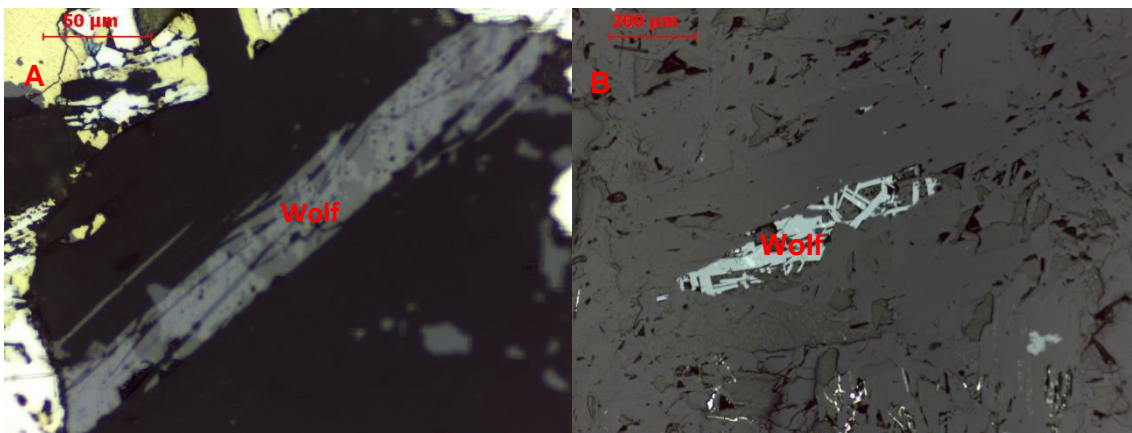


Figura 5.14: Imagem ilustrativa da relação entre os cristais de volframite com a moscovite (A) e com a sericite (B) ao microscópio ótico de luz refletida em nicóis paralelos.

Pode-se ainda acrescentar que pela observação das figuras 5.9 e 5.11 é possível inferir a ocorrência de duas gerações de volframite, a primeira de menores dimensões relacionada com a sericite e uma segunda maior que ocorre relacionada com a clorite.

Por último, no estudo dos tungstatos, verificou-se que além da volframite ocorre scheelite em que esta última substitui a primeira (figura 5.12 e 5.13).

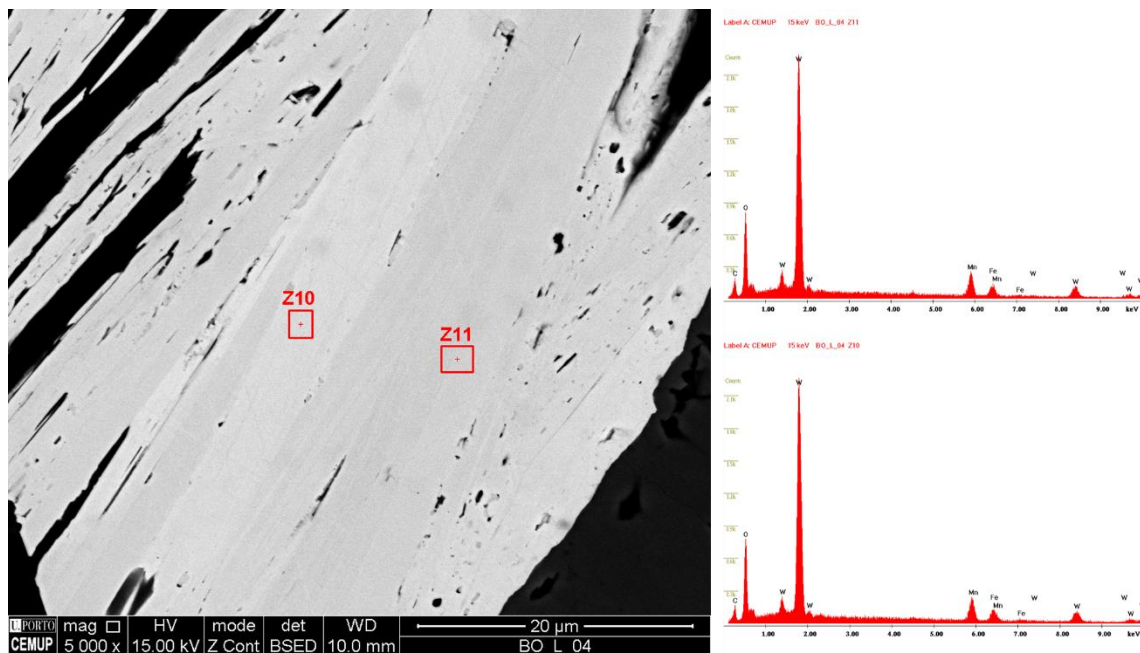


Figura 5.15: Imagem ilustrativa de um cristal de volframite e respetivos espetros, que demonstram a sua composição elemental. Imagem obtida ao microscópio eletrónico de varrimento.

A volframite evidencia uma composição volframítica, visto que a partir da observação dos espetros Z10 e Z11 da figura 5.12 é possível compreender que apresenta uma composição elemental rica em tungsténio (W), manganês (Mn) e ferro (Fe).

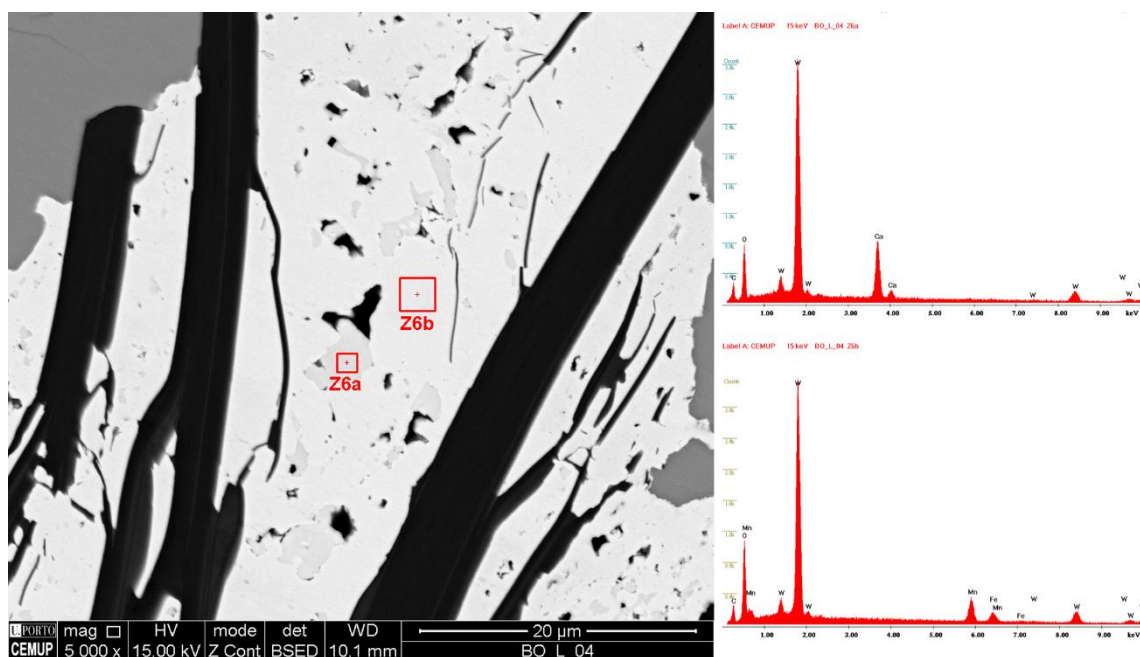


Figura 5.16: Imagem ilustrativa de cristais de volframite e scheelite com os respetivos espetros, que demonstram a sua composição elemental. Imagem obtida ao microscópio eletrónico de varrimento.

Na figura 5.13 pode se observar a associação de volframite (Z6b) e de scheelite (Z6a) sugerindo a posterioridade da scheelite em relação à volframite. É ainda de acrescentar pelo estudo desta figura que o cristal de volframite se apresenta fraturado.

Sulfuretos

A partir deste estudo percebeu-se que na brecha de Sta. Helena há uma grande variedade de sulfuretos, estando presentes calcopirite, esfalerite, pirite, galena, molibdenite, matildite, covelite, estanita e greenockite.

Neste estudo observou-se que os minerais de calcopirite e esfalerite são contemporâneos, tal como se ilustra na figura 5.14. Este facto foi deduzido através da observação de como os cristais deste conjunto de minerais se contactam entre si, uma vez que, se observa quer a calcopirite no seio da esfalerite como o inverso.

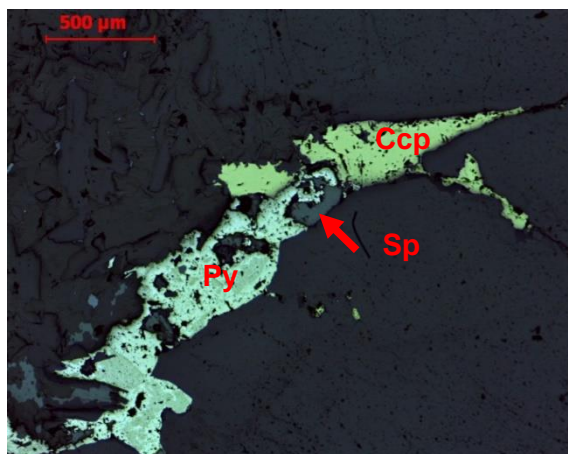


Figura 5.17: Imagem ilustrativa da associação entre sulfuretos ao microscópio óptico de luz refletida em nicóis paralelos.

Ainda em relação à calcopirite, na figura 5.15A pode-se observar que associados ao sulfureto ocorrem selénio, bismuto nativo, sulfossais de prata, galena e bismutinite. Além disto é também importante referir que em associação com a calcopirite está presente estanita. Este sulfureto ocorre no contacto entre a calcopirite e a galena, como se pode observar na figura 5.15B.

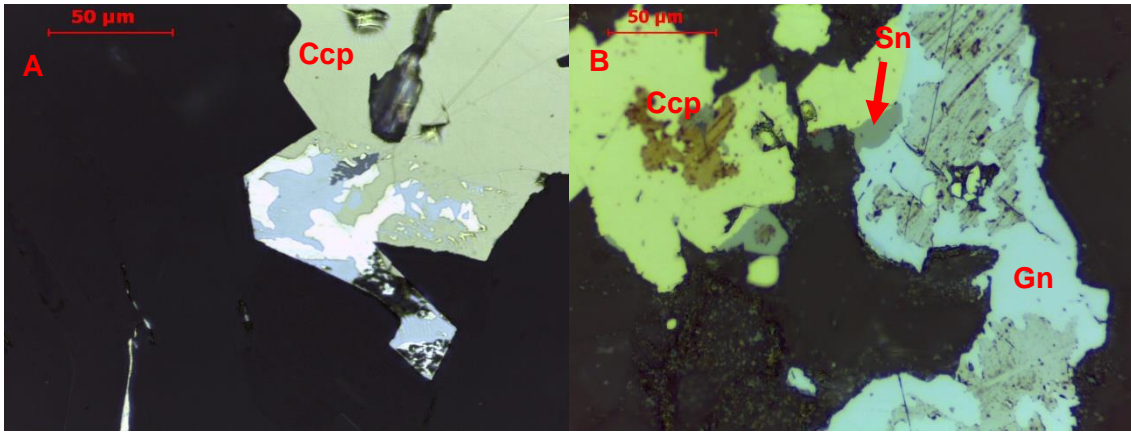


Figura 5.19: Imagem ilustrativa da cristalização dos fluidos resultantes da formação da calcopirite (A), assim como, da associação entre esta e a estanita (B). Imagens obtidas ao microscópio ótico de luz refletida em nicóis paralelos.

Além do referido anteriormente, a associação entre calcopirite (Z3) e esfalerite (Z2) sofreu um processo de alteração supergênica, como se observa pela figura 5.16. Nesta pode-se constatar que os minerais anteriormente referidos alteram-se em covelite (Z1).

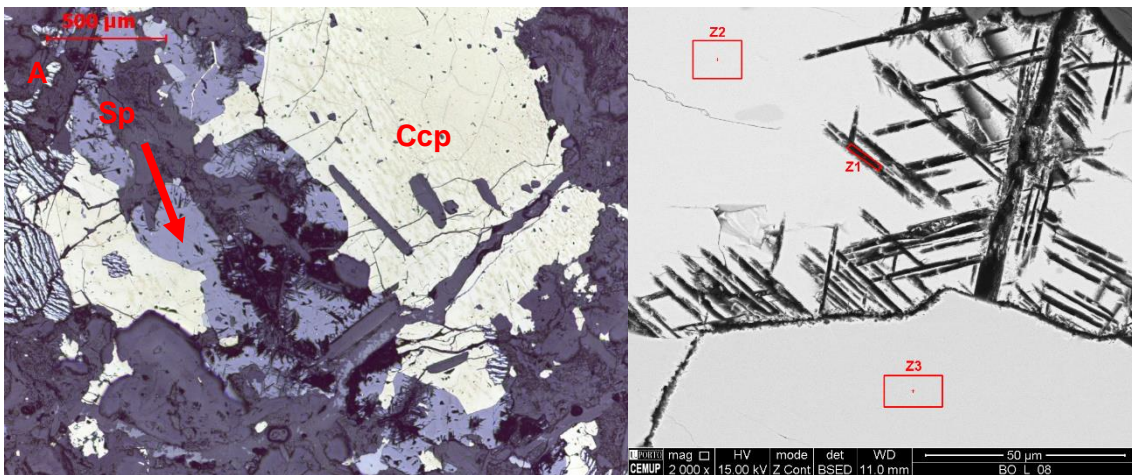


Figura 5.20: Imagens ilustrativas do processo de alteração da calcopirite em covelite, ao microscópio ótico de luz refletida em nicóis paralelos (A) e ao microscópio eletrônico de varrimento (B).

Como se referiu anteriormente, um outro sulfureto presente é a pirite, que ocorre em várias gerações. Estas distinguem-se pela forma dos seus cristais, em que a primeira geração apresenta cristais euédricos e a segunda e terceira apresentam cristais subédricos ou microcristalinos (figura 5.17A). Cronologicamente, os cristais da primeira geração são anteriores à calcopirite, visto que ocorrem no seio desta com formas bem definidas (figura 5.17A). Em relação aos cristais da segunda e terceira geração, estes podem também ser encontrados em filonetes, preenchendo fissuras no quartzo, moscovite e sericite (figura 5.17B).

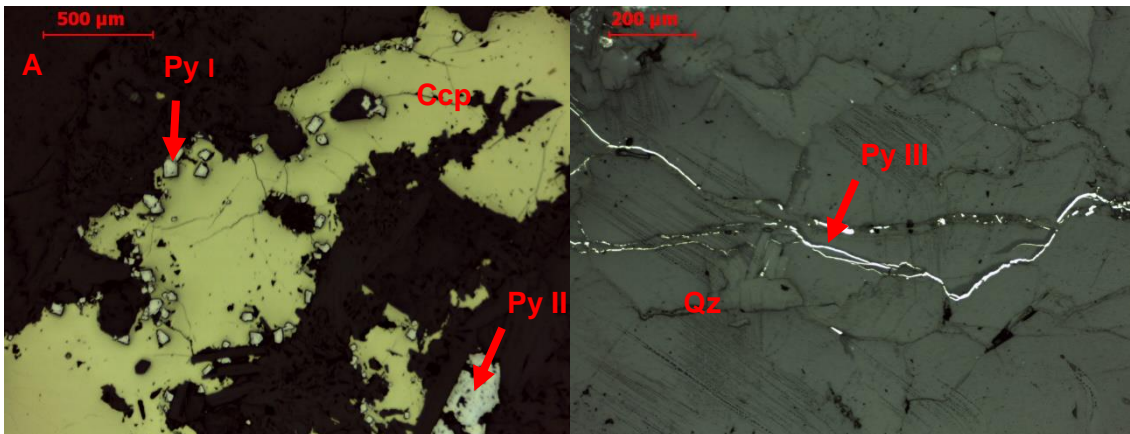


Figura 5.21: Imagens ilustrativas das várias gerações de pirite, ao microscópio ótico de luz refletida em nicóis paralelos.

A pirite sofreu um processo de alteração em marcassite (figura 5.18A). Além disto, em alguns cristais de pirite observa-se um fenómeno, no qual uma mica branca preenche as fraturas deste sulfureto (figura 5.18B).

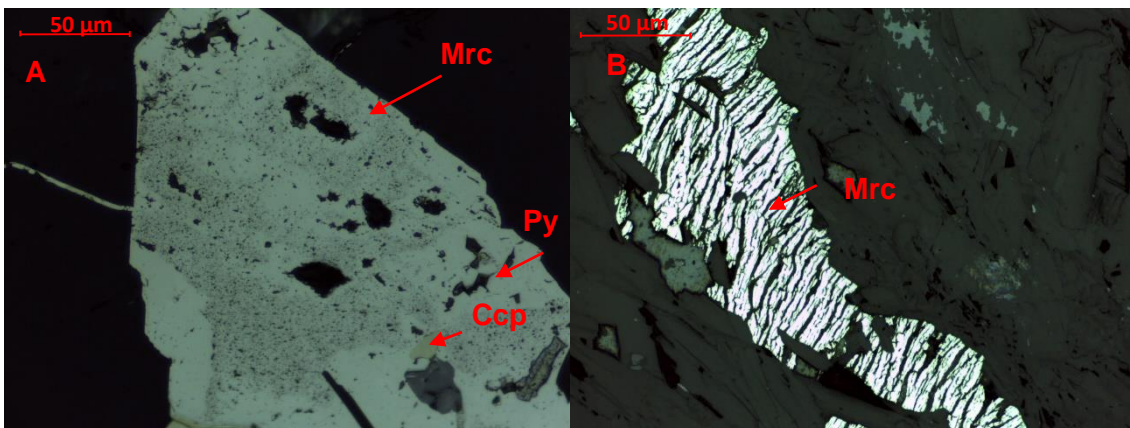


Figura 5.22: Imagens ilustrativas do processo de alteração da pirite em marcassite (A) e da sua fracturação com preenchimento de sericite (B). Imagens obtidas ao microscópio ótico de luz refletida em nicóis paralelos.

Um outro processo de alteração dos sulfuretos ocorre ao nível da galena, consistindo num fenómeno de piritização, pelo qual a galena é substituída por pirite microcristalina (figura 5.19A). Acresce ainda, em relação à galena, que este sulfureto é anterior à molibdenite, visto que se encontra no seu interior (figura 5.19B).

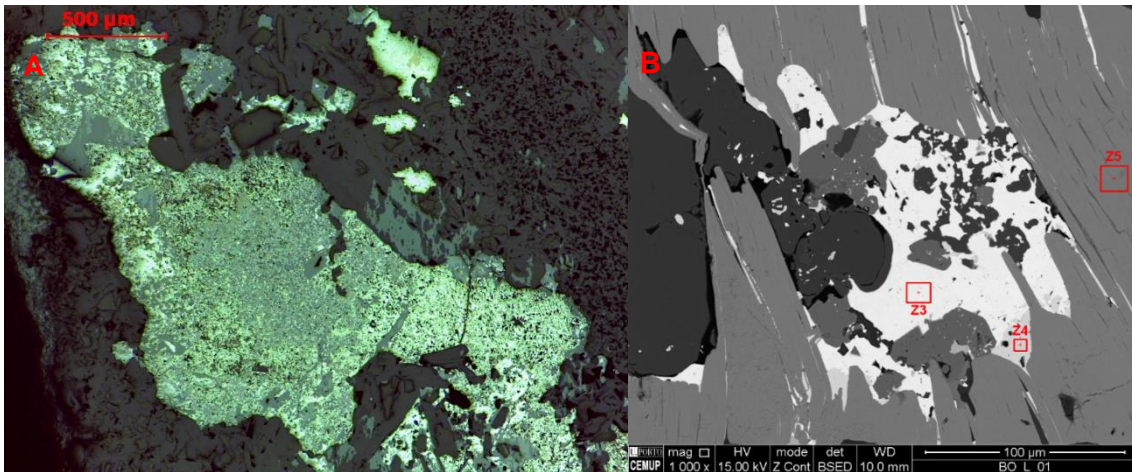


Figura 5.24: Imagens ilustrativas do processo de piritização da galena ao microscópio ótico de luz refletida em nicóis paralelos (A) e da sua relação com a molibdenite ao microscópio eletrónico de varrimento (B).

É ainda importante abordar na análise dos sulfuretos a molibdenite (Z8). Este mineral ocorre nos espaços livres da calcopirite, como se pode observar na figura 5.20A. Acresce ainda que, a molibdenite é anterior à matildite (Z9) e ao bismuto nativo (Z10), visto que estes podem ser encontrados no interior de fraturas na molibdenite (figura 5.20B).

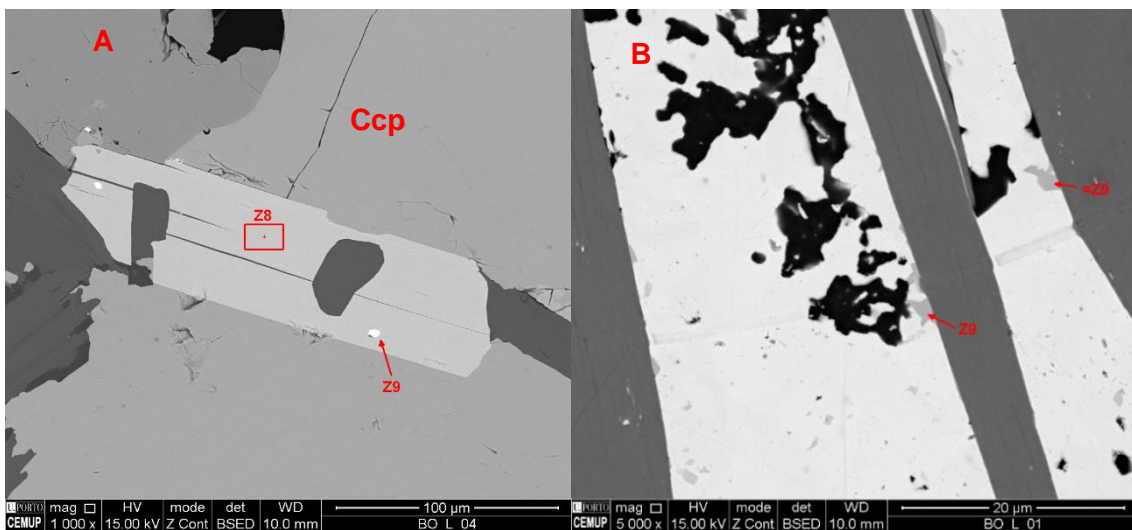


Figura 5.23: Imagens ilustrativas da relação entre a molibdenite (Z8) e a calcopirite (A) e entre esta e cristais de matildite (Z9) e bismuto nativo (Z10) (B), ao microscópio eletrónico de varrimento.

Por último, em relação aos sulfuretos, salienta-se a presença de greenockite (Z11), um sulfureto de cádmio que se encontra em pequenos cristais no interior da galena, tal como se pode observar na figura 5.21.

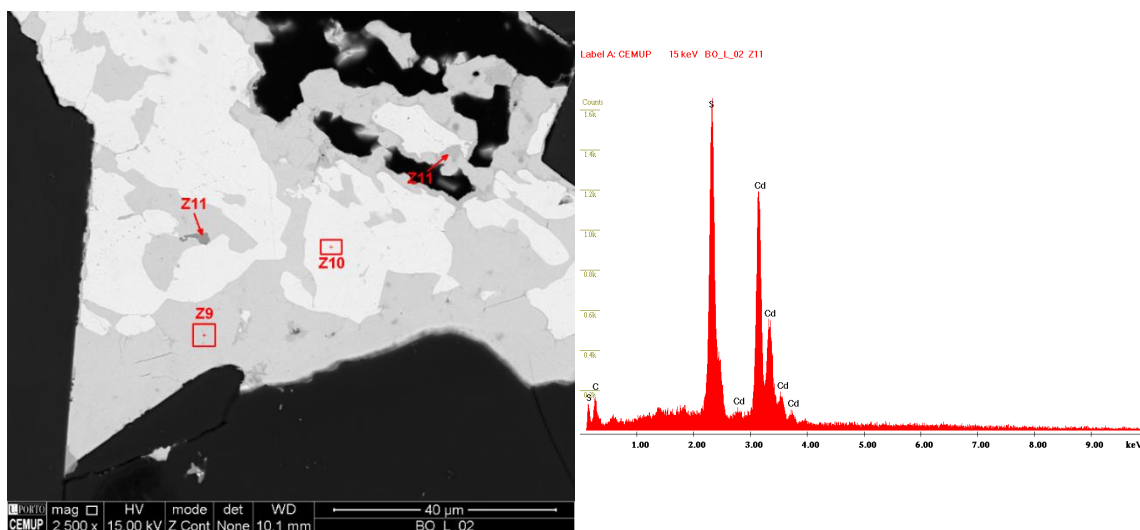


Figura 5.25: Imagem ilustrativa da relação entre os cristais de galena (Z9) e de greenockite (Z11) e, respetivo espectro elemental ao microscópio eletrónico de varrimento.

5.3.1. Minerais não Metálicos

No estudo petrográfico dos minerais não metálicos identificaram-se diversas fácies mineralógicas, estando englobados minerais como as micas brancas, a associação entre biotite e clorite, a plagioclase, fosfatos e o quartzo.

Quartzo

Na brecha de Sta. Helena, o quartzo é um elemento fundamental, uma vez que, serve como principal cimento aos elementos rochosos que compõe este corpo brechoide, como tal é imperativo o seu estudo. Assim, na análise ao microscópio ótico identificamos pelo menos três gerações deste mineral (figura 5.22B e figura 5.28). A primeira geração apresenta um hábito maciço leitoso e sem mineralização evidente (figura 5.22A). Por sua vez, a segunda geração deste mineral terá ocorrido contemporaneamente à cristalização da moscovite, uma vez que, se apresenta bem definido o contacto entre estes dois minerais. A segunda geração de quartzo é ainda contemporânea da primeira mineralização tungstífera. Acresce ainda que, a terceira geração serviu de cimento aos elementos que compõe o objeto de estudo (figura 5.22B).

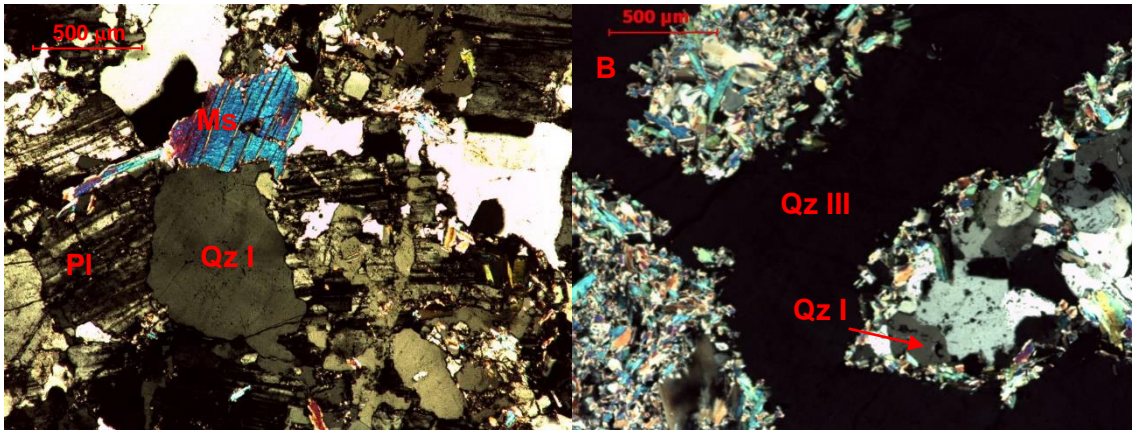


Figura 5.26: Imagens ilustrativas das várias gerações de quartzo (B), assim como, das suas relações com outros minerais (A). Imagens obtidas ao microscópio ótico de luz transmitida em nicóis cruzados.

No estudo do quartzo da segunda geração deve-se ainda referir que foram observados no seu interior vários cristais de cassiterite (Z1), estando estes associados com cristais de ilmenite (Z2), tal como pode ser observado na figura 5.23.



Figura 5.28: Imagens ilustrativas da relação entre cristais de quartzo, cassiterite (Z1) e ilmenite (Z2), ao microscópio ótico de luz refletida em nicóis paralelos (A) e microscópio eletrónico de varrimento (B).

Micas Brancas

Nas micas brancas incluímos a moscovite e a sericite, assumindo como principal fator de distinção entre ambas a sua dimensão. Deste modo, a moscovite caracteriza-se por apresentar maiores dimensões do que a sericite. Assim, a partir da observação destes minerais verificou-se que a moscovite é anterior à sericite (figura 5.24A), tal como aos minerais metálicos (figura 5.24B).

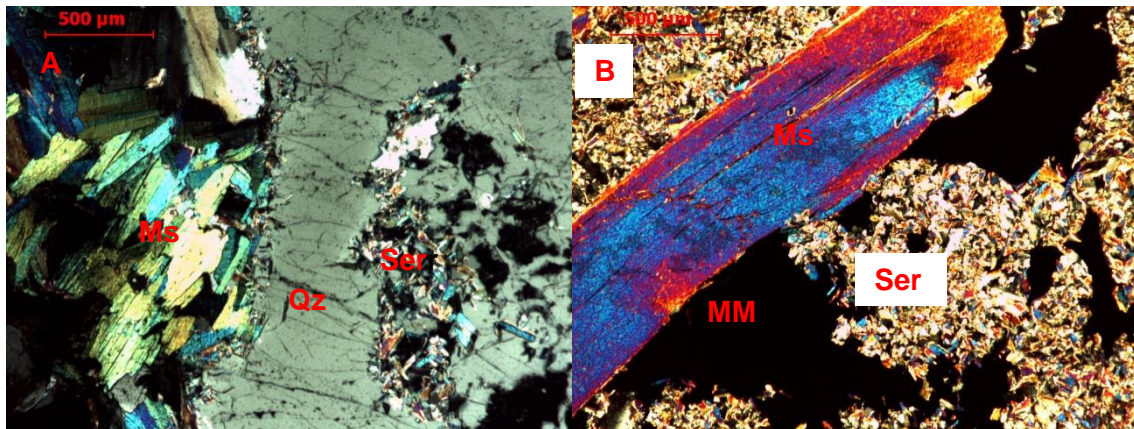


Figura 5.29: Imagens ilustrativas da relação entre as micas brancas (A), assim como, entre estas e os minerais metálicos (B) ao microscópio ótico de luz transmitida em nicóis cruzados.

Acresce ainda, em relação às micas brancas, que ocorrem cristais de ilmenite ao longo dos planos de clivagem da moscovite (figura 5.25). Tal indicia que a moscovite condicionou a cristalização da ilmenite, sendo assim anterior ao mineral de titânio.

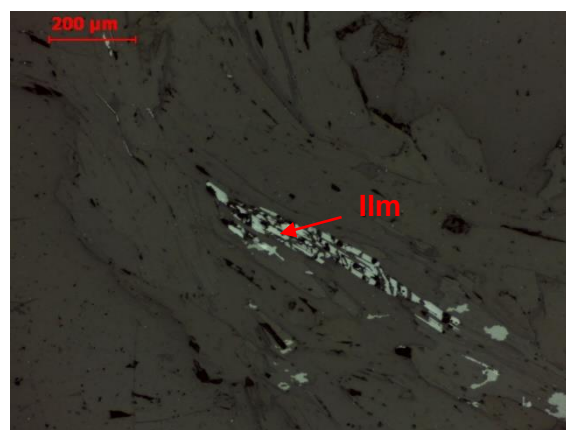


Figura 5.30: Imagem ilustrativa da relação entre os cristais de ilmenite e moscovite ao microscópio ótico de luz refletida em nicóis paralelos.

Biotite-Clorite

A associação mineralógica entre estes minerais deve-se a um processo de alteração hidrotermal que leva à cloritização da biotite, este fenómeno pode ser observado na figura 5.26A. A clorite assim formada apresenta um aspeto lamelar (Chl l), no entanto também ocorre uma outra variedade de clorite, a vermicular (Chl v). A clorite lamelar, que foi originada a partir da biotite, ocorre em geral associada a sulfuretos, o que indicia que se formou contemporaneamente com eles. Por sua vez, denota-se que a clorite vermicular é cronologicamente posterior aos principais sulfuretos (calcopirite e pirite) (figura 5.26B).

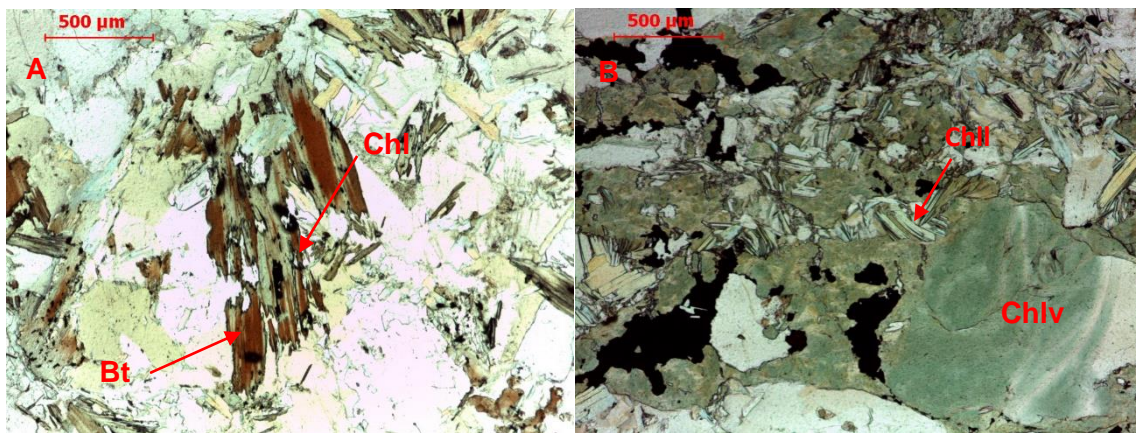


Figura 5.31: Imagens ilustrativas do processo de cloritização (A) e das variedades de clorite e sua relação com os sulfuretos (B). Imagens obtidas ao microscópio ótico de luz transmitida em nicóis paralelos.

Além do referido anteriormente acerca da associação mineralógica biotite/clorite lamelar é ainda importante salientar que este conjunto de minerais condicionou a cristalização de um variado número de minerais metálicos, nomeadamente minerais como a volframite, calcopirite, pirite e esfalerite (figura 5.27) que são posteriores sendo provável que a cloritização seja contemporânea da deposição dos sulfuretos.

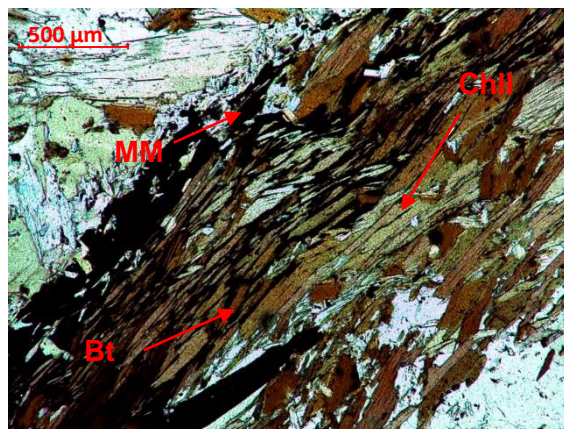


Figura 5.32: Imagem ilustrativa da relação entre a clorite lamelar e os minerais metálicos ao microscópio ótico de luz transmitida em nicóis paralelos.

Plagioclase

O estudo petrográfico da brecha de Sta. Helena revelou que a plagioclase é um mineral comum. Esta foi observada essencialmente no seio do quartzo que serviu de cimento ao corpo brechoide, isoladamente ou associada a quartzo, mais precoce, e moscovite (possíveis fragmentos de granito) e apresenta-se mais ou menos sericitizada. Em suma, quanto a este mineral poderemos concluir que é anterior ao quartzo do cimento (figura 5.28).

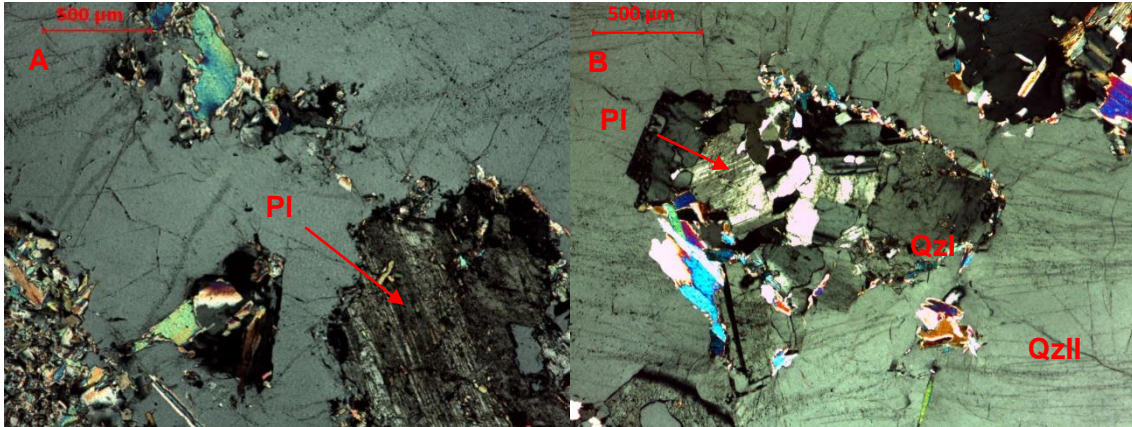


Figura 5.33: Imagens ilustrativas da relação existente entre a plagioclase e as micas brancas (A), assim como, com o quartzo (B) ao microscópio ótico de luz transmitida em nicóis cruzados.

Fosfatos

A apatite é relativamente frequente e verificou-se que apresenta no seu interior monazite e outros fosfatos de terras raras. Como tal, foi possível observar que no interior de cristais de apatite, contidos no seio da pirite, se encontravam fosfatos com terras raras (Z4 e Z5) (figura 5.29).

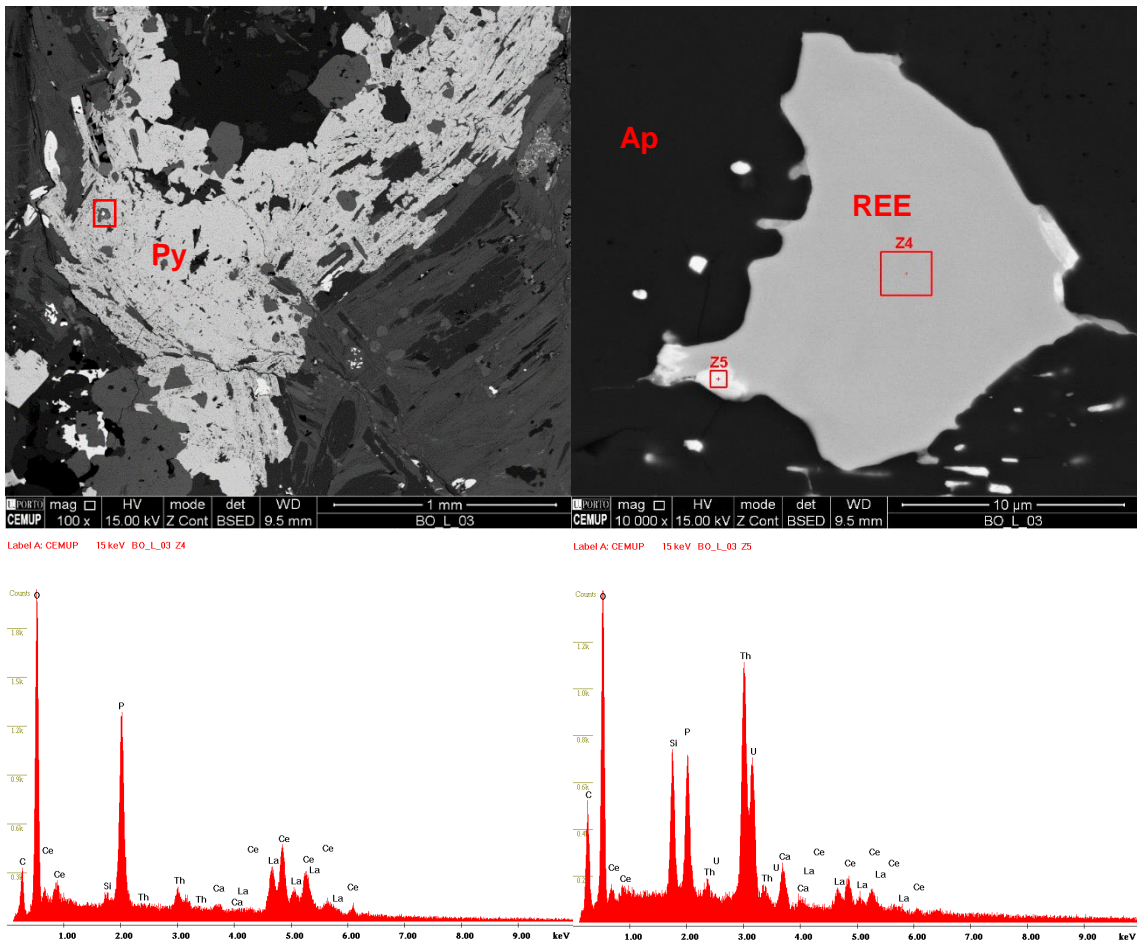


Figura 5.34: Imagens ilustrativas da relação entre a apatite e a pirite (A), assim como, entre a apatite e os elementos de terras raras (B) e, respetivos espetros ao microscópio eletrónico de varrimento.

Da análise em MEV concluiu-se que os cristais de aspeto acicular (Z3) são de um possível cristal de monazite composto fosfato de tório, cério e lantânio (figura 5.30).

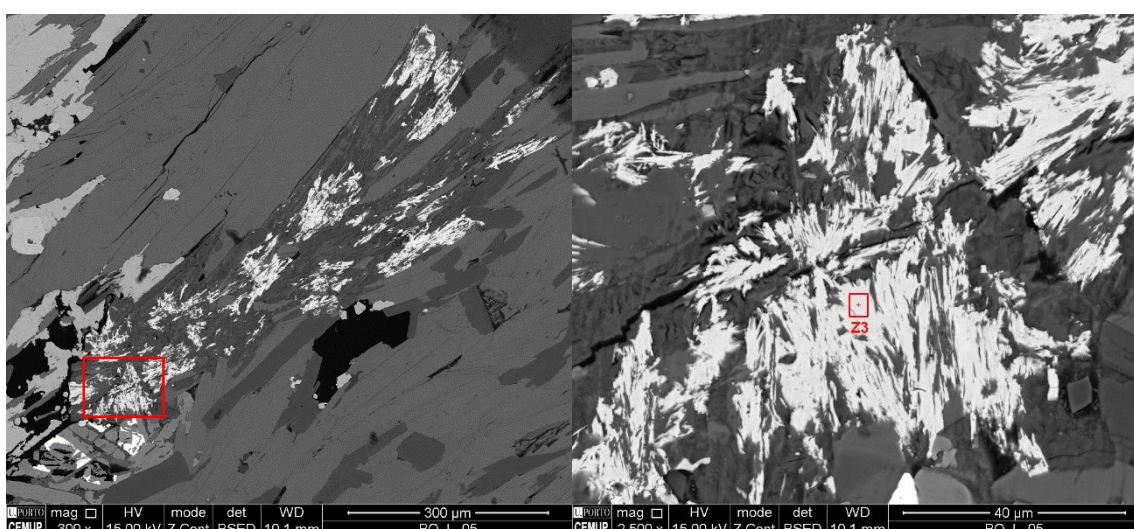


Figura 5.35: Imagens ilustrativas dos elementos de terras raras no interior de possíveis cristais de monazite. Imagens obtidas ao microscópio eletrónico de varrimento.

Por fim, é ainda importante referir três aspetos importantes sobre os quais ainda não foram tecidas nenhuma considerações. O primeiro dos quais diz respeito ao facto de não ocorrer uma distribuição homogénea dos minerais metálicos nas amostras estudadas. O segundo refere-se à mineralização metálica, tendo-se observado uma maior abundância nas zonas onde o processo de greisenificação foi mais intenso. Por último, deveremos ter em conta que algumas das amostras estudadas na elaboração deste capítulo denotavam zonas com grande oxidação.

5.4. Sequência de deposição mineral

Nesta secção iremos referir a sequência de deposição dos minerais da brecha de Sta. Helena estudados na secção anterior, para tal vamos ordená-los de acordo com a suas idades relativas.

Para a realização desta tarefa recorreu-se a métodos de observação das relações geométrica entre os diferentes minerais, no entanto esta acarreta uma certa margem de erro, uma vez que, nem sempre é possível ter uma perceção correta da terceira dimensão da amostra. Assim, os critérios utilizados podem ser discutíveis tornando este estudo árduo e suscetível de erro.

Desta forma e, tendo em conta que o corpo brechoide estudado apresenta uma estrutura heterogénea, que condiciona a amostragem segundo variados fatores torna-se difícil, senão impossível garantir que a posição de determinado mineral ou associação se mantém. É ainda de acrescentar que esta dificuldade aumenta quando ocorrem determinados minerais cujo período de deposição é relativamente longo, ou se repetem com características muito semelhantes.

Assim, tendo em conta estas reservas, procedeu-se à esquematização da sequência deposicional dos minerais. Nesta foram consideradas quatro etapas de alteração hidrotermal, podendo cada uma ser considerada como um episódio de formação mineral. A primeira etapa é caracterizada pela moscovitização associada à qual se depositaram os fosfatos, assim como, a ilmenite e a cassiterite, na segunda ocorreu um processo de sericitização tendo nesta se depositado a primeira geração de tungstatos, tal como a primeira geração de pirite. Na terceira etapa de alteração hidrotermal ocorreu o primeiro fenómeno de cloritização, no qual se depositaram sulfuretos nomeadamente a pirite, a calcopirite, a esfalerite, a molibdenite e a bismutinite. A esta sucedeu-se o segundo fenómeno de cloritização surgindo a última geração de pirite, assim como a volframite II e, através de processos mais complexos, minerais como bismuto nativo, sulfossais (de prata e telúrio) e estanite, ao mesmo tempo que se dava a alteração da pirite em marcassite e a galena sofria um processo de piritização.

Após as etapas de alteração hidrotermal e contribuindo para o aspeto atual da mineralização da brecha de Sta. Helena ocorreram ainda as reações de alteração supergénica.

No quadro 8.1 encontra-se esquematizada a sequência de deposição dos minerais da brecha de Sta. Helena. Uma vez que as amostras foram colhidas a diferentes profundidades foi necessário obter referências minerais nas quais fosse possível

extrapolar os resultados obtidos de amostra para amostra e, desta forma, de local para local. Assim, para que isso fosse possível, foi necessário escolher minerais com características específicas e com uma posição particular na sequência de deposição. Como tal, foram escolhidos minerais como, a volframite, a calcopirite, a esfalerite, a clorite lamelar e a clorite vermicular.

Quadro 5.1: Sequência de deposição mineral.

	Alterações Hidrotermais				Alteração Supergénica
	Moscovitização	Sericitização	Cloritização I	Cloritização II	
Quartzo	I	II	III		
Volframite		I		II	
Scheelite					
Cassiterite					
Pirite		I	II		III
Calcopirite					
Esfalerite					
Galena					
Marcassite					
Estanite					
Molibdenite					
Ilmenite					
Apatite					
Monazite					
Bismutinite					
Plagióclase					
Bismuto					
Sulfossais					
Matildite					
Greenockite					
Covelite					

Na primeira etapa de alteração foi sem dúvida a moscovite o primeiro mineral a formar-se entre os elementos rochosos que constituíam esta brecha, daí ter-se dado a esta etapa o nome de moscovitização. Este estágio hidrotermal é contemporâneo da

deposição de minerais como a cassiterite, a ilmenite, a apatite, a monazite e óxidos de REE (Ce, La)-U-Th, estando estes últimos inclusos na apatite. Este aspeto é facilmente observável no contacto com o cimento quartzoso ou em fissuras dos elementos.

De seguida, deu-se o início do segundo estágio de deposição, a sericitização. Nesta ocorreu a deposição do quartzo de segunda geração, tendo este continuado a sua deposição simultaneamente com a formação da volframite. Este tungstato apesar de poder sofrer variações na composição do fluido mineralizante, nomeadamente nos teores de Fe e Mn, não apresenta variação. É ainda de acrescentar que, os fluidos líquidos de tungsténio durante um curto período foram mais ricos em cálcio do que em ferro e manganês. Isto deveu-se à alteração de minerais cálcicos das rochas encaixantes, possibilitando a cristalização de scheelite que substituiu alguns dos tungstatos já formados. É ainda importante de salientar a formação da primeira geração de pirite euédrica.

Após esta etapa deu-se uma fase de fracturação, tal é documentado uma vez que alguns dos minerais já formados apresentam pequenas fraturas, nomeadamente a volframite.

Posteriormente, iniciou-se a terceira etapa da sequência de deposição, na qual ocorre um processo de cloritização da biotite formando uma clorite lamelar. Com esta, continua a deposição de sulfuretos como é o caso da esfalerite, da calcopirite, da pirite II, da bismutinite e da molibdenite e inicia-se a cristalização do quartzo III. Apesar do curto período de deposição dos sulfuretos é possível estabelecer uma cronologia relativa entre eles. Assim, o primeiro sulfureto a formar-se foi a esfalerite, seguido da pirite II em que simultaneamente ocorreu a exsolução da esfalerite em calcopirite e, sucessivamente ocorreu a principal fase de deposição da calcopirite, bismutinite e molibdenite, sendo esta em grande parte simultânea.

Na última fase de alteração hidrotermal, a fase de cloritização II, foi caracterizada por uma manifestação da fase silicatada, sendo esta representada pela formação de clorite vermicular. Nesta etapa, após uma modificação das condições físico-químicas, os minerais anteriormente formados como a calcopirite e a esfalerite, exsolveram-se em estanite, respetivamente tendo também ocorrido a formação de galena e de volframite II. Esta fase de alteração terá provocado a alteração da pirite II em marcassite, assim como, da galena em pirite III devido a um processo de piritização. Além disto, devido ao arrefecimento da galena foram exsolvidos minerais como o bismuto nativo e sulfossais de prata e telúrio.

Muito posteriormente, surge uma fase de alteração supergénica, tendo esta conduzido à formação da covelite, um mineral secundário formado às custas da calcopirite.

Conclusões



6. Conclusões

O estudo da brecha de Sta. Helena permitiu conhecer a sua morfologia, mineralogia principal, assim como, identificar possíveis afinidades com o campo filoniano das Minas da Borralha.

Deste modo, a partir da análise da sondagem Bo_5/14, pode-se perceber que estruturalmente a brecha de Sta. Helena é antecedida, essencialmente por um xisto micáceo. Neste identifica-se na parte mais próxima do corpo brechoide, uma zona de transição, no qual se observa uma forte influência por parte deste. Acresce ainda que, a brecha de Sta. Helena é limitada por duas caixas de falha tanto a nascente como a poente desta estrutura. Aliado a estes factos, em profundidade esta brecha encontra-se encaixada numa fácies granítica.

Em relação à mineralogia existem dois aspetos importantes de se salientar, as fases mineralógicas presentes e a sua sequência de deposição. Neste sentido, o estudo da brecha de Sta. Helena permitiu identificar dois grupos minerais, os minerais metálicos e os minerais não metálicos. Como tal, no primeiro grupo observaram-se minérios das classes dos tungstatos, assim como, da classe dos sulfuretos e no segundo identificam-se minerais da classe dos silicatos e dos fosfatos. Nos tungstatos foram observados minerais como a volframite e a scheelite. Por sua vez, a pirite, a calcopirite, a esfalerite, a galena, a molibdenite, a bismutinite, a marcassite, a matildite, a greenockite, a estanita e a covelite foram os minerais identificados na classe dos sulfuretos. Por fim, os silicatos englobaram minerais como o quartzo, a moscovite, a biotite, a clorite e a plagioclase. É ainda de salientar a presença no grupo dos fosfatos, a apatite e a monazite.

Na sequência de deposição mineral o aspeto mais importante são os quatro estádios de alteração hidrotermal identificados, podendo ser observados várias gerações de um mesmo mineral, exemplo disso é o quartzo pois apresenta três momentos de deposição. No primeiro estágio de alteração hidrotermal, a moscovitização, depositaram-se minerais como a cassiterite, a ilmenite, a apatite, a monazite e óxidos de REE (Ce, La)-U-Th. No segundo estágio de alteração, a sericitização, foi observado a deposição da segunda geração de quartzo, assim como, da volframite I, aquando da deposição desta ocorreram episódios em que o ambiente deposicional terá sido rico em cálcio, pois ocorreu também a deposição de scheelite. Além disto ter-se-á depositado a primeira geração de pirite (euédrica). Posteriormente, no terceiro estágio dá-se a deposição dos sulfuretos, nomeadamente a esfalerite, a calcopirite, a bismutinite e a molibdenite. Por último, na alteração hidrotermal surge a segunda fase de cloritização, caracterizada pela deposição de minerais como a segunda geração de volframite, a terceira geração de

pirite, a galena, a marcassite, a estanita, o bismuto nativo, os sulfossais de prata, a matildite e a greenockite. Por fim surge uma fase de alteração supergénica que dá origem à covelite, esta é possível observar em níveis mais profundos devido à intensa fracturação da brecha estudada.

Assim é ainda de salientar que, comparando com trabalhos anteriores como Noronha (1983), se identificaram algumas semelhanças quanto à mineralogia encontrada, assim como, a sua sequência de deposição. Deste modo, pode-se perceber a existência de uma relação paragenética entre o campo filoniano das Minas da Borralha e a brecha de Sta. Helena.

Em suma, o estudo dos tungstatos, assim como, a presença de elementos de terras raras na apatite e na monazite foram os aspetos que valorizaram este trabalho e, conseqüentemente, a brecha de Sta. Helena devido à sua elevada importância ao nível económico.

De acordo com este trabalho sugere-se com o intuito de aumentar o potencial interesse, o aumento do leque de amostragem de forma a alargar a área de estudo para outras sondagens, assim como, um estudo à microsonda electrónica para que se quantifiquem os elementos estudados. É ainda importante de salientar a necessidade de um estudo pormenorizado dos elementos de terras raras.

Referências



7. Referências

- Abalos, B., Carreras, J., Druguet, E., Viruete, J. E., Pugnaire, M. T. G., Alvarez, S. L., Quesada, C., Fernandez, L. R. R., *Gil-Ibarguchi*, J. I., 2002. Variscan and Pre-Variscan Tectonics. In: Gibbons, W. e Moreno, M. T. (Eds.) *The Geology of Spain*. Geological Society, London.
- Amossé, J., (1976) – Détermination expérimentale de la pression et de la température de formation d'un filon quartzeux wolframifère., Approche théorique. Bull.Soc.Franc.Minér.Cristallogr, Paris, 121-127 pp.
- Amossé, J., (1978a) - Physicochemical study of hubnerite-ferberite (MnWO₄-FeWO₄). Zonal distribution in wolframite (Mn_xFe_(1-x)WO₄) deposits. Applications to the Borralha mine (Portugal), Phys.Chem.Min., Berlin, 331-341 pp.
- Amossé, J., (1978b) - Variation in wolframite composition according to temperature, at Borralha, Portugal and Enguayales, France, Econ.Geol., New Haven 1170-1175 pp.
- Arenas, R., Farias, P., Gallastegui, G., Gil Ibarguchi, J., Gozalez Lodeiro, F., Klein, E., Marquinez, J., Martin Parra, L., Martinez Catalan, J., Ortega, E., Pablo Macia, J., Peinado, M., Rodriguez Fernandez, L., (1988) - Características geológicas y significado de los dominios que componen la Zona de Galicia-Tras-os-Montes. In: *Simposio sobre Cinturones Orogénicos*, II Congresso de Geologia de Espana, Granada, 75-84 pp.
- Arthaud, F., Matte, P., (1975) - Les décrochements tardi-hercyniens du sud-ouest de l'Europe. Géométrie et essai de reconstitution des conditions de la déformation. Tectonophysics, Amsterdam, 25: 139-171 pp.
- Barton, P., (1991) - Ore textures: problems and opportunities. Mineral Mag. 55: 303-315 pp.
- Bonnici, J., (1972) - Mines de Borralha. Étude du quartier Venise. (Relatório não publicado).
- Bryant, D., (1968) - Intrusive breccias associated with ore, Warren (Bisbee) mining district. Arizona, Econ. Geol. (New Haven. Conn.) 63 (1) 1-12 pp.
- Cond, L., Pereira, V., Ribeiro, A., Thadeu, D., (1971) - Livro-guia da excursão nº 7- Jazigos hipogénicos de estanho e volfrâmio., Congresso Hispano-Luso-Americano de Geologia Económica, Direção-Geral de Minas e Serviços Geológicos, Lisboa.
- Capdevilla, R., Floor, P., 1970. Les différents types de granites hercyniens et leur distribution dans le NW d'Espagne. Bol. Geol.Min. Madrid, 89 (1/2) 101-112 pp.

- Capdevilla, R., Vialette, Y., (1970) - Estimation radiométrique de l'âge de la deuxième phase tectonique hercynienne en Galice moyenne (NW de l'Espagne). C.R.hebd.Séanc.Acad.Sci. (Paris) Sér.D 27 0 : 2527-2530 pp.
- Conde, L., Andrade, R., (1976) - Exemplos de aplicação geológica de imagens de teledetecção de Portugal. Semin. Detecção Remota e sua aplicação ao estudo dos recursos naturais e às actividades do homem (Lisboa - 1976). Doc.18. LNEC. Lisboa.
- Conde, L., Pereira, V., Ribeiro, A. Thadeu, D., (1971) - Jazigos Hipogénicos de Estanho e volfrâmio. I Congresso Hispano-Luso-Americano de Geologia Económica. Direção Geral de Minas e Serviços Geológicos. Lisboa. 81 pp.
- Cottard, F., (1979) - Pétrologie structurale et métallogénie du complexe granitique de Lovios Gerês. Tese de Doutoramento. Université de Nancy. Nancy.
- Craig, J., Vaughan, D., (1994) - Ore Microscopy and Ore Petrography. 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, 434 pp.
- Dallmeyer, R. D., Martinez-Catalan, J. R., Arenas, R., Iburguchi, J. I., Gutierrez Alonso, G., Farias, P., Bastida, F., Aller, J., (1997) - Diachronous Variscan tectonothermal activity in the NW Iberian Massif: evidence from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of regional fabrics. *Tectonophysics*, 277 307-337 pp.
- Dedavid, B., Gomes, C., Machado, G., (2007) - Microscopia eletrônica de varredura - Aplicações e preparação de amostras, Centro de Microscopia Eletrônica e Microanálise (CEMM) do IDEIA-PUCRS, Portalegre, 60 pp.
- Dias, R., Ribeiro, A., 1995. The Ibero Armorican Arc: a collision effect against an irregular continent? *Tectonophysics*, 246 113-128 pp.
- Dória, A., Marques, M., (2008) - Microscopia de reflexão: aplicação à caracterização de materiais geológicos. *GEOlogos* nº 7, Curso "Técnicas Aplicadas à Análise Físico-Química de Minerais" 11-22 pp.
- Farias, P., Gallastegui, G., Lodeiro, F., Marquínez, J., Martín-Parra, L., Catalán, J., Maciá, J., Rodríguez-Fernández, L., (1987) – Aportaciones al conocimiento de la litoestratigrafía y estructura de Galicia Central., *Mem. Museo e Lab. Miner. Geol., Fac. Ciências, Univ. Porto*, 1: 411-431 pp.
- Ferreira, N., Iglesias, M., Noronha, F., Pereira, E., Ribeiro, A., Ribeiro, M. L., (1987) - Granitoides da Zona Centro IBERICA e seu enquadramento geodinamica. *In: Geologia de los Granitoides y Rocas asociadas del Macizo Hesperico Bea, et al.* (Eds.) *Editorial Rueda*, Madrid (Libro Homenaje a L.C. Garcia de Figuerola), 37-51 pp.

- Ferro, M., (1957) - Nota sobre o cálculo de reservas do stockwerk. (Relatório não publicado).
- Freire de Andrade, C., (1935) - Considerações sobre a linha de depressões Barcelos - Montalegre. Bol.Mus.Labor.Miner. Geol. Fac. Ciênc. Lisboa 2ªSér. 4 : 21-40 pp.
- Gaillard, J., (1972) - Étude géologique du gisement de wolfram de Borralha Portugal, (Relatório não publicado).
- Goínhas, J., (1987) – Cadre géologique et métallogénique des ressources minières du Portugal.Chron. Rech.Min, 489, 25-42 pp.
- Iglesias, M., Ribeiro, A., (1981) - Zones de cisaillement ductile dans l'arc ibéro-armoricain. Comun. Serv. Geol. Portg. Lisboa 63. (I) : 8587.
- IPMA, (2015) – Instituto Português do Mar e da Atmosfera, Documentos disponíveis em <http://www.ipma.pt> (Retirado a 21/07/2015 pelas 15:00).
- Johnston, W., Lowell, J., (1961) - Geology and origin of mineralized breccia pipes in copper basin, Arizona. Econ. Geol.(New Haven,Conn.) 56 (5) 916-940 pp.
- Lotze, P., (1945) - Zur gliederung der Variszidien der Iberischen Meseta. Geotekt.Forsch. (Berlin) 6 : 7892 pp.
- Konstantinov, M., (1978) - Genetic types of ore-bearing breccias. Internat.Geol.Rev.(Falls Church,Va.) 20 (3) 289-294 pp.
- Mateus, A. & Noronha, F. (2001) - Sistemas mineralizantes epigenéticos na Zona Centro-Ibérica; expressão da estruturação orogénica Meso- a Tardi-Varisca. *In*: Cotelos Neiva J. M., Ribeiro A., Mendes Victor L., Noronha F., Magalhães Ramalho M. (eds). 2010. "Ciências Geológicas: Ensino, Investigação e sua História". Associação Portuguesa de Geólogos, Volume II Geologia Aplicada, Capítulo I - Geologia e Recursos Geológicos, 47-61 pp.
- Matte, P., (1968) - La structure de la virgation hercynienne de Galice (Espagne). Géol.Alpine. Grenoble, 44 157-200 pp.
- Matte, P., Ribeiro, A., (1975) - Forme et orientation de l'ellipsoïde de déformation dans la virgation hercynienne de Galice: Relation avec le plissement et hypothèses sur la genèse de l'arc Ibe´ro-Armoricain, C. R. Acad. Sci., 280, 2825 – 2828 pp.
- Martins, J., (1972) - Les roches granitiques rouges de la serre do Gerês. Porto. (Publicações do museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências do Porto. 4ªSér. Nº283), Porto.
- Martins, L., (2012) - Mineral Resources of Portugal. *Direção Geral de Energia e Geologia*, 71 pp.

- Neiva, A., (1982) - Geochemistry of muscovite and some physico-chemical conditions of the formation of some tin-tungsten depositis. In: EVANS, A.M.- Metallization Associated with add magmatism. John Wiley & Sons,Ltd. Londres. 243-259 pp.
- Neiva, J., (1944) - Greisenização e seus fatores geoquímicos. Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico – Extracto do fasc. I, Tomo XXIX – Anais da Faculdade de Ciências do Porto, 1-14 pp.
- Noronha, F., (1974) - Étude des inclusions fluides dans les ouartz des filons du gisement de tungstène de Borralha (Nord du Portugal). (Publicações do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências do Porto 4^ª Sér. Nr.85). Porto.
- Noronha, F., (1976) - Niveaux à scheelite da.ns la zone tungstifère de Borralha.Leur importance metallogénique. (Publicações do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências do Porto 4^ª Sér.Nr.87). Tema de comunicação que apresentou à IV Reunião sobre a Geologia do Oeste Peninsular (Salamanca - Coimbra - 1976), Porto.
- Noronha, F., (1979a) - Jazigo tungsténico da Borralha. Anexo I do Livro-guia das excursões geológicas da VI Reunião sobre a Geologia do Oeste Peninsular. Porto. 1979 (Publicações do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências do Porto 4^ª Sér. Nr.91),Porto.
- Noronha, F., (1979b) - Les brèches du gisement de tungstène de Borralha (Nord du Portugal). Quelques données pour leur classification. (Publicações do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências do Porto 4 Sér. Nr.91 Porto, 187-212 pp.
- Noronha, F., (1983) - Estudo Metalogénico Da Área Tungstífera da Borralha, Tese de Doutoramento, Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, 413 pp.
- Noronha, F., (1984) - Caractéristiques physico-chimiques des fluides associés à la gèneise du gisement de tungstène de Borralha - Nord du Portugal. Bull.Minéral. (Paris), 107, 273-284.
- Noronha, F. (1999) - Jazigos filonianos hidrotermais de estanho e volfrâmio. Considerações acerca da sua gèneise. Comunicação oral – 1º Colóquio “Jazigos minerais metálicos de Portugal”. Academia de Ciências de Lisboa, 1-19 pp.
- Noronha, F., Ribeiro, M.L, (1983) - Notícia Explicativa da Folha 6-A (Montalegre) da Carta Geológica de Portugal à Escala de 1/50 000. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 30 pp.

- Noronha, F., Ramos, J., Rebelo, J., Ribeiro, A., Ribeiro, M., (1979). Essai de corrélation des phases de déformation hercynienne dans le nord-ouest péninsulaire. *Bol.Soc.geol. Portg.Lisboa*, 21 (2/3) 227-237 pp.
- Nunes, P., (2010) - Proposta de Reabilitação de Locais de Armazenamento de Resíduos Mineiros da Antiga Mina da Borralha, Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 145 pp.
- Oen, I., (1960) - The intrusion mechanism of the late-hercynian post-tectonic granite plutons of northern Portugal. *Geol. Mi.1nb. ,Ben Haag, U.S.*, 22 257-296 pp.
- Oen, I., (1970) - Granite intrusion, folding and metamorphism in central northern Portugal. *Boi. geol. min., Madrid*, 81 (2/3) 271-298 pp.
- Ortega, L. A., Ibarra, G., (1990) - The genesis of late-hercynian granitoids from Galicia (Northwestern Spain). Inferences from REE studies. *J. Geol.*, 98, 189-211 pp.
- Picot, P., Johan, Z., (1977) Atlas des Minéraux Métalliques. Mémoires du BRGM, 90, 403 pp.
- Prouhet, J., Bonnici, J.,(1972) - Remarques et hypothese sur le reseau filonien de Borralha Portugal, (Relatório não publicado).
- Raith, M., Raase, P., Reinhardt, J., (2012) - Guide to thin Section Microscopy 2nd Ed, 134 pp.
- Ribeiro, A., (1974) - Contribution à l'étude tectonique de Trás-os-Montes oriental, Serviços Geologicos de Portugal, Lisboa, 168 pp.
- Ribeiro, A., Pereira, E. (1982). Controles paleogeográficos, petrológicos e estruturais na génese dos jazigos portugueses de estanho e volfrâmio. *Geonovas*, 1/3: 23-31pp.
- Ribeiro, A., Pereira, E., Dias, R., (1990) - Structure in the Iberian Peninsula. In: R. D. Dallmeyer e E.Martinez Garcia (Eds.), *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*. Springer-Verlag, Berlin, 220-236 pp.
- Ribeiro, M.A., Martins, H., Almeida, A., Noronha, F., (2000) - Notícia Explicativa da Folha 6-C (Cabeceiras de Basto) da Carta Geológica de Portugal à Escala de 1/50 000. Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa, 48 pp.
- Schermerhorn, L., (1956) - Igneous, metamorphic and ore geology of the Castro Daire S.Pedro do Sul, Sátão region. *Comun.Serv.Geol.Portg.(Lisboa)* 37 : 1-617 pp.
- Sousa, J.,(2010) - Reabilitação das Instalações Industriais das Antigas Minas da Borralha Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 74 pp.

- Thadeu, D., (1965) - Características da mineralização hipogénica estano-volframítica portuguesa. *Boletim da Ordem dos Engenheiros*, 10, 1:61-81 pp.
- Thadeu, D.,(1977) – Hercynian paragenetic units of the portuguese part of the hesperic massif, *Bol.Soc.Geol.Portg.*, Lisboa, 247-276 pp.
- Uytenbogaardt, W., Burke, E.A.J., (1985) - Tables for Microscopic Identification of Ore Minerals. 2nd ed., Dover Publications, Inc., New York, 430 pp.
- Vera, J., (2004) - Geología de España. Sociedad Geológica de España, *Instituto Geológico y Minero de España*. 21-25 pp.
- Whitney, D., Evans, B., (2010) – Abberviations for names of rock-forming minerals, *American Mineralogist*, Volume 95, 185-187pp.

Anexos



8. Anexos

8.1. Anexo I – Log da sondagem Bo_5/14

Profundidade (m)		Litologia	Estruturas	Descrição	Mineralogia observada							Lâminas	Log Pictorial			
De	Até				Wolf	Py	Ccp	Apy	Sch	Sph	Chl			Grt		
0	1	Xisto micáceo	2 Filões de Qz	Filão de Qz com 2 cm de possança aos 0,05 m sub-horizontais. Filão de Qz com 2 cm de possança aos 0,95 m sub-horizontais.												
1	2	Xisto micáceo	1 Filão de Qz	Filão de Qz e óxidos de ferro com 3 cm de possança aos 1,30 m sub-horizontais.												
			1 Filão pegmatítico	Filão pegmatítico com moscovite visível e matriz quartzosa com 5 cm de possança aos 1,50 m sub-horizontais.												
			1 Filonete pegmatítico	Filonete pegmatítico com 0,5 cm de possança subvertical.												
2	3	Xisto micáceo	1 Filão micáceo	Filão micáceo constituído por micas máficas com possança de 1 cm aos 2,00 m sub-horizontais.												
			1 Filão pegmatítico	Filão pegmatítico de matriz quartzosa com moscovite visível, assim como biotite com 2 cm de possança aos 2,90 m.												
3	4	Xisto micáceo	1 Falha	Falha com possança de 30 cm apresentando preenchimento argiloso aos 3,00 m.												
			1 Filão turmalínico	Filão turmalínico com possança de 2 cm aos 3,90 m sub-horizontais.												
4	5	Xisto micáceo	1 Falha	Falha com possança de 20 cm, apresentando um preenchimento argiloso e algum xisto fraturado aos 4,70 m.												
5	9	Xisto micáceo	Não são visíveis quaisquer estruturas													
9	10	Xisto micáceo	2 Filões de Qz	Filão de Qz com óxidos de ferro com possança de 5 cm aos 9,60 m subvertical.												
				Filão de Qz com óxidos de ferro com uma possança de 1 cm aos 9,70 m subvertical.												
10	12	Xisto micáceo	1 Falha	Falha com preenchimento argiloso e de possança de 120 cm desde 10,80 m até 12,00 m.												
12	13	Xisto micáceo	3 Filões pegmatíticos	Filão pegmatítico com Qz e Mosc visível, possança de 2 cm aos 12,25 m, sub-horizontais.												
				Filão pegmatítico com Qz e Mosc visível, possança de 70 cm aos 13,00 m, sub-horizontais.												
13	14	Xisto micáceo	1 Filão de Qz	Filão pegmatítico com Qz e Mosc visível, possança de 4 cm aos 12,35 m, subvertical.												
				Filão de Qz e óxidos de ferro, possança de 2 cm aos 12,98m, sub-horizontais.												

Xisto 1 Xisto bandado com intercalações de micas com quartzo de segregação metamórfica. Esta rocha está bastante fraturada, assim como, algo argilizada. Algumas subzonas encontram-se oxidadas embora preservem a sua dureza. Esta oxidação é indicativa de alteração hidrotermal, sendo representada por uma sílica secundária.

Profundidade (m)		Litologia	Estruturas	Descrição	Mineralogia observada								Lâminas	Log Pictorial
De	Até				Wolf	Py	Ccp	Apy	Sch	Sph	Chl	Grt		
36	37	brecha Sta. Helena	Falha do Cavalão	36 m - 36,50 m continuação do corpo quartzoso.										brecha de Sta. Helena, corpo brechoide composto por fragmentos angulares com variadas dimensões de granito, tonalito e xisto. É ainda de acrescentar que este apresenta uma matriz quartzosa com alguns cristais finos de volframite visíveis, assim como, alguma clorite secundária disseminada na rocha ou na matriz quartzosa. O contato deste corpo com as rochas encaixantes é marcado por um corpo quartzoso de grandes dimensões bastante fracturado.
			Filonete de clorite	brecha pouco consolidada composta por xisto, sendo visível um filonete de clorite com 1 mm de possança, nos veios de Qz é visível alguma clorite maciça posterior, sem orientação preferencial.							Dispersa pela amostra (3%)			
		Veios de Qz multidirecionais												
37	38	brecha Sta. Helena		brecha composta por um tonalito granito, apresentando-se bastante argilizado e fraturado.										
38	41	brecha Sta. Helena	boxworks Veios de Qz multidirecionais	brecha composta por xisto micáceo com elevada percentagem de Chl, os veios de Qz apresentam óxidos de ferro estando muito fraturados. Os boxworks presentes são preenchidos por Qz, Chl e óxidos de ferro.							Dispersa pela amostra (10%) - Em boxworks aos 40,60 m			
41	42	brecha Sta. Helena	Filão pegmatítico	Filão pegmatítico com Qz e Mosc vêm-se Chl posteriores, possança de 36 cm aos 41,10m, sub-horizontal.										
			Filão de Quartzo	Filão de Qz com boxworks, apresentando estes Chl maciça e minerais férreos, aos 41,60 m. A brecha é constituída por xisto biotítico com alteração e argilizado, apresentando com bastantes fraturas.							Maciça aos 41,60 m			
42	47	brecha Sta. Helena		brecha composta por um tonalito granito extremamente argilizado e fraturado com cor branca amarelada, onde existem locais oxidados devido à presença de minerais férreos.										
47	49	brecha Sta. Helena	Filão de Qz com boxworks Veios de Qz multidirecionais	brecha composta por xisto com veios de Qz multidirecionais, apresentando estes Chl e óxidos de ferro. Aos 48 m encontra-se uma zona pegmatítica.										
49	51	brecha Sta. Helena	Veios de Qz multidirecionais	brecha composta por xisto até aos 51 m, interrompida por 20 cm de brecha granítica aos 50 m. Veios de Qz multidirecionais com óxidos de ferro e Chl.										
			boxworks de Qz									Dispersa pela amostra 3%		
51	52	brecha Sta. Helena	Veios de Qz multidirecionais	brecha com zona pegmatítica de cerca de 30 cm bastante argilizada, seguida por uma zona xistosa com veios de Qz com Py, Chl, óxidos de ferro e alguns boxworks.										
			Vários boxworks	No final é de novo retomado o pegmatito por mais 20 cm.							Final nos boxworks 2%			

Profundidade (m)		Litologia	Estruturas	Descrição	Mineralogia observada								Lâminas	Log Pictorial
De	Até				Wolf	Py	Ccp	Apy	Sch	Sph	Chl	Grt		
52	54	brecha Sta. Helena		brecha com zona pegmatítica aos 52,10 m. De seguida, é composta por zona granítica com vários de veios de Qz multidirecionais com Chl, CuPy e Py dispersa nestes.		0,2% aos 52,23 m (Média) e aos 53,90 m (Fina)	0,3% aos 52,10 m			Dispersa pela amostra 2%		Dispersa pela amostra 3%		brecha de Sta. Helena, corpo brechoide composto por fragmentos angulares com variadas dimensões de granito, tonalito e xisto. É ainda de acrescentar que este apresenta uma matriz quartzosa com alguns cristais finos de volframite visíveis, assim como, alguma clorite secundária disseminada na rocha ou na matriz quartzosa. O contato deste corpo com as rochas encaixantes é marcado por um corpo quartzoso de grandes dimensões bastante fracturado.
54	56	brecha Sta. Helena	Veios de Qz multidirecionais e vários boxworks	brecha granítica com zonas pegmatíticas aos 55,10 m e 54,10 m.	Fina aos 55,10 m (3%)	Fina dispersa entre 55,12 - 55,80 m (1%)	Fina e dispersa entre 54,13 - 54,20 m (2%) e entre 55,00 - 56,00 m (1%)		Dispersa pela amostra (2%)	Aos 54,10 m	Dispersa pela amostra 1%			
56	58	brecha Sta. Helena	Veios de Qz multidirecionais	brecha pegmatítica com Mosc visível, assim como, veios. Entre os 57,80 m até 58,00 m ocorre uma zona xistosa.	Média aos 56,30 m		Fina e dispersa entre 56,05 - 56,20 m (1%), entre 56,70 - 57,05 m (3%) e Média aos 56,30 m e aos 56,05 m		Dispersa pela amostra (1%)	Fina e disseminada entre 56,95 - 57,05 m (2%)				
58	60	brecha Sta. Helena	Veios de Qz multidirecionais	brecha fraturada com um enxame biotítico aos 59,20 m e uma zona oxidada aos 59,30 m.	Média e dispersa entre 58,50 - 58,60 m (10%) e entre 58,80 - 59,00 m (4%)	Fina e disseminada entre 58,00 - 58,01 m (1%) e entre 59,10 - 59,13 m (10%)	Fina e disseminada entre 58,50 - 58,60 m (7%) e entre 58,80 - 59,00 m (6%), assim como, Grosseira entre 59,90 - 60,00 m (15%)	Média entre 59,10 - 59,13 m (8%)		Laminar entre 59,90 - 60,00 m		Bo_L_1 58,8-59 m		
60	62	brecha Sta. Helena	Filão de de Qz e Bt e filonete fino de Chl	brecha xistenta intercalada com pegmatito, estando esta algo fraturada. Filão de Qz entre os 61,63 - 61,80 m e Filonete de Cl aos 60,45 m.	Fina entre 60,73 - 60,76 m (1%)	Fina e dispersa entre 60,73 - 60,76 m (2%) e entre 60,82 - 60,87 m (3%), assim como, Média entre 61,20 - 60,21 m (6%) e entre 61,70 - 61,73 m (4%)	Média a fina entre 60,0 - 60,65 m (7%), 60,73 - 60,76 m (7%), 60,82 - 60,87 m (8%) e 61,94 - 62,00 m (3%)			Aos 60,73 - 60,76 m (1%)		Bo_L_2 60,73-60,76 m		
62	64	brecha Sta. Helena	Filão de Qz oxidado com Chl	brecha xistenta intercalada com pegmatito, estando esta algo fraturada. Filão de Qz entre 63,40 - 63,70 m		Fina entre 62,92 - 62,96 m, Média entre 62,47 - 62,50 m (5%) e Grosseira entre 62,72 - 62,76 m (15%)	Fina e dispersa entre 62,92 - 62,96 m (3%) e entre 63,88 - 63,98 m (2%)			Entre 62,92 - 62,96 m		Bo_L_3 62,92-62,96 m		
64	66	brecha Sta. Helena	Falha	brecha xistenta intercalada com pegmatito, estando esta algo fraturada. Falha entre 64,70 - 65,20 m, que apresenta preenchimento argiloso.	Fina ao longo do veio entre 65,53 - 65,55 m (7%), 65,57 - 65,60 m (8%) e 65,77 - 65,90 m (6%)	Fina entre 65,25 - 65,28 m (4%), Média entre 64,24 - 64,29 m (12%) e 64,46 - 64,47 m (8%)	Média entre 64,15 - 64,19 m (9%), 64,38 - 64,40 m (3%) e 64,47 - 64,49 m (2%)		Dispersa pela amostra (2%)					

Profundidade (m)		Litologia	Estruturas	Descrição	Mineralogia observada								Lâminas	Log Pictorial
De	Até				Wolf	Py	Ccp	Apy	Sch	Sph	Chl	Grt		
66	68	brecha Sta. Helena		brecha xistenta intercalada com pegmatito, estando esta algo fraturada.	Fina entre 66,38 - 66,40 m (7%) e 66,77 - 66,87 m (15%), assim como, Média entre 66,14 - 66,15 m (10%), 66,11 - 66,12 m (3%), 67,55 - 67,57 m (4%) e 67,64 - 67,65 m (2%)	Fina entre 66,00 - 66,02 m (3%)	Fina entre 66,00 - 66,02 m (3%) e 66,52 - 66,54 m (2%), Média entre 67,55 - 67,57 m (2%) e Grosseira entre 67,27 - 67,30 m (8%)		Dispersa pela amostra (1%)		Entre 66,00 - 66,02 m		brecha de Sta. Helena, corpo brechoide composto por fragmentos angulares com variadas dimensões de granito, tonalito e xisto. É ainda de acrescentar que este apresenta uma matriz quartzosa com alguns cristais finos de volframite visíveis, assim como, alguma clorite secundária disseminada na rocha ou na matriz quartzosa. O contato deste corpo com as rochas encaixantes é marcado por um corpo quartzoso de grandes dimensões bastante fraturado.	
68	70	brecha Sta. Helena	Boxworks e Nódulo biotítico	brecha xistenta intercalada com pegmatito, estando esta algo fraturada. Boxwork com CuPy aos 68,03 m e nódulo biotítico entre 68,28 - 68,32 m.	Fina entre 68,10 - 68,11 m (3%), Média entre 68,23 - 68,25 m (2%), 69,28 - 68,29 m (6%), 69,40 - 69,43 m (5%) e 69,87 - 69,90 m (2%), assim como, Grosseira entre 68,74 - 68,75 m (4%)	Fina entre 68,12 - 68,19 m (0,5%) e 69,12 - 69,15 m (0,5%)	Fina entre 69,12 - 69,15 m (1%), Média aos 68,03 m (2%), entre 68,28 - 68,32 m (17%) e 69,81 - 69,82 m (3%)				Bo_L_4 68,48- 68,52 m Bo_L_5 69,12- 69,15 m			
70	72	brecha Sta. Helena		brecha xistenta com uma zona biotítica entre 71,59 - 71,64 m.	Média entre 71,28 - 71,30 m (4%), 71,46 - 71,47 m (5%) e 71,59 - 71,61 m (3%)		Média a fina entre 70,37 - 70,44 m (4%) e 71,20 - 71,22 m (1%)			Fina entre 70,37 - 70,44 m (3%) e Média entre 71,20 - 71,22 m (2%)				
72	74	brecha Sta. Helena		brecha xistenta intercalada com pegmatito, estando esta algo fraturada.		Fina entre 72,58 - 72,59 m (1%) e 73,25 - 73,26 m (1%), assim como, Média entre 72,94 - 72,95 m (2%)	Fina entre 73,12 - 73,13 m (2%), 73,69 - 73,70 m (1%), 73,76 - 73,78 m (2%) e 73,90 - 73,94 m (1%), assim como, Média entre 72,42 - 72,55 m (4%)			Fina entre 72,42 - 72,44 m (1%) e 73,77 - 73,78 m (1%), assim como, Média entre 72,54 - 72,55 m (2%)				
74	76	brecha Sta. Helena		brecha xistenta intercalada com pegmatito, estando esta algo fraturada.	Média entre 75,34 - 75,36 m (4%) e 75,79 - 75,80 m (3%), assim como, Grosseira entre 74,34 - 74,35 m (6%)	Fina entre 74,97 - 74,99 m (1%)	Fina entre 74,32 - 74,33 m (1%) e 75,13 - 75,15 m (3%), assim como, Média entre 75,50 - 75,58 m (4%) e 75,80 - 75,84 m (2%)			Fina entre 75,13 - 75,15 m (2%), assim como, Média entre 75,50 - 75,58 m (2%) e 75,84 - 75,85 m (1%)				

Profundidade (m)		Litologia	Estruturas	Descrição	Mineralogia observada							Lâminas	Log Pictorial	
De	Até				Wolf	Py	Ccp	Apy	Sch	Sph	Chl			Grt
76	78	brecha Sta. Helena		brecha xistenta intercalada com pegmatito, estando esta algo fraturada. Zona de falha entre 77,00 - 77,20 m, apresentando um preenchimento argiloso e de óxidos de ferro.	Fina entre 77,28 - 77,29 m (1%), Média entre 76,18 - 76,19 m (3%), 76,93 - 76,96 m (4%) e 77,76 - 77,78 m (5%), assim como, Grosseira entre 77,48 - 77,54 m (16%) e 77,86 - 77,89 m (14%)	Fina entre 76,75 - 76,76 m (1%) e 77,93 - 77,97 m (1%)	Fina entre 77,84 - 77,85 m (2%) e 77,93 - 77,97 m (1%), assim como, Média entre 76,21 - 76,22 m (2%) e 76,38 - 76,46 m (1%)		Dispersa pela amostra (2%)				Bo_L_6 76,75-76,76m Bo_L_7 77,93-77,97	brecha de Sta. Helena, corpo brechoide composto por fragmentos angulares com variadas dimensões de granito, tonalito e xisto. É ainda de acrescentar que este apresenta uma matriz quartzosa com alguns cristais finos de volframite visíveis, assim como, alguma clorite secundária disseminada na rocha ou na matriz quartzosa. O contato deste corpo com as rochas encaixantes é marcado por um corpo quartzoso de grandes dimensões bastante fracturado.
78	80	brecha Sta. Helena	Nódulo Biotítico	brecha xistenta intercalada com pegmatito, estando esta algo fraturada. Nódulo biotítico entre 78,50 - 78,58 m.	Fina entre 78,31 - 78,32 m (2%) e 79,70 - 79,74 m (2%), assim como, Média e dispersa entre 78,43 - 78,45 m (3%) e 78,73 - 78,75 m (4%)	Fina entre 78,29 - 79,30 m (1%) e 79,73 - 79,74 m (1%)	Fina entre 78,06 - 78,09 m (1%), Fina e dispersa entre 78,10 - 78,11 m (0,5%), 78,29 - 78,30 m (0,7%) e 79,04 - 79,19 m (2%), assim como, Média e dispersa entre 79,33 - 79,37 m (4%)			Fina entre 79,17 - 79,19 m (0,5%)				
80	82	brecha Sta. Helena		brecha xistenta intercalada com pegmatito, estando esta algo fraturada. Observa-se uma zona oxidada entre 81,00 - 81,15 m.	Fina entre 81,57 - 81,64 m (1%) e 81,75 - 81,76 m (0,5%)	Média entre 81,83 - 81,85 m (2%)	Fina entre 80,03 - 80,04 m (1%), 80,57 - 80,59 m (2%), 80,68 - 80,69 m (3%), 81,57 - 81,64 m (2%) e 81,75 - 81,76 m (1%), assim como, Média entre 81,86 - 81,89 m (2%)			Fina entre 80,68 - 80,69 m (1%) e 81,57 - 81,64 m (1%)			Bo_L_8 81,57-81,64m	
82	84	brecha Sta. Helena	Nódulo Biotítico e Boxwork	brecha xistenta intercalada com pegmatito, estando esta algo fraturada. Nódulo biotítico entre 82,88 - 82,94 m e boxwork entre 82,57 - 82,68 m.	Média entre 82,15 - 82,16 m	Fina entre 82,49 - 82,50 m (1%) e 83,71 - 83,73 m (1%), assim como, Média entre 83,06 - 83,08 m (3%)	Fina entre 83,48 - 83,49 m (1%), Média entre 82,11 - 82,12 m (2%) e 83,36 - 83,88 m (3%)			Fina entre 82,49 - 82,50 m (1%) e 83,82 - 83,83 m (1%)				
84	86	brecha Sta. Helena	Falha	brecha xistenta com uma zona de falha composta de argilas e óxidos de ferro entre 84,47 - 84,80 m.		Fina entre 84,15 - 84,18 m (2%), Fina e dispersa entre 85,87 - 85,88 m (1%) e Média entre 85,61 - 85,63 m (2%)	Fina entre 84,15 - 84,18 m (3%), Fina e dispersa entre 85,03 - 85,05 m (1%) e 85,33 - 85,37 m (4%), assim como, Média entre 84,37 - 84,39 m (2%)			Fina entre 85,34 - 85,35 m (2%) e 85,59 - 85,61 m (0,5%)			Bo_L_9 85,33-85,87 m	
86	88	brecha Sta. Helena	Falha	brecha xistenta com uma zona de falha composta de argilas e óxidos de ferro entre 86,15 - 86,88 m.		Fina entre 86,95 - 86,97 m (0,3%) e Média entre 87,85 - 87,87 m (2%)	Grosseira entre 87,67 - 87,70 m (9%)							

Profundidade (m)		Litologia	Estruturas	Descrição	Mineralogia observada							Lâminas	Log Pictorial	
De	Até				Wolf	Py	Ccp	Apy	Sch	Sph	Chl			Grt
88	90	brecha Sta. Helena	2 Filões biotíticos	brecha xistenta intercalada com pegmatito, estando esta algo fraturada. Presença de dois filões biotíticos entre 88,60 - 88,74 m e 89,38 - 89,60 m.	Média entre 88,42 - 88,52 m (4%)		Fina entre 89,19 - 89,20 m (0,5%) e 89,42 - 89,63 m (2%)	Média entre 89,50 - 89,52 m (3%)			Média entre 88,49 - 88,51 m (1%) e 88,53 - 88,55 m (1%)			brecha de Sta. Helena, corpo brechoide composto por fragmentos angulares com variadas dimensões de granito, tonalito e xisto. É ainda de acrescentar que este apresenta uma matriz quartzosa com alguns cristais finos de volframite visíveis, assim como, alguma clorite secundária disseminada na rocha ou na matriz quartzosa. O contato deste corpo com as rochas encaixantes é marcado por um corpo quartzoso de grandes dimensões bastante fraturado.
90	92	brecha Sta. Helena		brecha xistenta intercalada com pegmatito, estando esta algo fraturada. Zona biotítica entre 90,70 - 91,00 m.	Fina entre 90,15 - 90,30 m (1%) e 91,82 - 91,87 m (1%), assim como, Média entre 90,36 - 90,56 m (2%), 91,58 - 91,62 m (2%) e 91,95 - 91,96 m (2%)	Grosseira entre 90,04 - 90,05 m (4%) e 90,79 - 90,82 m (5%)	Fina entre 90,15 - 90,30 m (0,3%), 91,23 - 91,25 m (0,6%) e 91,87 - 91,90 m (1%), assim como, Média entre 91,55 - 91,57 m (2%) e 91,95 - 91,97 m (2%)							
92	94	brecha Sta. Helena	Veio de Qz e 2 Filões biotíticos	brecha xistenta intercalada com pegmatito, estando esta algo fraturada. Presença de dois filões biotíticos entre 88,60 - 88,74 m e 89,38 - 89,60 m.	Média entre 92,08 - 92,09 m (2%) e 93,87 - 93,89 m (7%), assim como, Grosseira entre 92,46 - 92,50 m (15%) e 93,20 - 93,30 m (32%)	Fina entre 92,37 - 92,39 m (0,5%), Média entre 92,53 - 92,54 m (1%) e aos 93,58 m, assim como, Grosseira entre 93,76 - 93,79 m (12%)	Fina entre 92,35 - 92,73 m (0,5%), Média entre 92,23 - 92,25 m (3%) e 93,82 - 93,85 m (2%), assim como, Grosseira entre 92,46 - 92,50 m (7%)							
94	96	brecha Sta. Helena		brecha xistenta intercalada com granito, estando esta algo fraturada.	Fina entre 95,74 - 95,77 m (2%) e Média entre 95,30 - 95,31 m (4%)	Grosseira entre 90,04 - 90,05 m (4%) e 90,79 - 90,82 m (5%)	Fina e dispersa entre 95,46 - 95,48 m (1%) e 95,74 - 95,77 m (2%)				Grosseira entre 94,78 - 94,79 m (3%) e 95,15 - 95,16 m (2%)			
96	98	brecha Sta. Helena		brecha xistenta intercalada com granito, estando esta algo fraturada.	Média, Grosseira e disseminada entre 96,00 - 96,54 m (10%)	Grosseira entre 97,02 - 97,04 m (4%) e 97,46 - 97,48 m (7%)	Fina e disseminada entre 96,00 - 96,54 m (3%) e 97,33 - 97,37 m (2%)					BO_L_10 (96,07 - 96,14 m)		
98	100	brecha Sta. Helena	Falha	brecha xistenta com uma zona de falha composta de argilas e óxidos de ferro entre 98,40 - 98,56 m.	Fina entre 98,34 - 98,37 m (3%), Média entre 98,38 - 98,40 m (7%) e 99,95 - 99,97 m (4%)	Fina entre 99,70 - 99,72 m (2%), 99,88 - 99,90 m (1%), assim como, Média entre 98,77 - 98,79 m (2%) e 99,14 - 99,16 m (3%)	Fina entre 98,34 - 98,37 m (4%)							

Profundidade (m)		Litologia	Estruturas	Descrição	Mineralogia observada								Lâminas	Log Pictorial	
De	Até				Wolf	Py	Ccp	Apy	Sch	Sph	Chl	Grt			
100	102	brecha Sta. Helena	2 Falhas	brecha xistenta com duas zonas de falha compostas de argilas e óxidos de ferro entre 100,15 - 100,28 m e 101,70 - 101,80 m.	Média entre 100,80 - 100,82 m (6%) e 101,09 - 101,11 m (4%), assim como, Grosseira entre 100,02 - 100,04 m (8%)	Fina entre 101,61 - 101,63 m (1%), assim como, Média entre 100,37 - 100,39 m (3%) e 100,66 - 100,68 m (2%)	Fina entre 100,46 - 100,54 m (1%) e 101,85 - 101,93 m (3%)								
102	104	brecha Sta. Helena		brecha xistenta intercalada com pegmatito, estando esta algo fraturada.	Média entre 102,65 - 102,67 m (2%) e 103,24 - 103,26 m (3%), assim como, Grosseira entre 102,43 - 102,45 m	Grosseira entre 102,18 - 102,21 m (16%)	Fina e dispersa entre 102,43 - 102,86 m (2%), assim como, Média entre 102,07 - 102,08 m (2%) e 103 - 103,02 m (1%)								
104	106	brecha Sta. Helena		brecha xistenta intercalada com pegmatito, estando esta algo fraturada.	Grosseira entre 104,25 - 104,30 m (13%) e 105,86 - 105,90 m (7%)	Grosseira entre 104,33 - 104,37 m	Fina e dispersa entre 105,80 - 106,00 m (1%), assim como, Grosseira entre 104,25 - 104,30 m (8%) e 104,33 - 104,37 m (6%)		Dispersa pela amostra (0,5%)					BO_L_11 (104,25 - 104,30 m)	brecha de Sta. Helena, corpo brechoide composto por fragmentos angulares com variadas dimensões de granito, tonalito e xisto. É ainda de acrescentar que este apresenta uma matriz quartzosa com alguns cristais finos de volframite visíveis assim como alguma clorite secundária disseminada na rocha ou na matriz quartzosa. O contacto deste corpo com as rochas encaixantes é marcado por um corpo quartzoso de grandes dimensões bastante fraturado.
106	108	brecha Sta. Helena		brecha xistenta intercalada com pegmatito, estando esta algo fraturada.	Média e Grosseira entre 107,12 - 107,14 m (12%) e 107,38 - 107,90 m (8%)	Grosseira entre 106,23 - 106,26 m (2%) e 107,38 - 107,90 m (4%)	Grosseira entre 106,23 - 106,26 m (5%) e 107,38 - 107,90 m (10%)		Dispersa pela amostra (1%)						
108	110	brecha Sta. Helena		brecha xistenta intercalada com pegmatito, estando esta algo fraturada.	Média entre 108,20 - 108,23 m (4%), assim como, Grosseira entre 108,42 - 108,45 m (8%) e 108,64 - 108,88 m (14%)	Grosseira entre 108,64 - 108,88 m (2%) e 109,64 - 109,67 m (6%)	Média entre 108,42 - 108,45 m (3%) e 109,89 - 109,91 m (3%), assim como, Grosseira entre 108,64 - 108,88 m (3%)								
110	112	brecha Sta. Helena		brecha xistenta intercalada com pegmatito e granito, estando esta algo fraturada.	Grosseira entre 110,40 - 110,65 m (13%) e 111,50 - 111,65 m (6%)	Grosseira entre 110,40 - 110,65 m (5%)	Média entre 111,16 - 111,20 m (3%) e Grosseira entre 111,32 - 111,35 m (5%)								
112	114	brecha Sta. Helena		brecha xistenta intercalada com pegmatito e granito, estando esta algo fraturada. Zona oxidada entre 113,67 - 113,83 m.	Fina entre 113,90 - 11,93 m (2%), Média entre 112,52 - 112,54 m (4%), assim como, Grosseira entre 112,14 - 112,24 m (10%) e 113,05 - 113,08 m		Grosseira entre 112,10 - 112,13 m (5%)								

Profundidade (m)		Litologia	Estruturas	Descrição	Mineralogia observada								Lâminas	Log Pictorial
De	Até				Wolf	Py	Ccp	Apy	Sch	Sph	Chl	Grt		
114	116	brecha Sta. Helena		brecha xistenta intercalada com pegmatito, estando esta algo fraturada. Zona oxidada entre 114,30 - 114,86 m.	Média entre 115,63 - 115,86 m (5%), assim como, Grosseira entre 114,14 - 114,16 m (7%), 114,90 - 114,94 m (10%), 115,00 - 115,16 m (9%) e 115,63 - 115,86 m (5%)	Média entre 115,00 - 115,16 m (2%)	Grosseira entre 114,00 - 114,20 m (4%), 115,00 - 115,16 m (6%) e 115,63 - 115,86 m (10%)							brecha de Sta. Helena, corpo brechoide composto por fragmentos angulares com variadas dimensões de granito, tonalito e xisto. É ainda de acrescentar que este apresenta uma matriz quartzosa com alguns cristais finos de volframite visíveis assim como alguma clorite secundária disseminada na rocha ou na matriz quartzosa. O contacto deste corpo com as rochas encaixantes é marcado por um corpo quartzoso de grandes dimensões bastante fraturado.
116	118	brecha Sta. Helena		brecha xistenta intercalada com pegmatito, estando esta algo fraturada.	Média e Grosseira entre 116,18 - 116,20 m (7%) e 116,46 - 116,75 m (5%)	Fina entre 116,46 - 116,75 m (2%) e Média entre 116,77 - 116,82 m (5%)	Média entre 116,46 - 116,75 m (10%)							
118	120	brecha Sta. Helena		brecha granítica bastante fraturada com zona argilizada embora consolidada entre 117,70 - 119,00 m.										
120	122	brecha Sta. Helena		brecha, sendo esta extremamente quartzosa e muito fraturada.										
122	136	brecha Sta. Helena	Falha	Entre 121,70 - 136,30 m: Zona de falha com material bastante argilizado, é também possível observar veios de Qz. Deduz-se que, a falha se encontra no contacto entre a brecha e o granito.										Falha
136	139	Granito												Granito de duas micas equigranular com alteração clorite penetrativa, esta diminui à medida que aumenta a profundidade. Este granito apresenta também alguns veios de quartzo sem mineralização visível. Existe uma interferência da brecha nos primeiros metros deste corpo (zona de transição)
139	140	Granito	Falha	Falha com preenchimento argiloso entre 139,40 - 139,50 m.										
140	141	Granito	Falha	Falha com preenchimento argiloso entre 140,00 - 140,10 m.										
141	142	Granito												
142	143	Granito	Veio de Qz	Entre 142,66 - 142,75 m: Veio de Qz com Chl e sulfuretos associados.									BO_L_12 (142,10 - 142,12 m)	

Profundidade (m)		Litologia	Estruturas	Descrição	Mineralogia observada								Lâminas	Log Pictorial	
De	Até				Wolf	Py	Ccp	Apy	Sch	Sph	Chl	Grt			
143	144	Granito	Veio de Qz	Entre 143,25 - 143,34 m: Veio de Qz com Chl e sulfuretos associados.									Granito de duas micas equigranular com alteração clorite penetrativa, esta diminui à medida que aumenta a profundidade. Este granito apresenta também alguns veios de quartzo sem mineralização visível. Existe uma interferência da brecha nos primeiros metros deste corpo (zona de transição)		
144	145	Granito	Veio de Qz	Entre 143,80 - 144,80 m: Veio de Qz com Chl e sulfuretos associados.											
145	146	Granito	Veio de Qz	Entre 145,45 - 146,00 m: Veio de Qz com Chl e sulfuretos associados.											
146	147		Falha	Falha com preenchimento argiloso entre 146,10 - 148,20 m, 148,90 - 149,40 m e 149,70 - 149,85 m.											
147	148														
148	149														
149	150														
150	151	Granito													
151	152	Granito													
152	153	Granito													
153	154	Granito													
154	155	Granito													
155	156	Granito													
156	157	Granito													
157	158	Granito													
158	159	Granito													
159	160	Granito													
160	161	Granito													
161	161	Granito													
Fim da Sondagem															

8.2. Anexo II – Fichas do estudo petrográfico

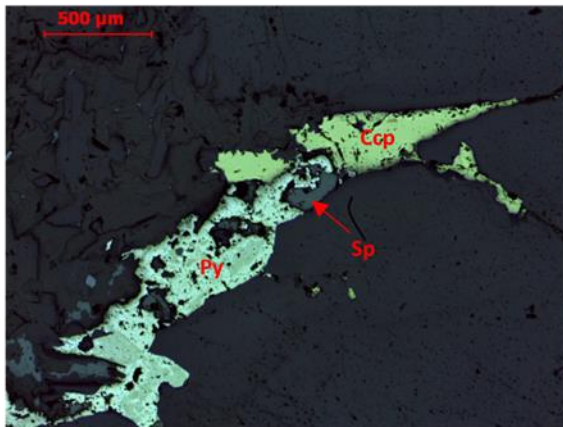
BO_L_1

Foto em amostra de mão

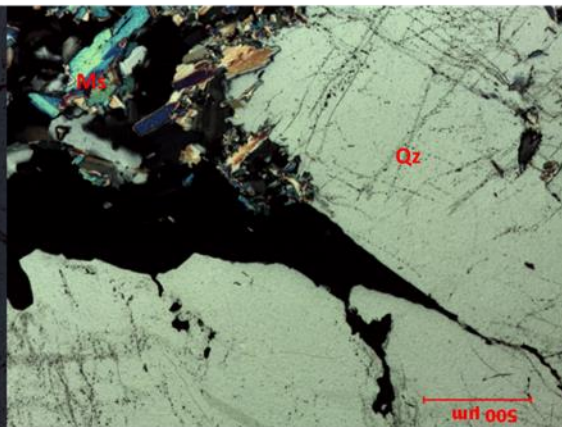


A amostra é constituída por uma rocha granítica com moscovitização evidente, assim como, por vários filonetes de quartzo multidirecionais. De um modo geral, a mineralização está dispersa por toda a amostra, no entanto denota-se uma relação mais estreita com as zonas com maior moscovitização.

Microscopia de Luz Refletida

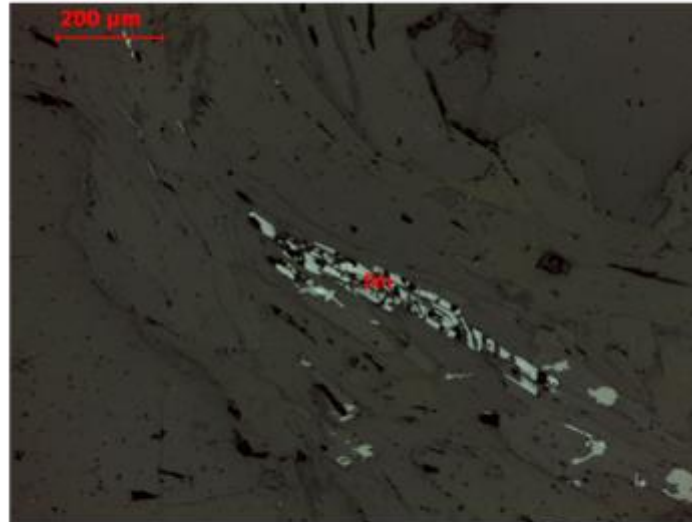


Microscopia de Luz Transmitida



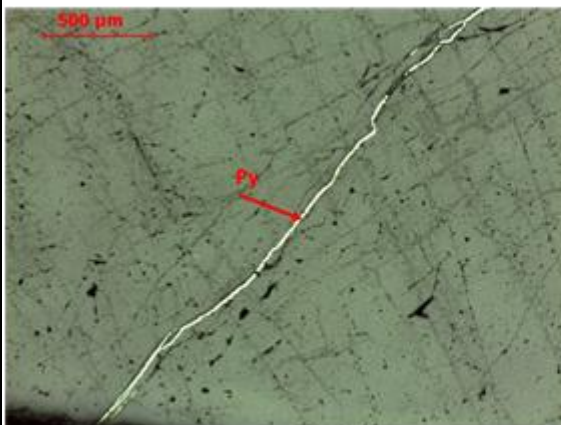
Neste conjunto de imagens pode-se perceber que os sulfuretos como Calcopirite (CuPy), Esfalerite (Sph) e Pirite (Py), estão associados entre si e preenchem fraturas no quartzo. Pode-se ainda observar que a moscovite está associada aos sulfuretos.

Microscopia de Luz Refletida

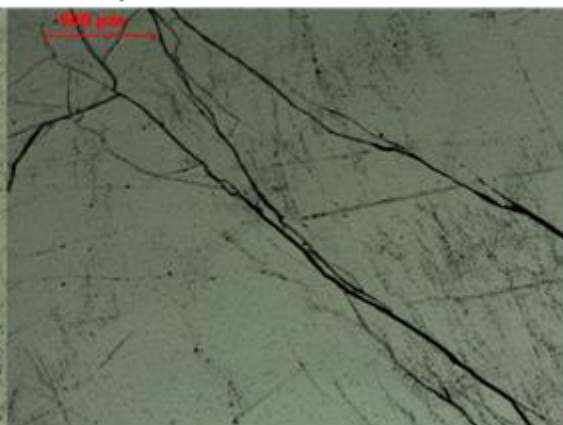


Na imagem é visível o alinhamento do cristal de Ilmenite (Ilm) que ocorre ao longo de planos de clivagem da moscovite.

Microscopia de Luz Refletida

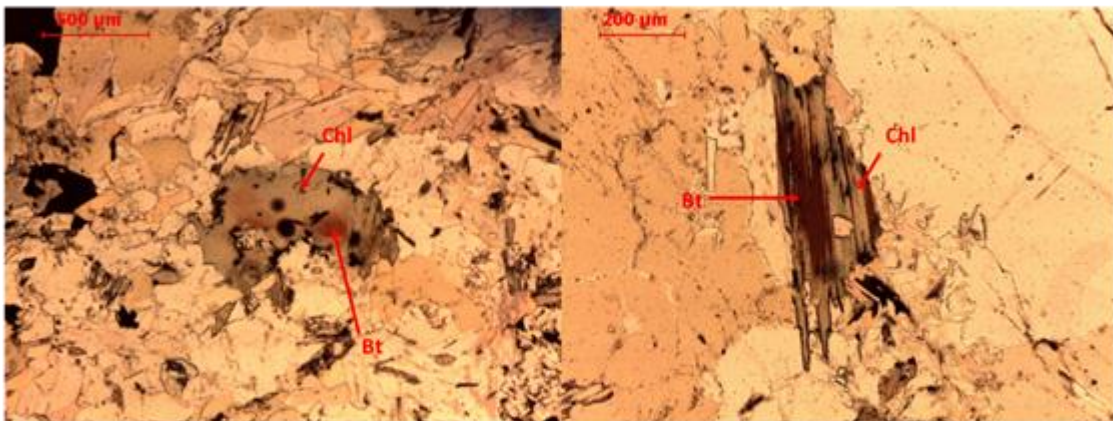


Microscopia de Luz Transmitida



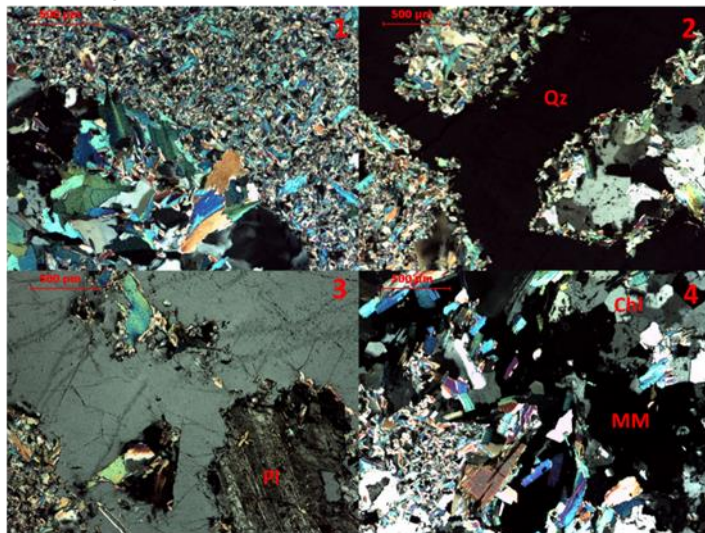
Nos cristais de Qz com grandes dimensões observa-se que algumas das suas fissuras estão preenchidas com Py.

Microscopia de Luz Transmitida NP

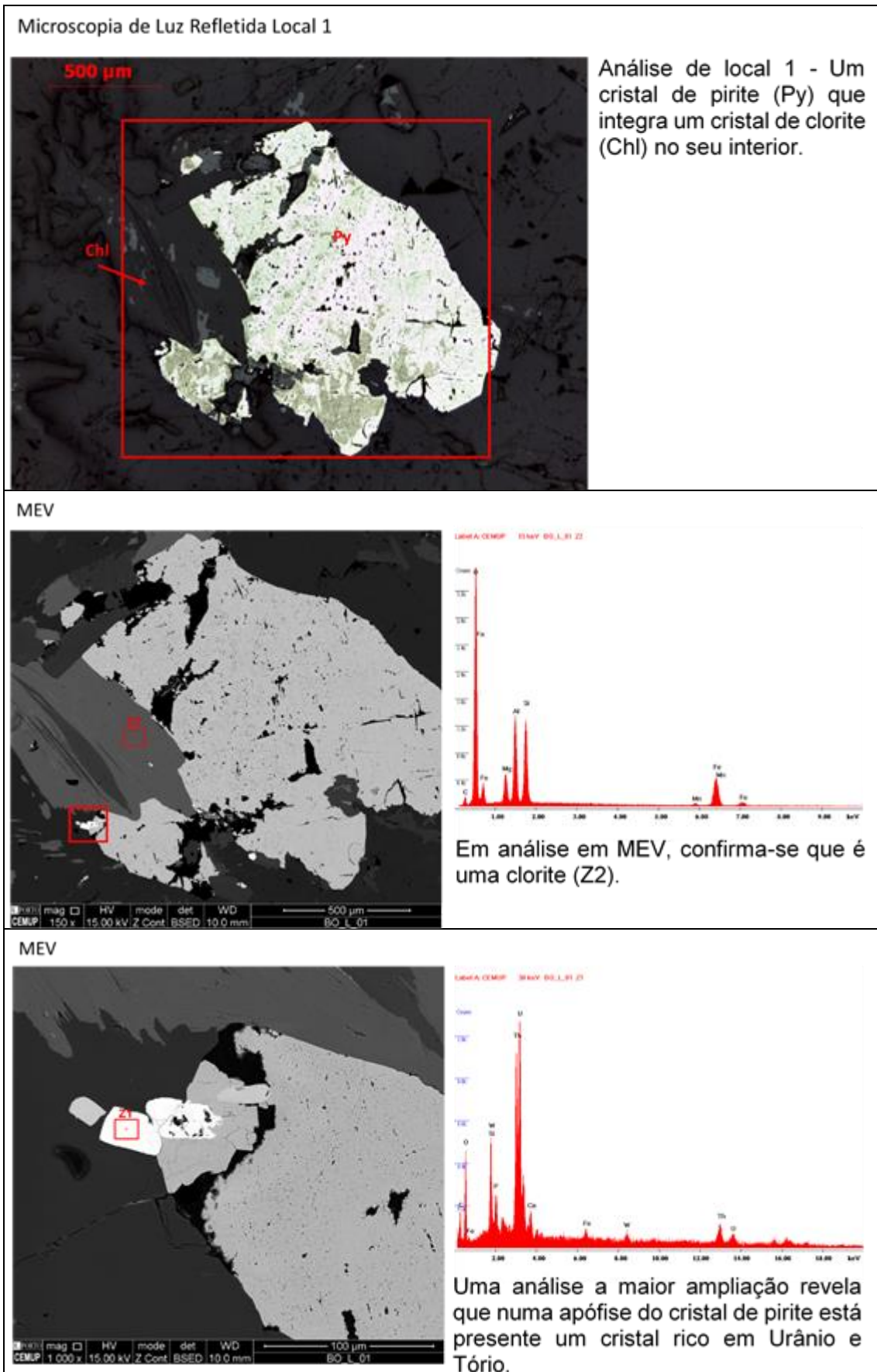


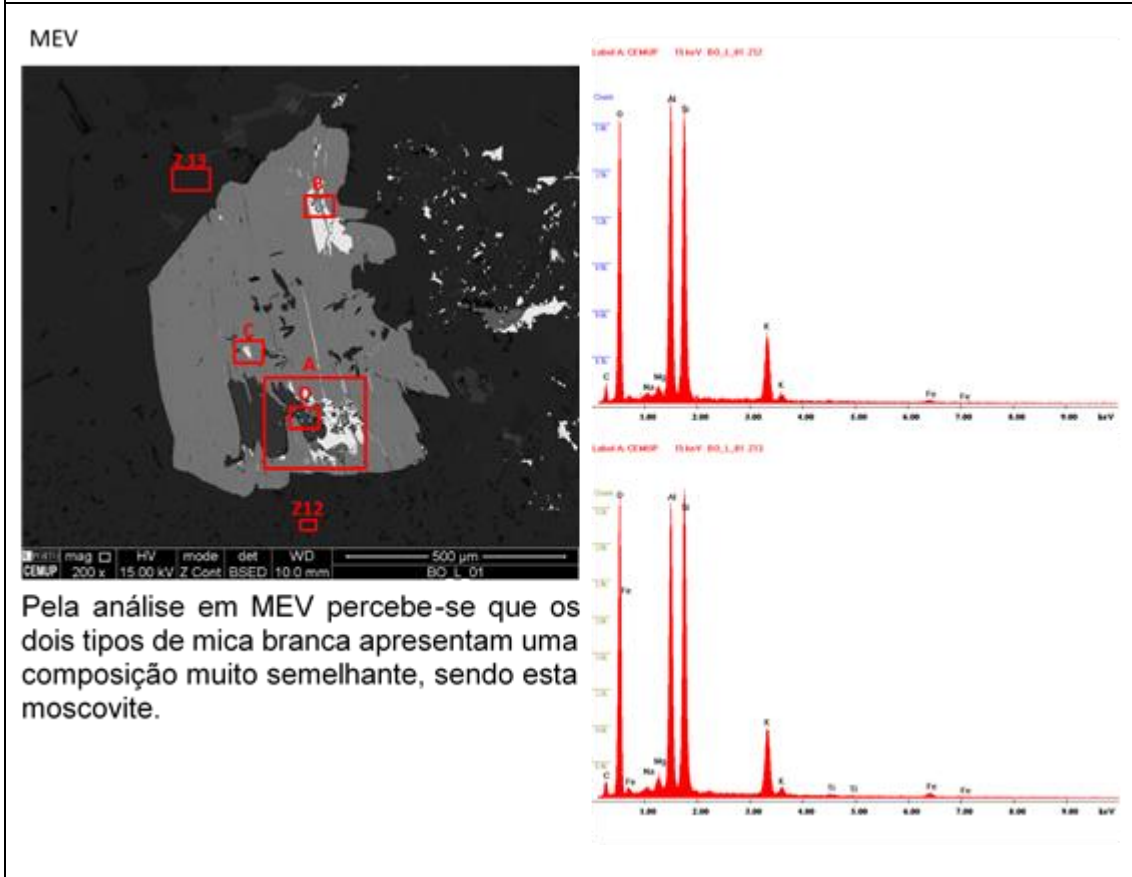
Em ambas as imagens verifica-se um fenómeno de cloritização da biotite (Bt) na rocha granítica. Este facto depreende-se devido à observação de resquícios de biotite e de halos pleocroicos relativos à presença de zircão no interior de cristais de clorite (Chl).

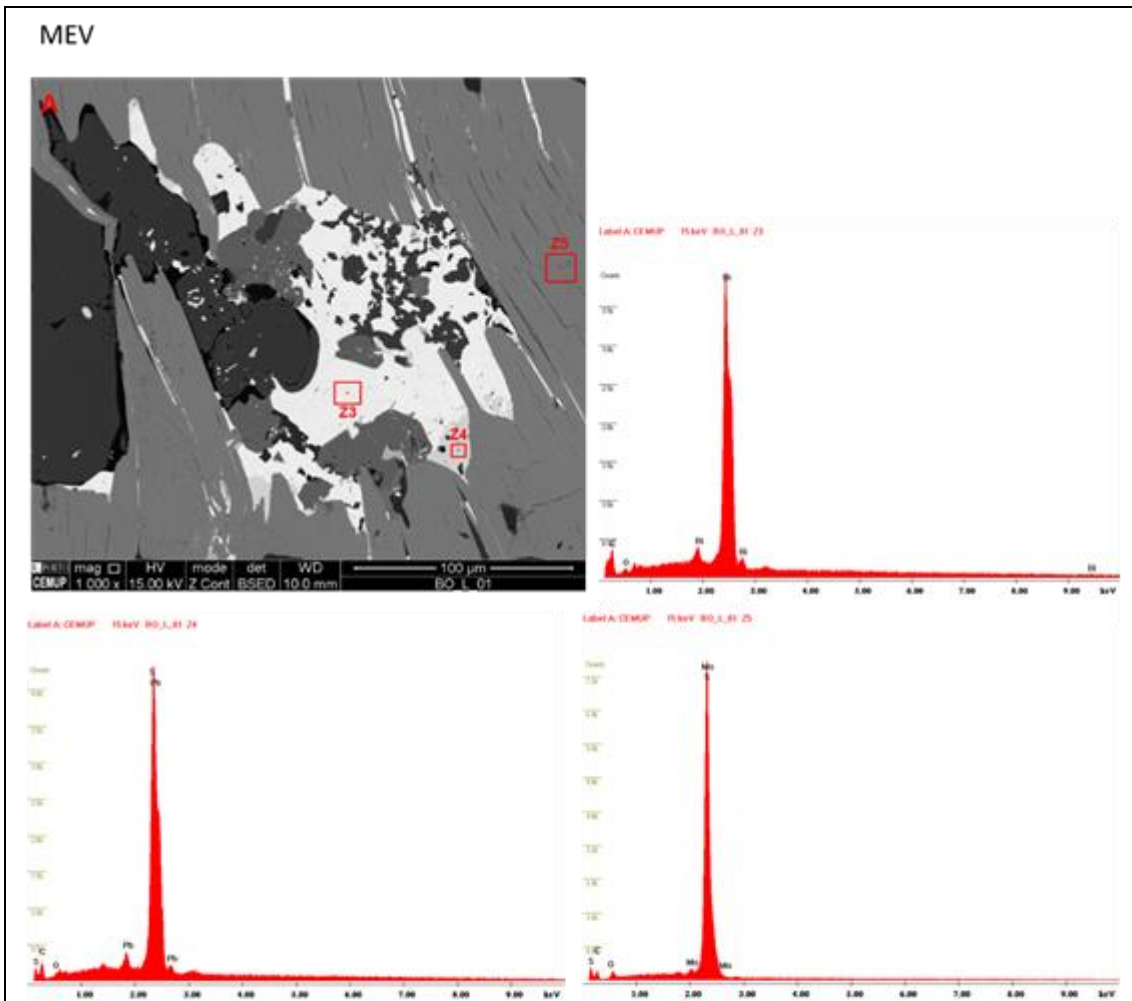
Microscopia de Luz Transmitida NC



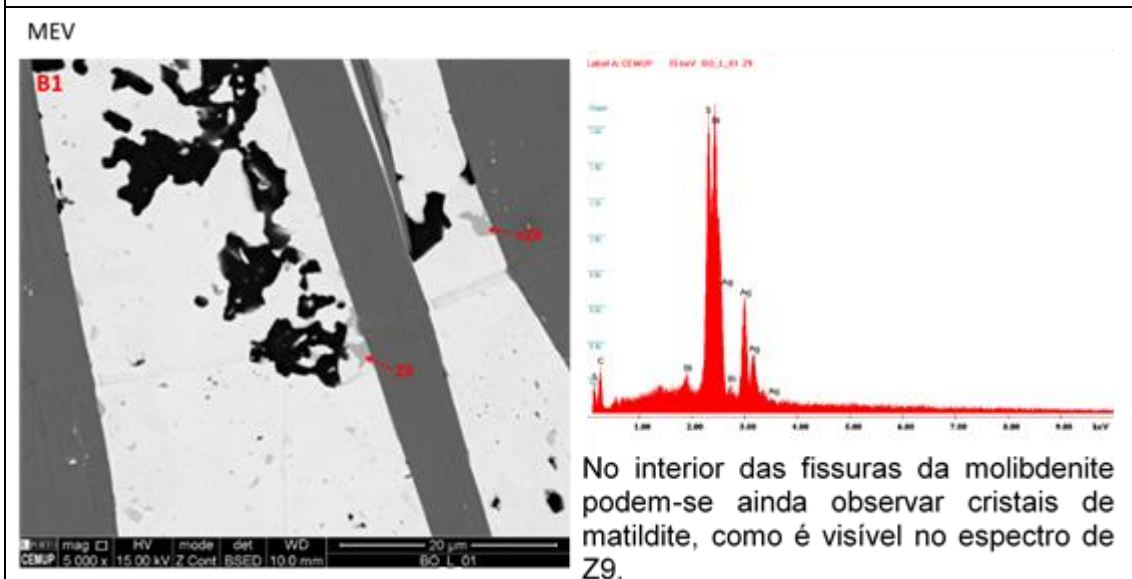
- 1 - Moscovitização e sericitização - Presença de dois tipos de mica branca, a de maiores dimensões (moscovite), é posterior à de pequenas dimensões (sericite). Imagem em nicóis cruzados (NC).
- 2 - O Qz a ocupar grande parte da lâmina. Sericite nos bordos deste quartzo.
- 3 - O Qz é posterior à plagioclase (Plg).
- 4 - A clorite (Chl) encontra-se interligada com os minerais metálicos (MM).



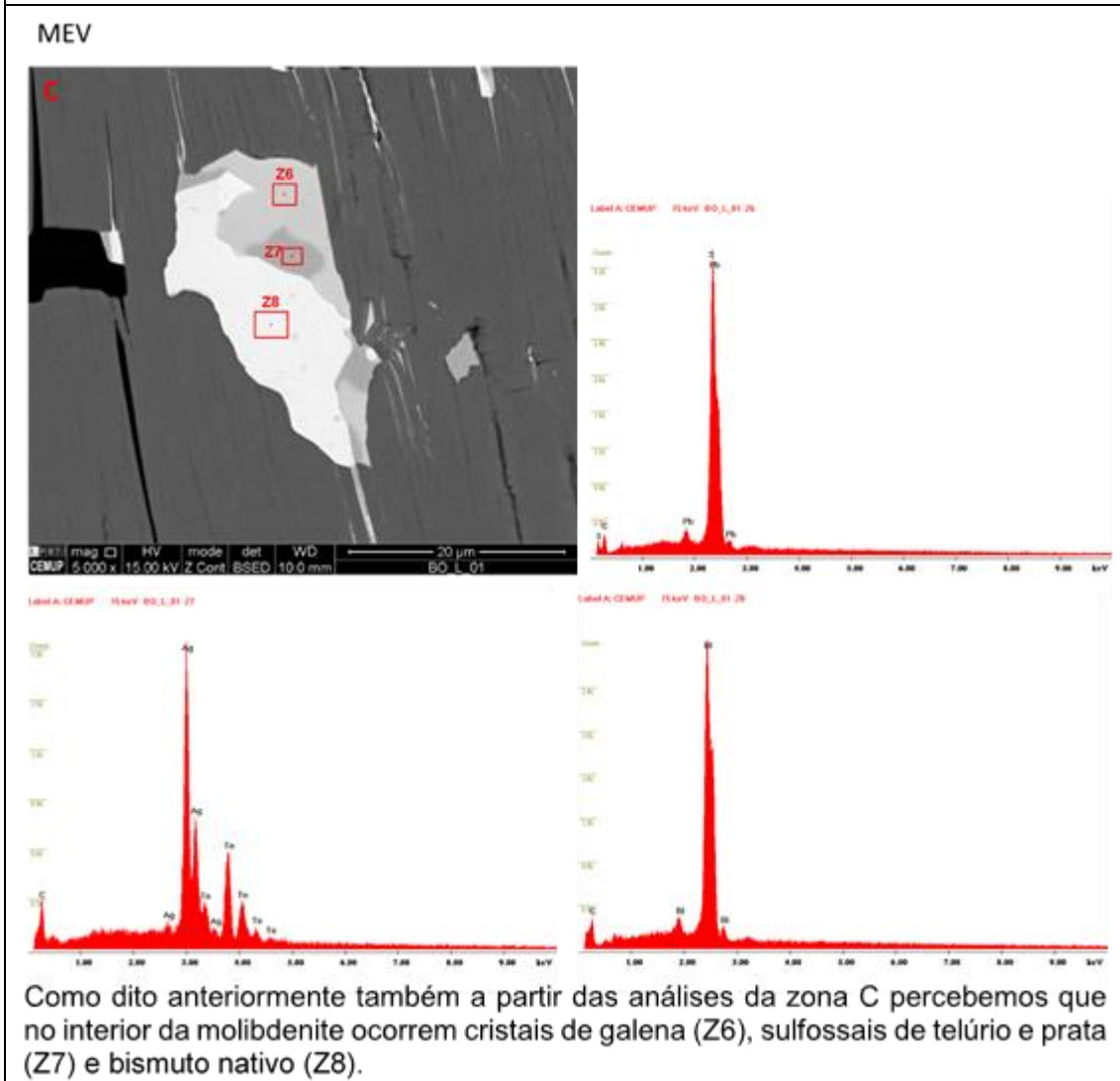
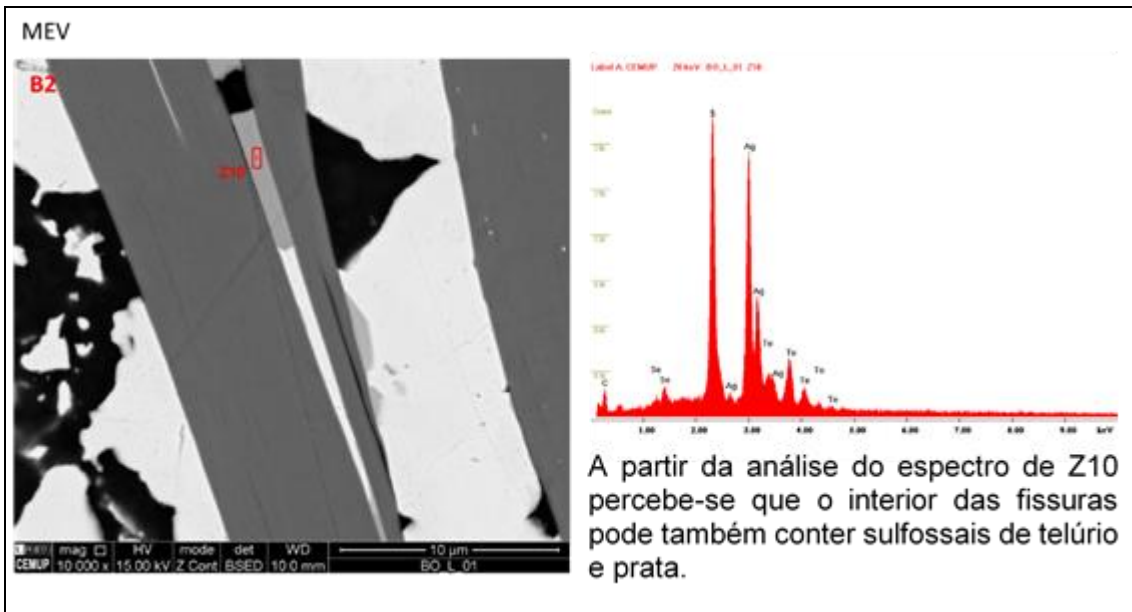


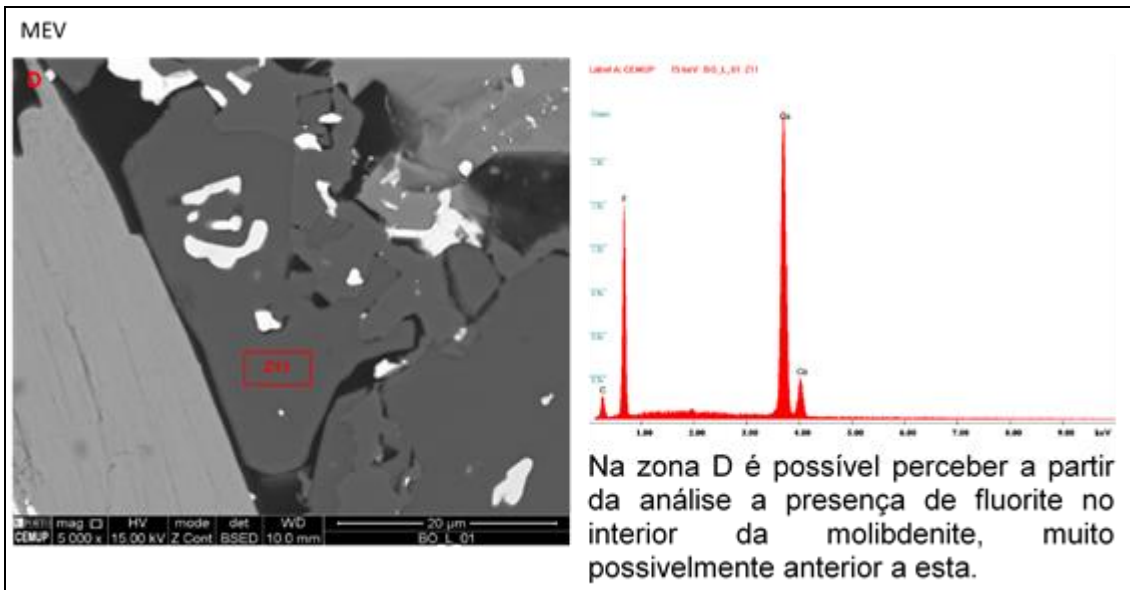


Numa maior ampliação e a partir da análise em MEV pode-se afirmar que o mineral encaixante (Z5) é uma molibdenite e no seu interior podem-se encontrar bismuto nativo (Z3) e galena (Z4).



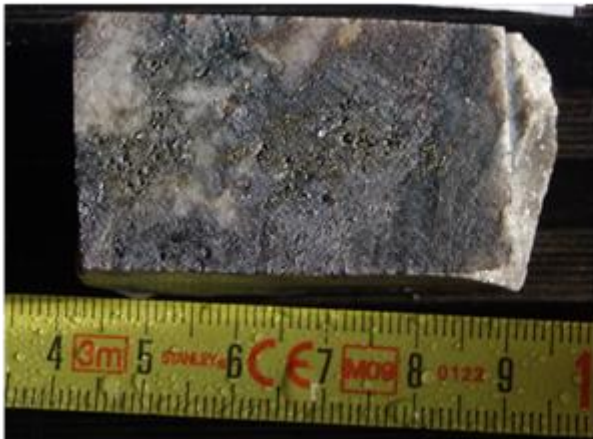
No interior das fissuras da molibdenite podem-se ainda observar cristais de matildite, como é visível no espectro de Z9.





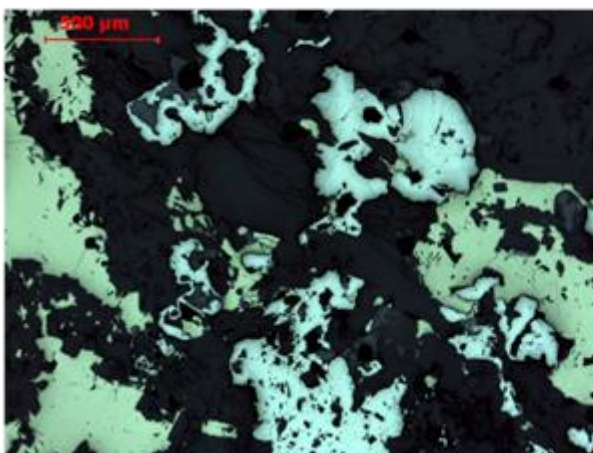
BO_L_2

Foto em amostra de mão



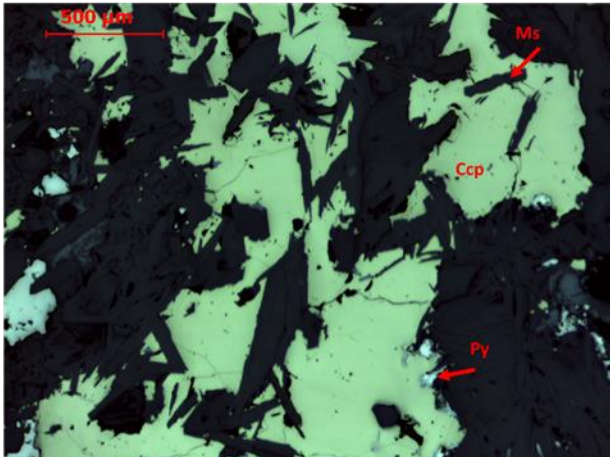
A amostra é constituída por uma rocha granítica com moscovitização evidente, assim como, por vários filonetes de quartzo multidirecionais. É ainda possível observar uma zona com cristais de plagioclase. De um modo geral, a mineralização está dispersa por toda a amostra. No entanto, denota-se uma relação mais estreita com as zonas com maior moscovitização.

Microscopia de Luz Refletida



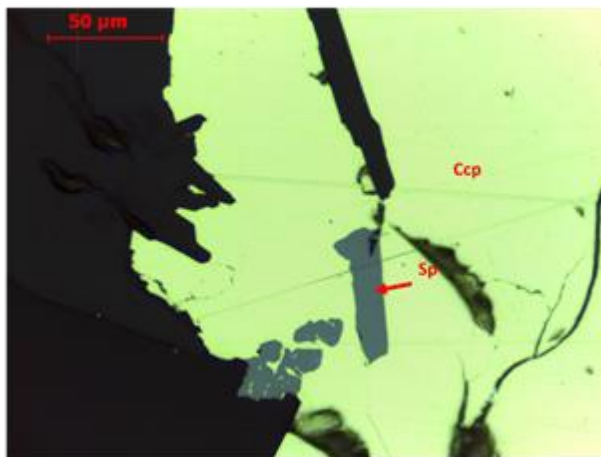
Mineralização dispersa por toda a lâmina parecendo que ocupou os locais que estavam vazios.

Microscopia de Luz Refletida



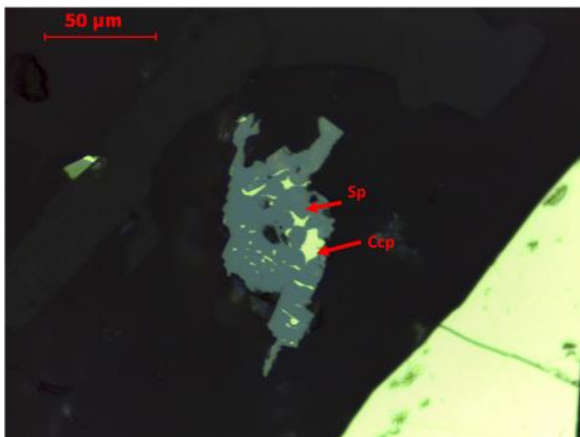
A calcopirite ocorre um pouco por toda a lâmina, ocorrendo no seu interior pirite. Esta figura permite ainda perceber que para além da pirite também a moscovite (Ms) de pequenas dimensões ocorre no interior da calcopirite.

Microscopia de Luz Refletida



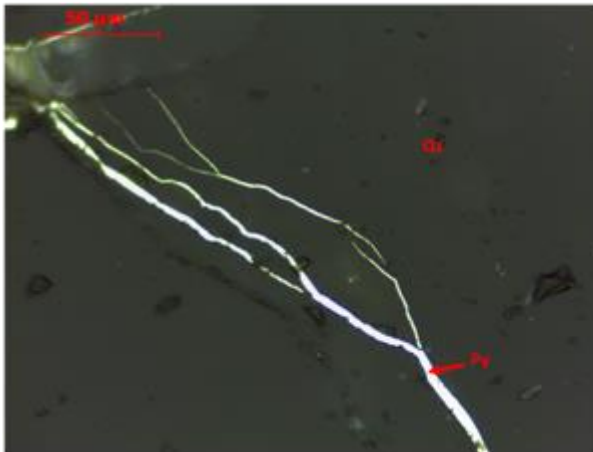
Pela observação a microscópio ótico é possível inferir que a esfalerite (Sp) está contida no interior da calcopirite (Ccp), com uma forma subédrica.

Microscopia de Luz Refletida



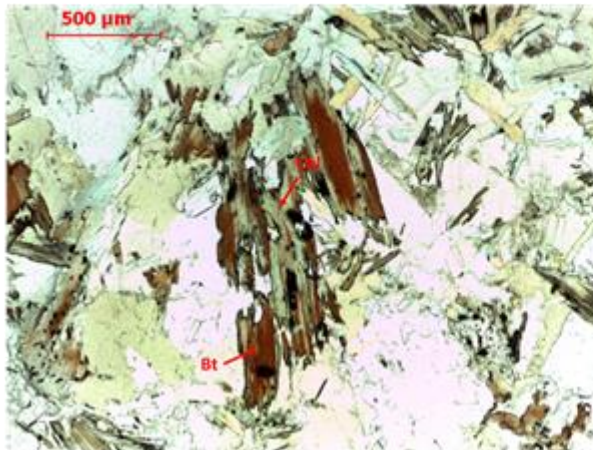
Além do constatado anteriormente é ainda perceptível a presença de calcopirite (Ccp) no interior da esfalerite (Sp).

Microscopia de Luz Refletida



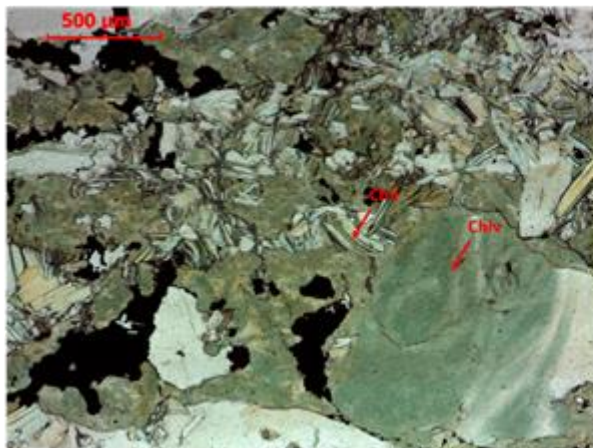
É observado que no quartzo (Qz), as suas fendas encontram-se preenchidas por uma mineralização tardia. Esta mineralização é pirite (Py).

Microscopia de Luz Transmitida



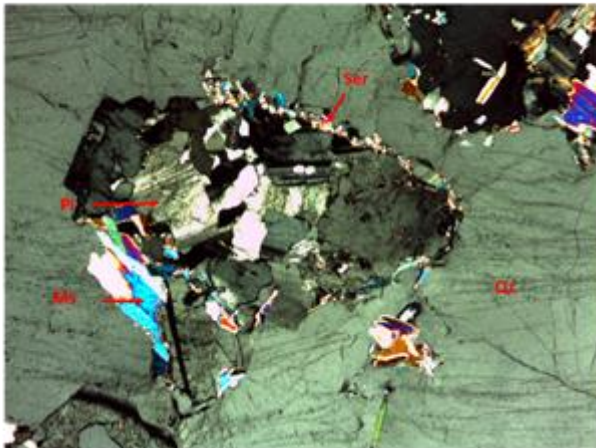
A partir da imagem é perceptível que a biotite (Bt) sofreu um processo de alteração hidrotermal, formando-se clorite (Chl).

Microscopia de Luz Transmitida



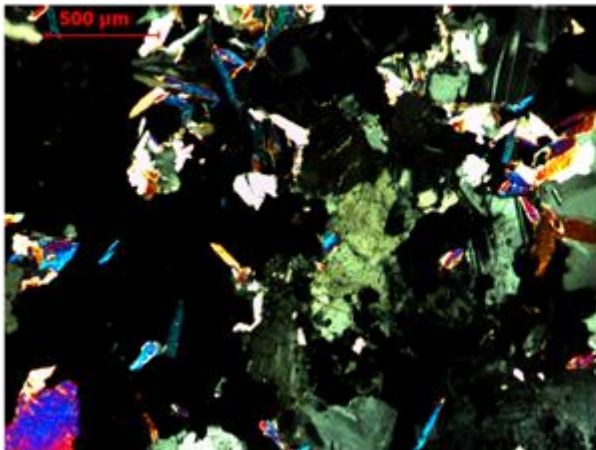
Podem-se visualizar dois tipos de clorite nesta amostra. Uma clorite vermicular (Chlv) e uma clorite lamelar (Chll).

Microscopia de Luz Transmitida



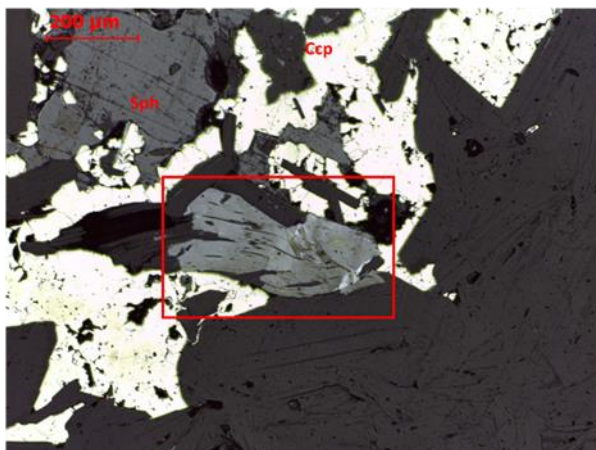
No interior do quartzo tardio são observados aglomerados de outros minerais, tais como plagioclase (Pl) e os dois tipos de mica branca (Moscovite, Sericite).

Microscopia de Luz Transmitida

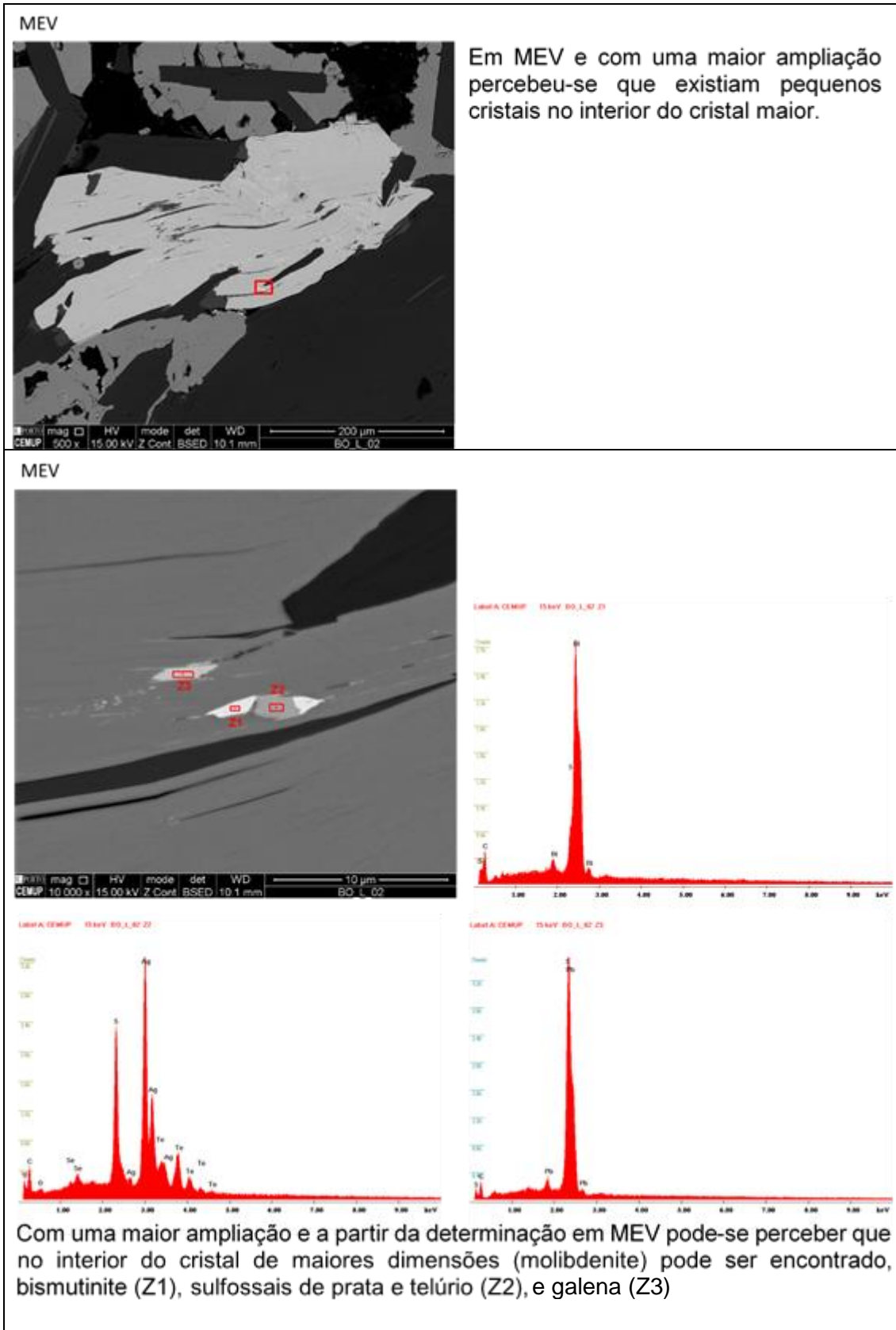


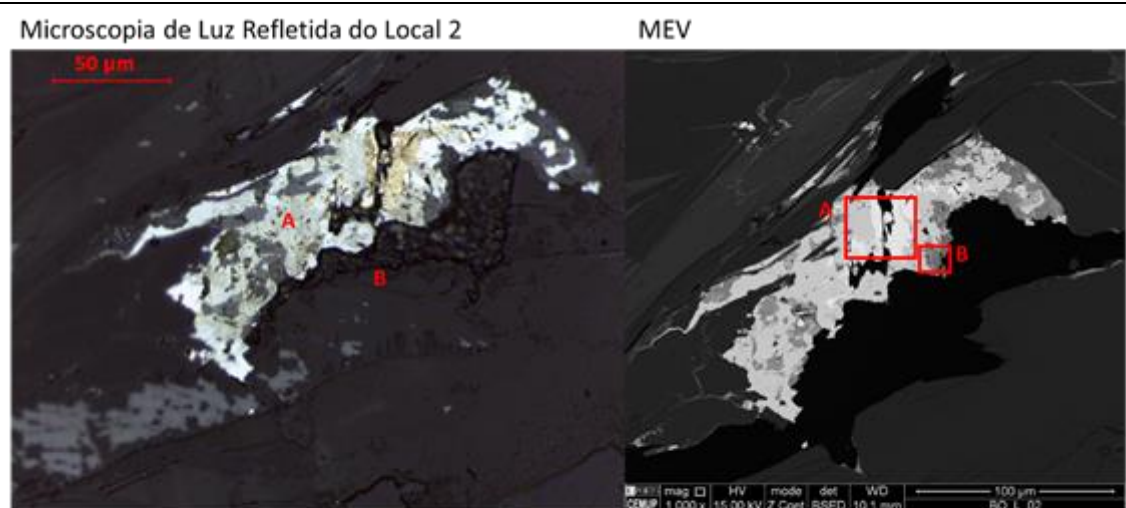
A mineralização está relacionada com uma zona greisenizada.

Microscopia de Luz Refletida do Local 1

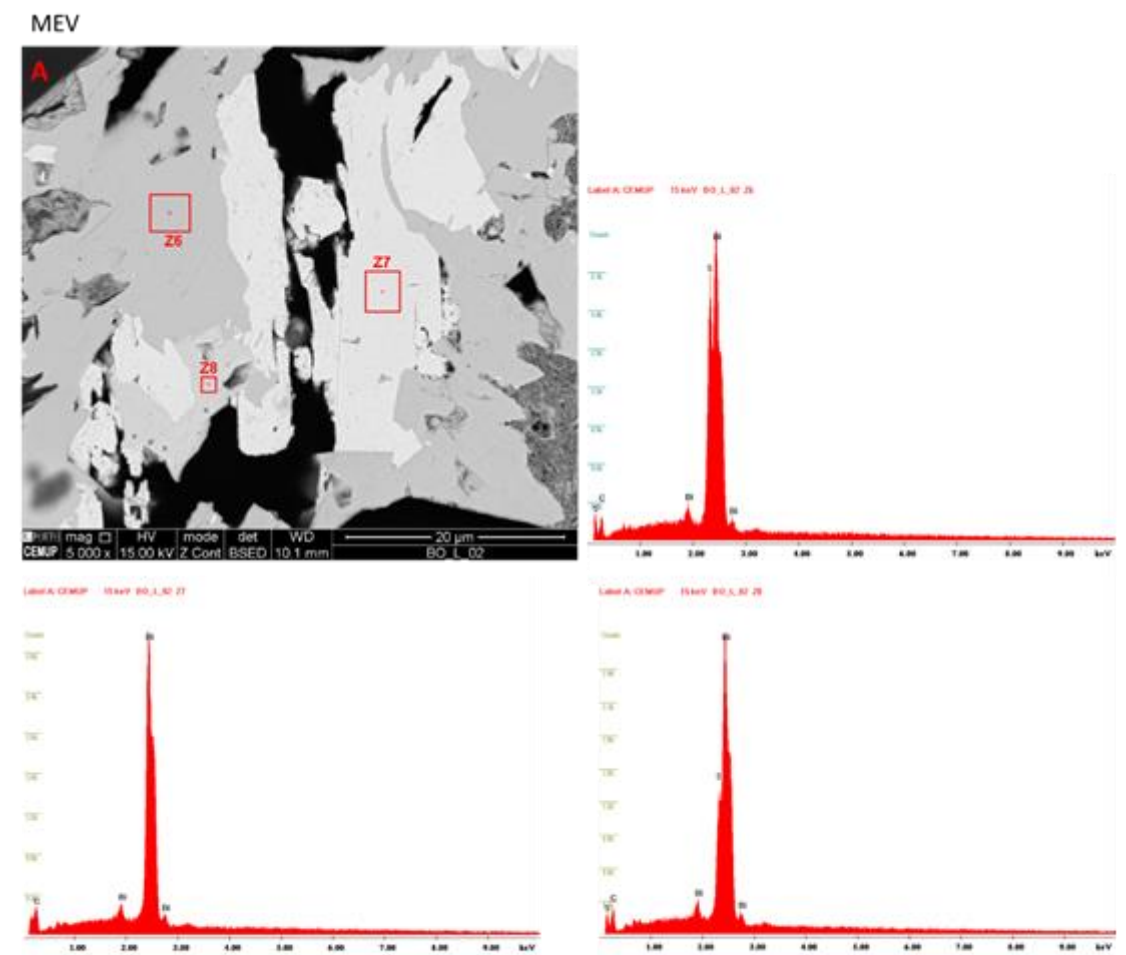


Uma vez que se observou um cristal desconhecido procedeu-se à sua observação em MEV.

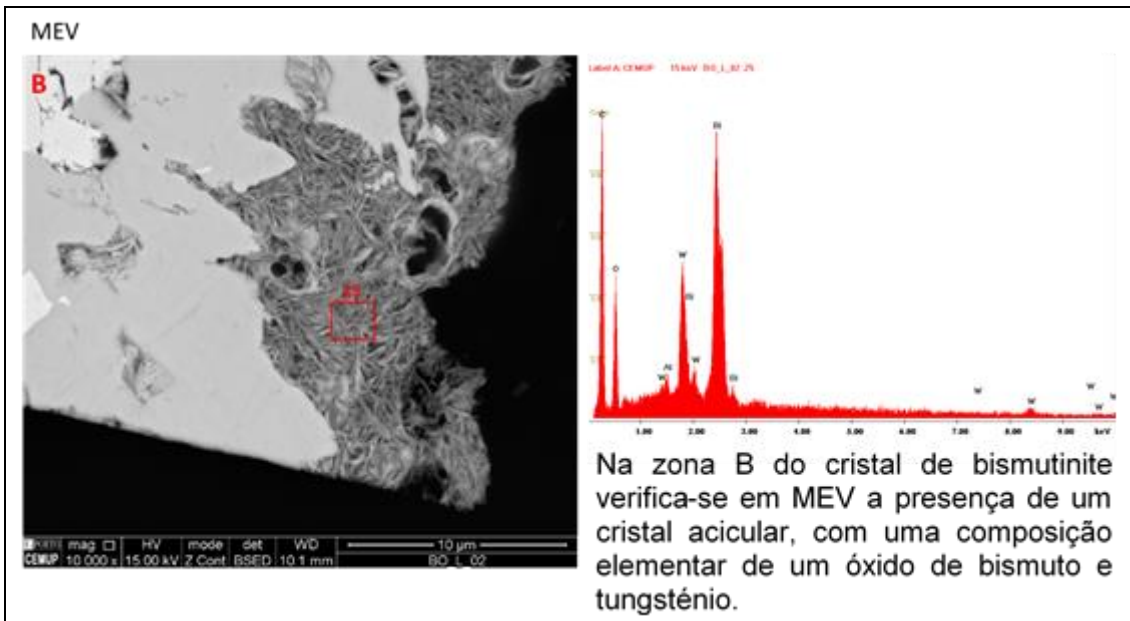




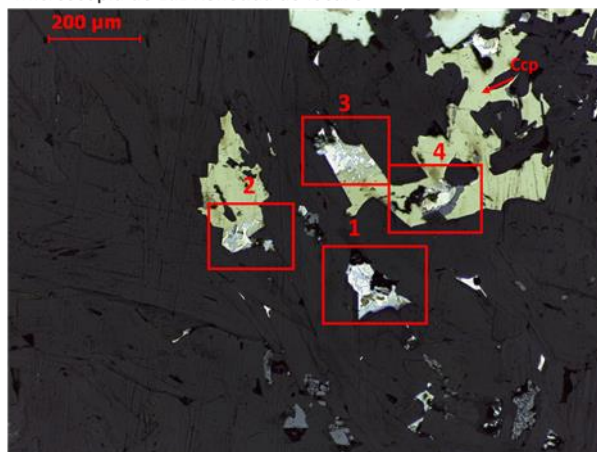
No local dois verificou-se uma variedade de minerais e com vista a melhor identifica-
los procedeu-se então ao seu estudo em MEV, definindo assim duas zonas alvo (A,B).



Na zona A, pode-se perceber que o mineral maior é uma bismutinite (Z6) e no seu
interior verifica-se a presença de bismuto nativo (Z7) e de um outro cristal de
bismutinite (Z8).

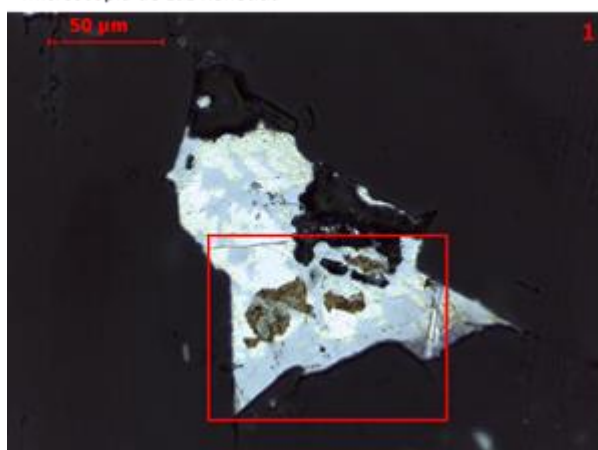


Microscopia de Luz Refletida do local 3

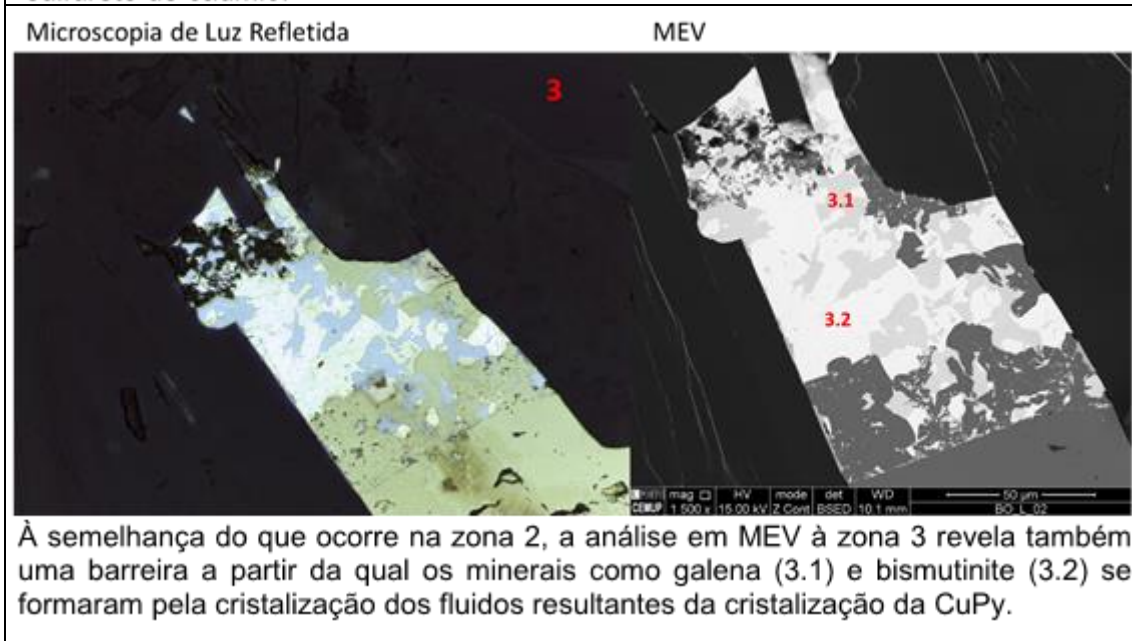
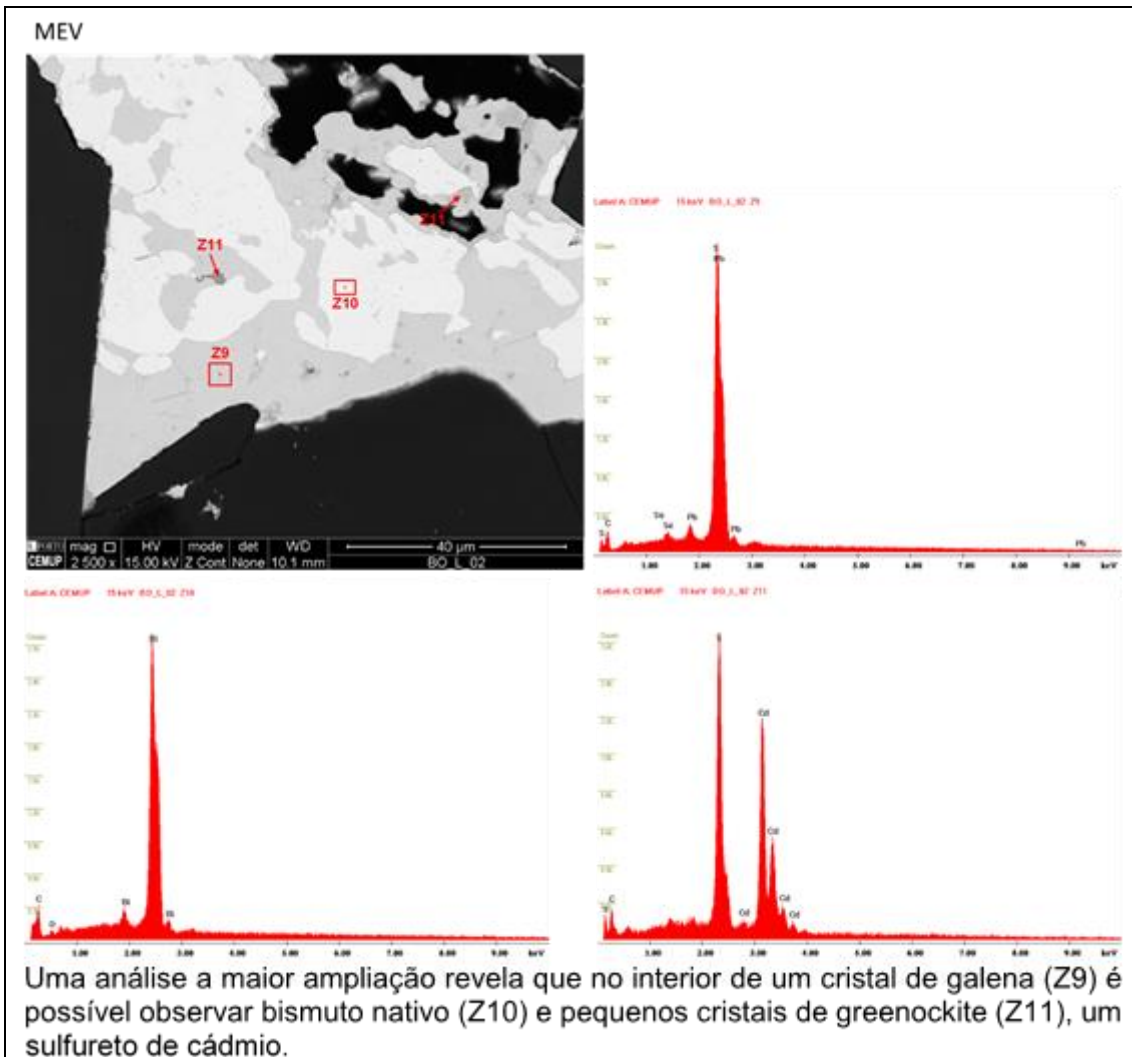


Em microscopia ótica de luz refletida observou-se o local 3, onde se observam cristais de calcopirite (Ccp), com alguns cristais não identificados nas suas extremidades. Com vista a melhor identificá-los procedeu-se ao seu estudo em MEV, definindo-se assim quatro zonas de estudo.

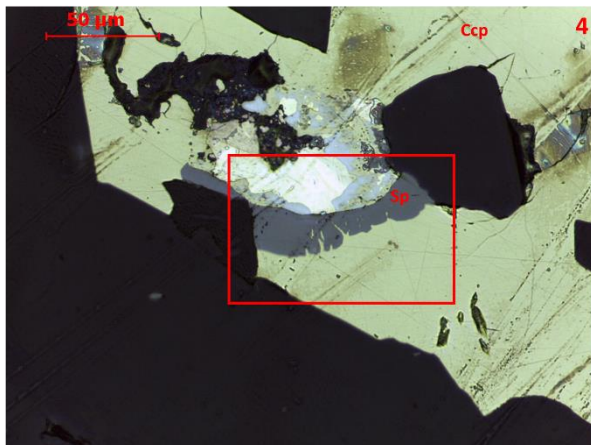
Microscopia de Luz Refletida



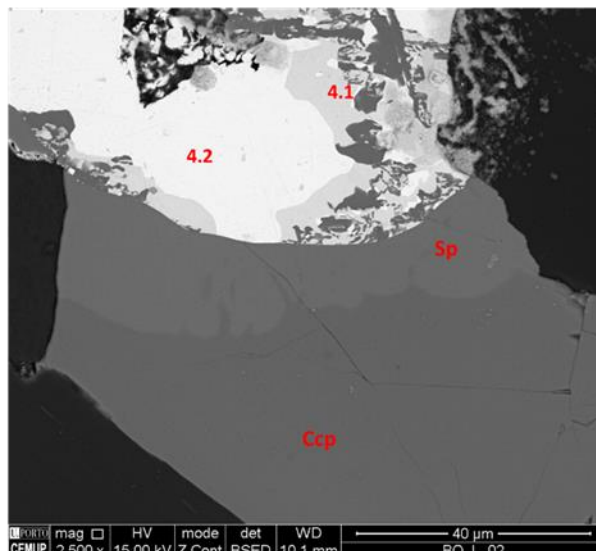
Na zona de estudo 1 focou-se o estudo na diversidade mineralógica presente no interior do cristal, tal foi visível em microscopia ótica, como demonstra a imagem.



Microscopia de Luz Refletida



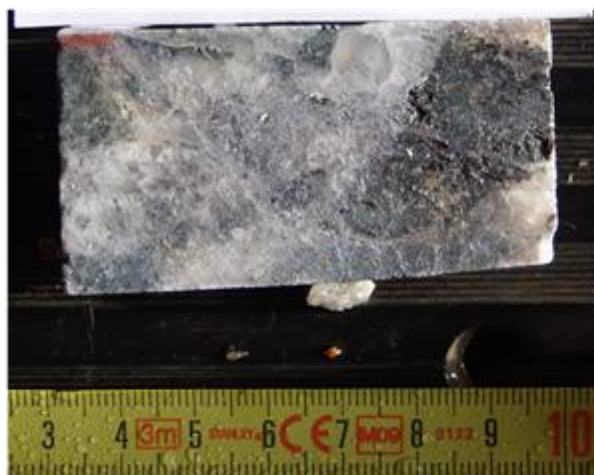
MEV



À semelhança do que ocorre na zona 2 e 3 , a análise em MEV à zona 4 revela também uma barreira. No entanto, esta ocorre a partir da esfalerite (Sp), estando esta em contacto com a Ccp. Os minerais como galena (4.1) e bismutinite (4.2) formaram-se através da cristalização dos fluidos resultantes da cristalização da Ccp e da Sp.

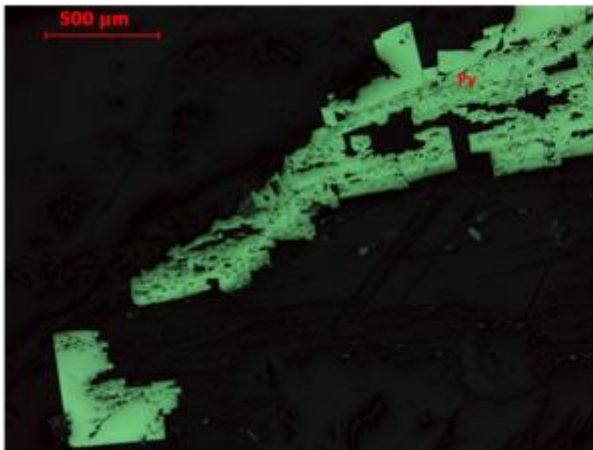
BO_L_3

Foto em amostra de mão



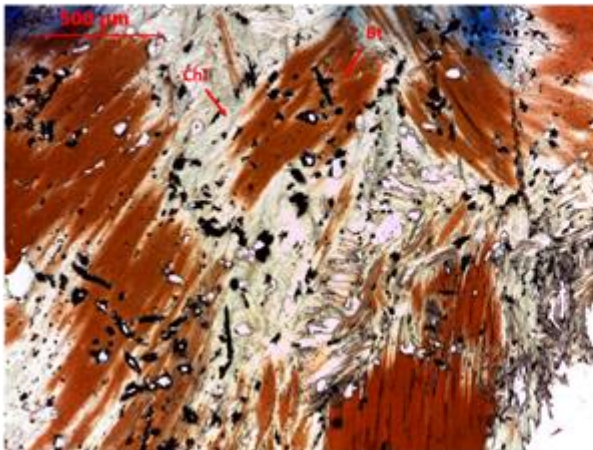
A amostra analisada é constituída por uma rocha granítica com uma zona de greisenificação, podendo-se encontrar diversos veios multidirecionais de quartzo. Além disto, esta amostra é caracterizada pela presença de um nódulo de clorite encontrando-se a mineralização na sua maioria no interior deste.

Microscopia de Luz Refletida



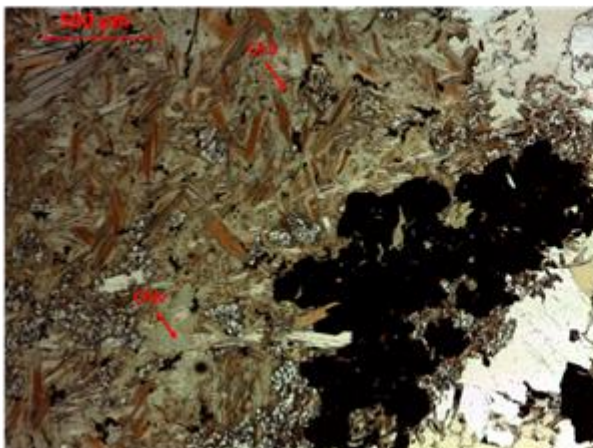
Pela lâmina são observáveis duas gerações distintas de pirite (Py), tal deve-se ao facto de se observarem diferenças na sua forma, uma vez que, uma destas é intensamente euédrica.

Microscopia de Luz Transmitida



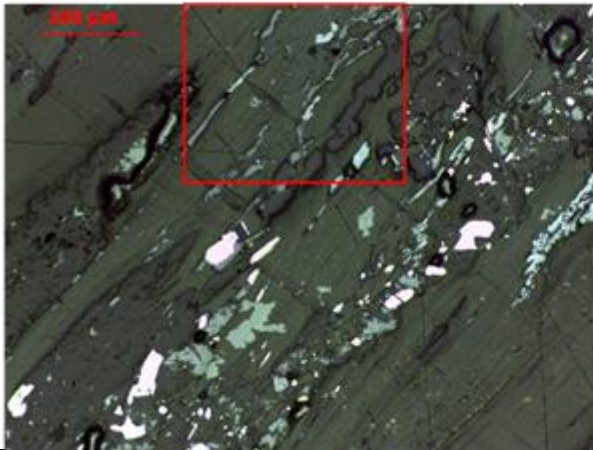
A clorite apresenta um hábito lamelar preservando esta a forma da biotite. Além disso, a biotite no seu interior funciona como indicador de que esta ocorreu a partir desta mica.

Microscopia de Luz Transmitida



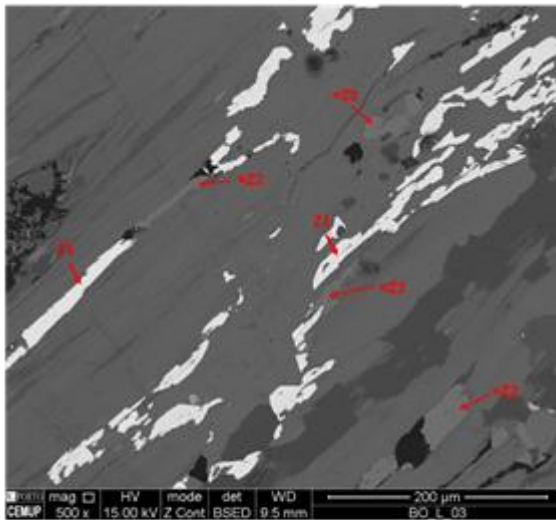
Como dito anteriormente, a mineralização está interligada com a clorite. Assim, podem ser observados dois tipos deste mineral, a lamelar (Chl) e a vermicular (Chlv).

Microscopia de Luz Refletida do Local 1

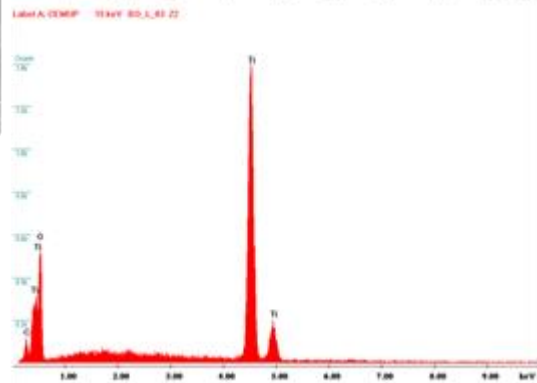
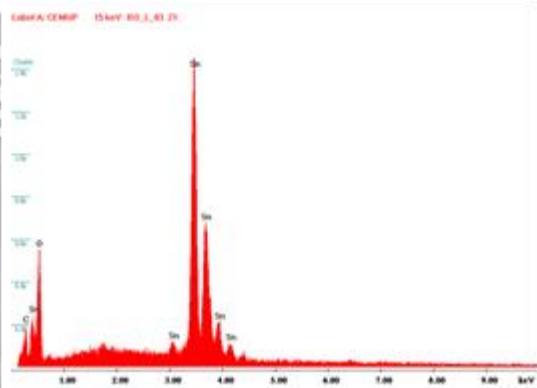


Através do estudo em microscopia ótica de luz refletida pode-se observar uma área na qual ocorrem dois minerais distintos de difícil identificação. Como tal procedeu-se ao seu estudo em MEV.

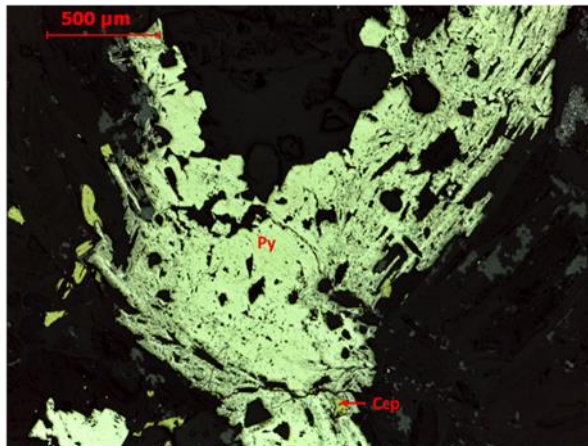
MEV



Pelo estudo em MEV podemos identificar os dois minerais como cassiterite (Z1) e ilmenite (Z2).

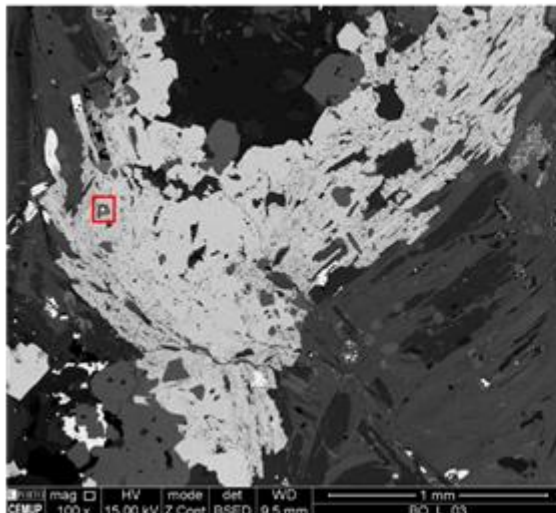


Microscopia de Luz Refletida do local 2



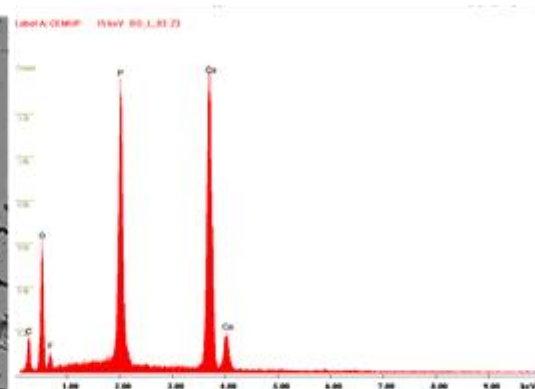
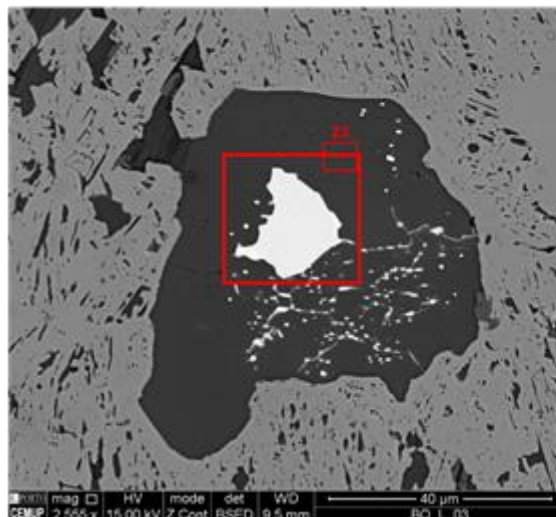
No local de análise 2 é perceptível a presença de minerais no interior de um cristal de pirite (Py). Além disto é possível observar cristais de Ccp no interior da Py.

MEV

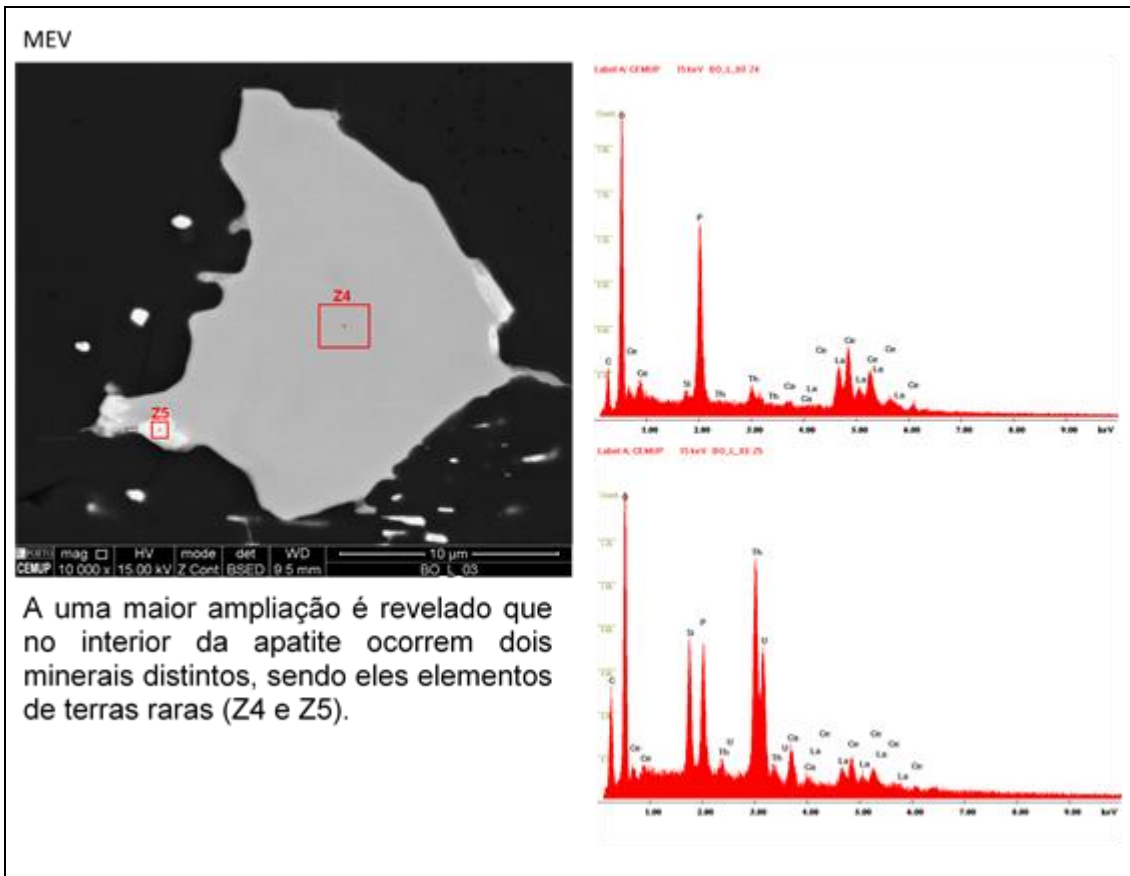


A partir da imagem é mais fácil apercebermo-nos da presença de diferentes minerais no interior da Py.

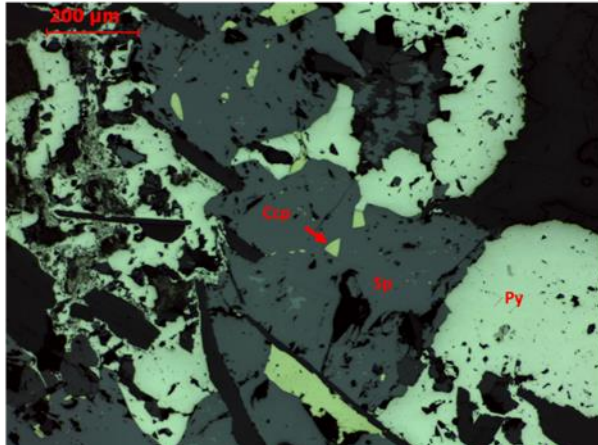
MEV



O mineral no interior da Py é identificado como apatite (Z3). Apresentando esta ainda um mineral no seu interior.

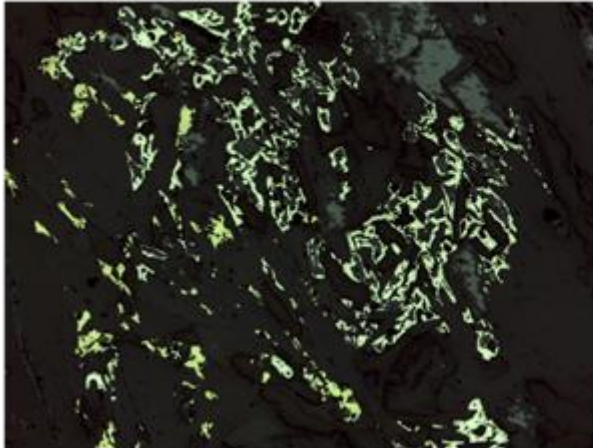


Microscopia de Luz Refletida



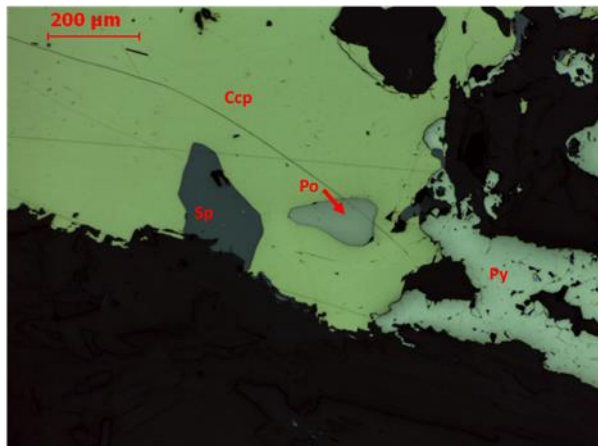
Nesta lâmina percebe-se a estreita relação ente os sulfuretos, tal como se pode observar nesta imagem. Tal sucede, uma vez que, a esfalerite (Sp) contem inclusões de calcopirite (Ccp) e de pirite (Py), estando esta no entanto no interior da Py.

Microscopia de Luz Refletida



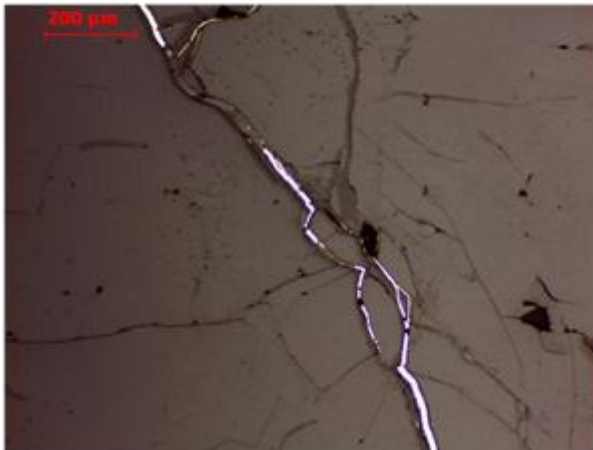
Na imagem são observáveis cristais de pirite com formas rendilhadas, estes estão preenchidos por cristais de moscovite.

Microscopia de Luz Refletida



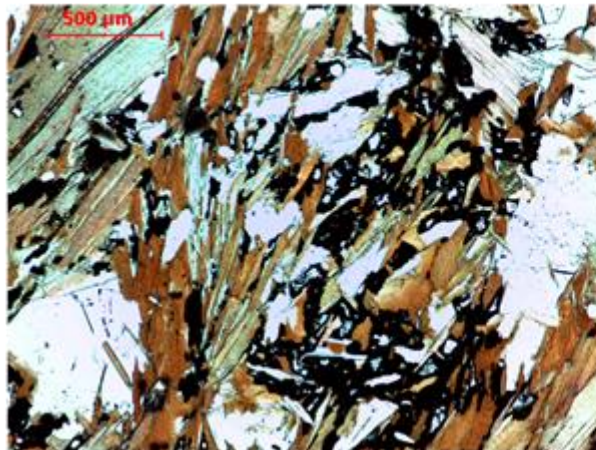
Nesta foto é possível visualizar no interior da calcopirite minerais como a esfalerite (Sp) e a pirrotite (Po), ocorrendo pirite (Py) no seu contacto.

Microscopia de Luz Refletida



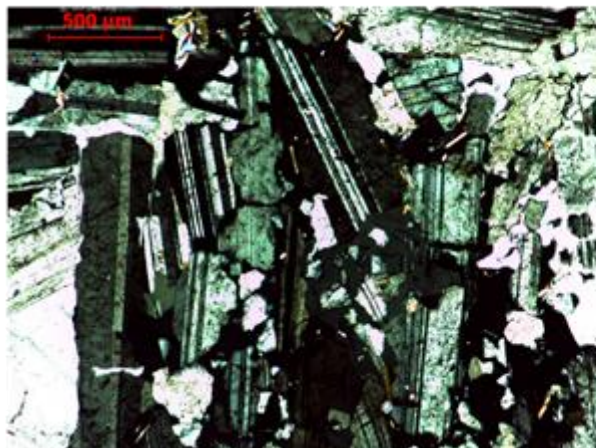
Nos filonetes de Qz presentes na amostra, são visíveis nas suas fissuras cristais de pirite. Numa análise a maior ampliação em MEV percebeu-se que além de pirite encontrava-se presente sulfossais de prata.

Microscopia de Luz Transmitida



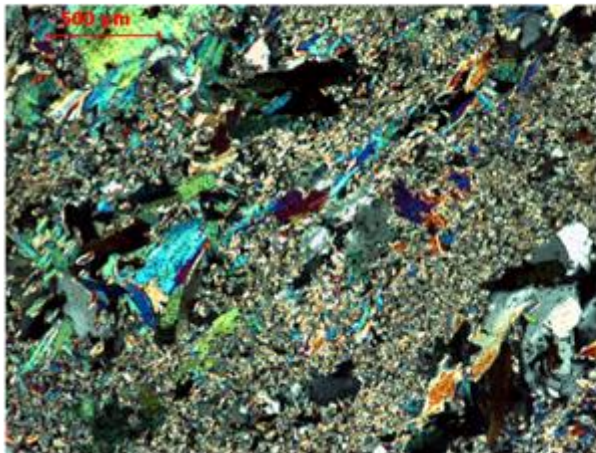
Como visto em amostra de mão a mineralização encontra-se interligada com o nódulo de biotite, estando esta depositada nos espaços vazios.

Microscopia de Luz Transmitida



Como descrito na amostra de mão na zona pegmatítica encontram-se vários cristais de plagioclase. Esta ocorre na zona quartzosa da lâmina.

Microscopia de Luz Transmitida



Nesta imagem é possível observar cristais de moscovite no interior de vários cristais de sericite. Como tal pode-se perceber que a moscovite é anterior à sericite. Estas ocorrem na zona pegmatítica da lâmina.

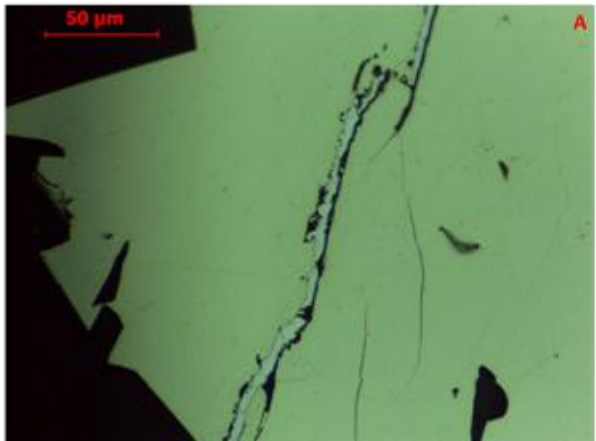
Microscopia de Luz Refletida do Local 1



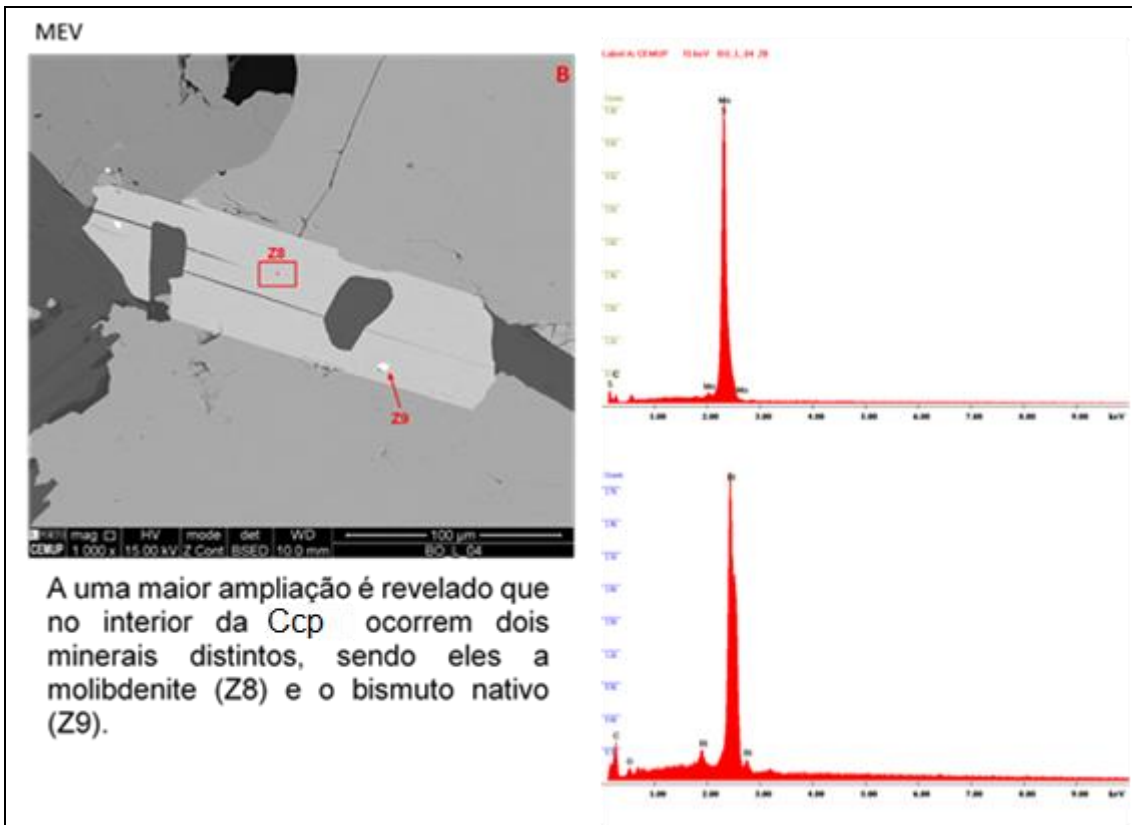
No local de análise 1 foram estudados dois locais em MEV.

No local A foi estudado um veio no interior da calcopirite (Ccp). Por outro lado, no local B foi estudado um cristal no interior desta.

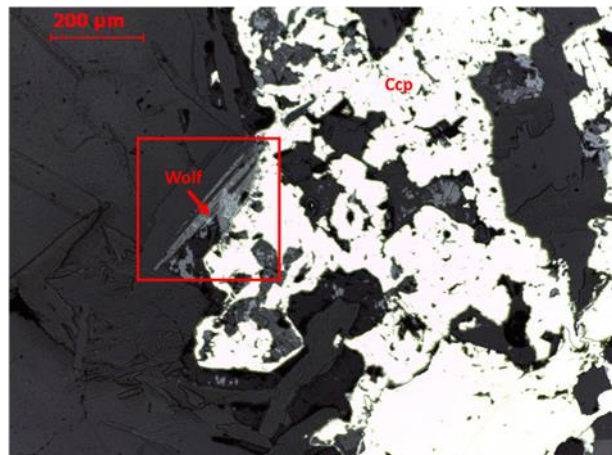
Microscopia de Luz Refletida do Local 1



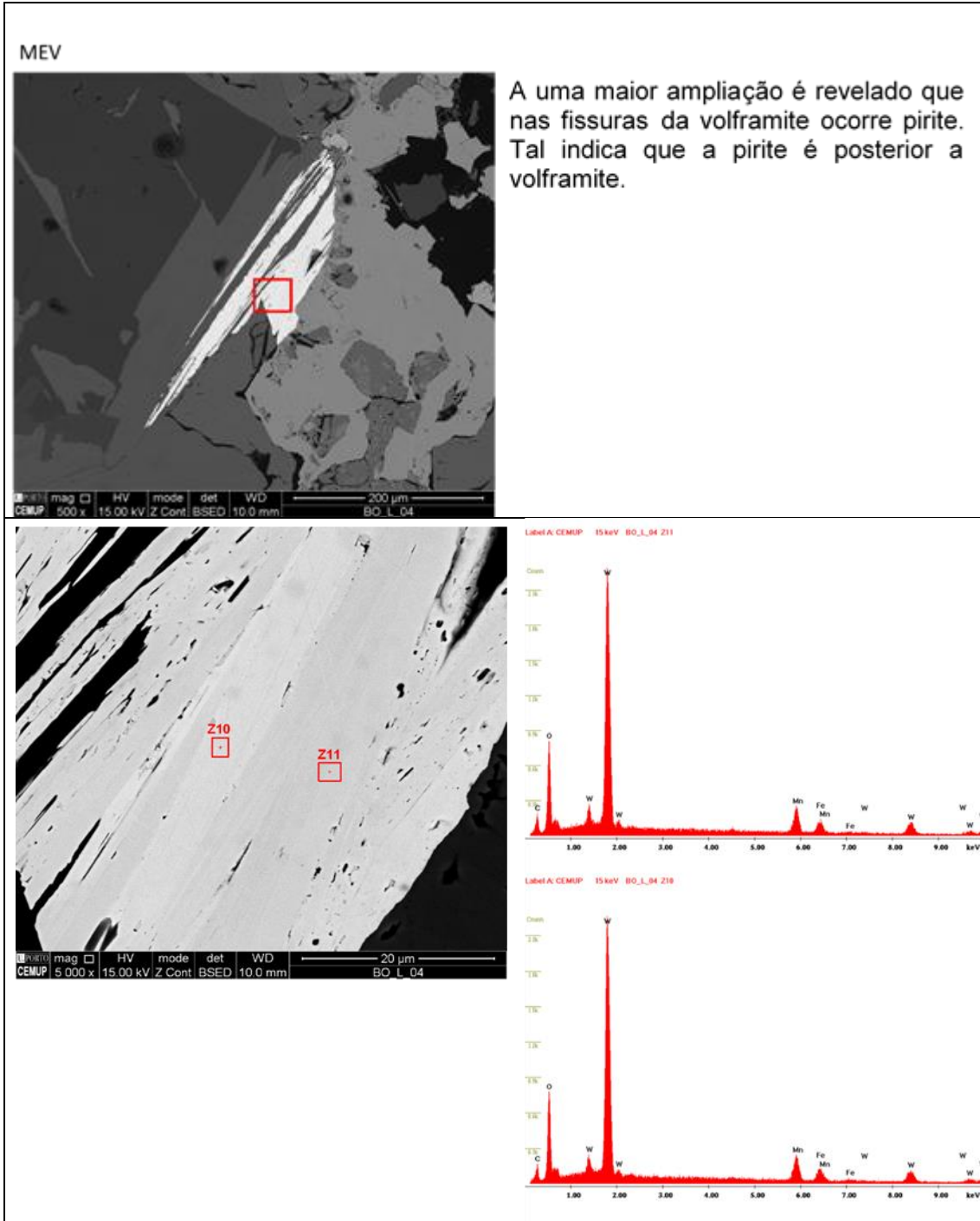
No local A, foi perceptível aliada à presença de pirite, a ocorrência de sulfuretos de prata.

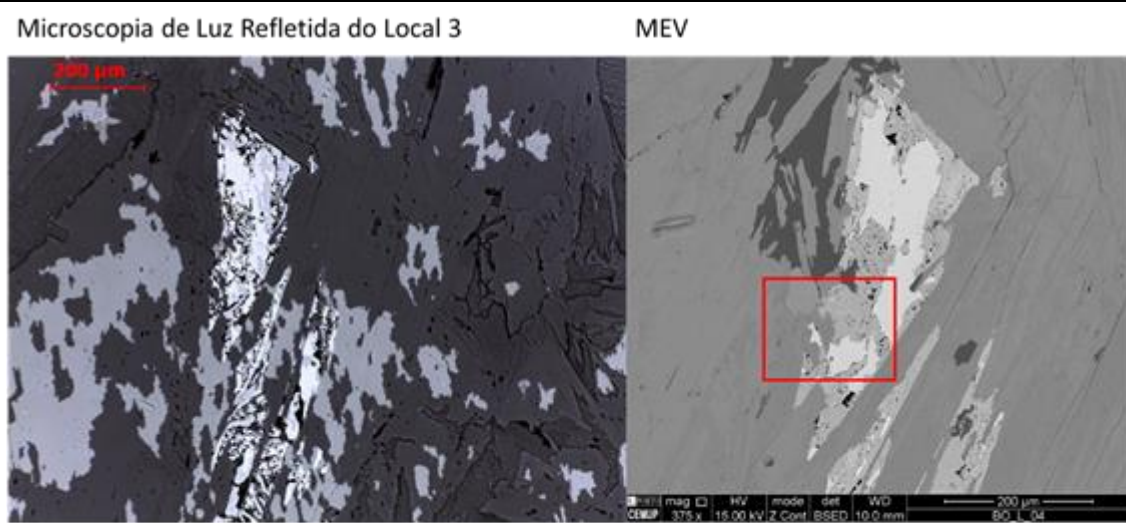


Microscopia de Luz Refletida do Local 2

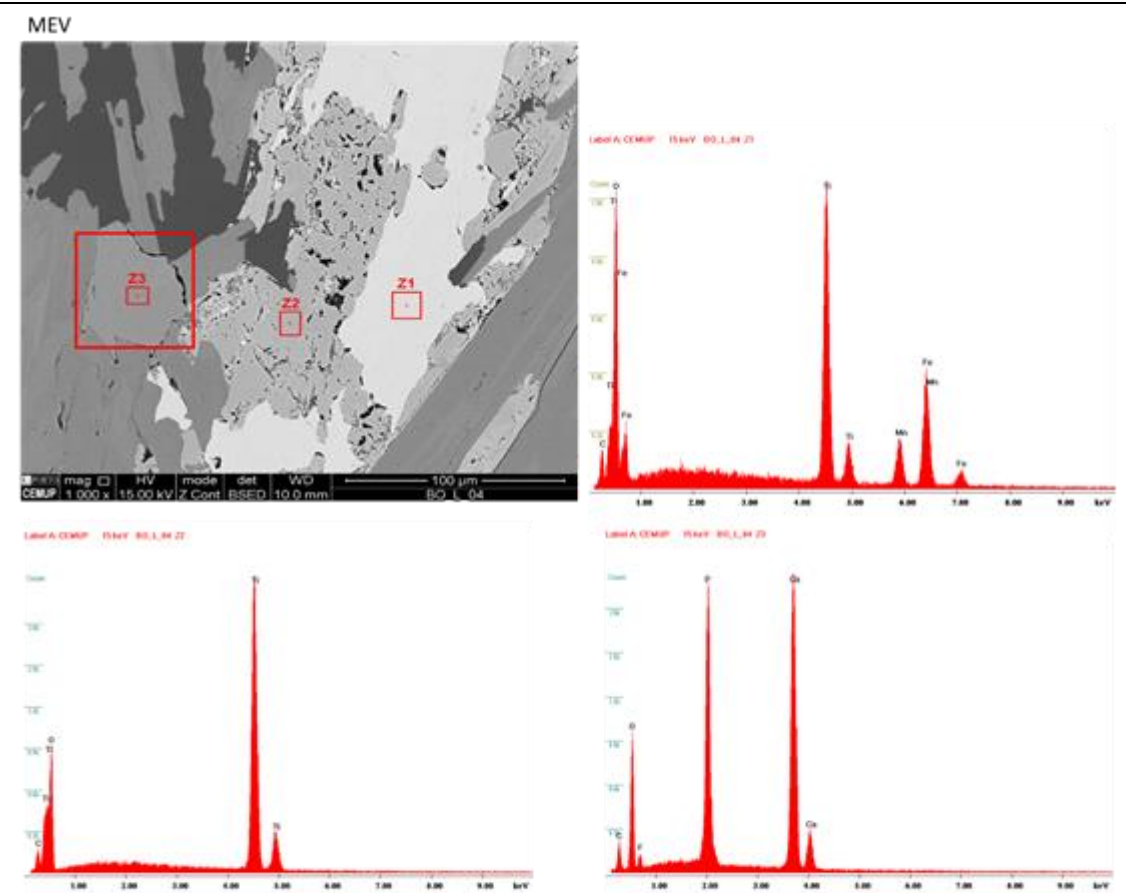


No local da análise dois o estudo centra-se num cristal de wolframite (Wolf) que ocorre no interior da Ccp

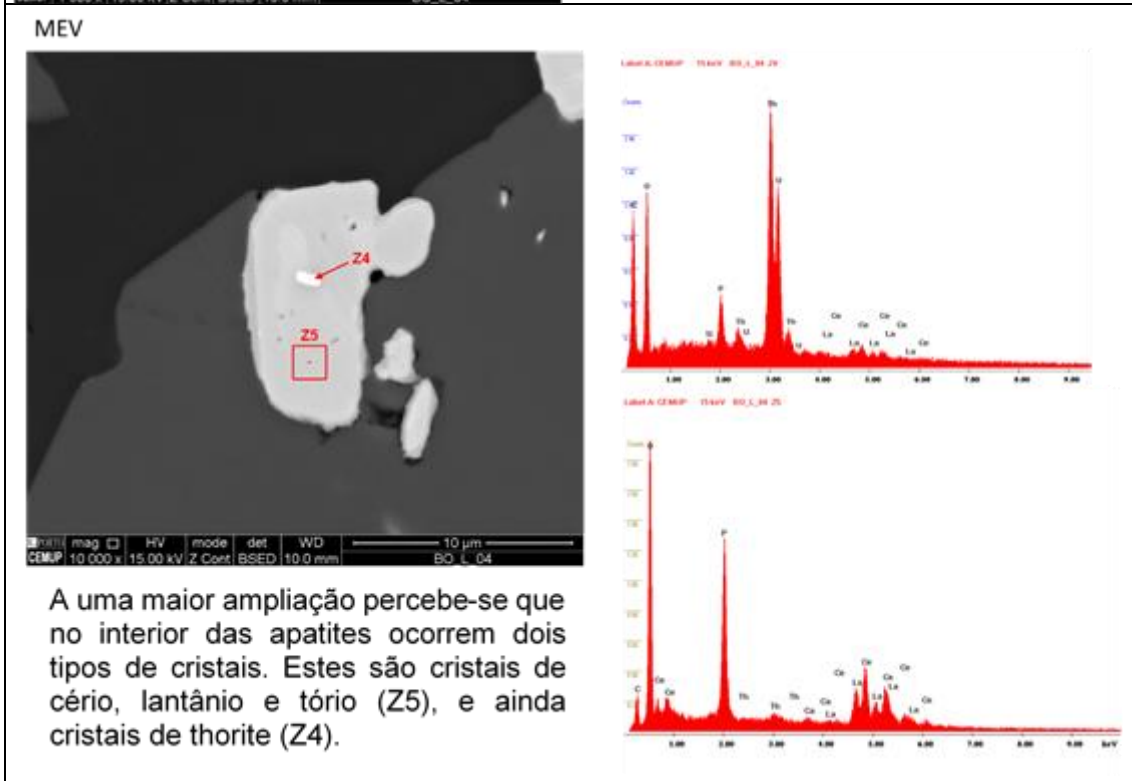
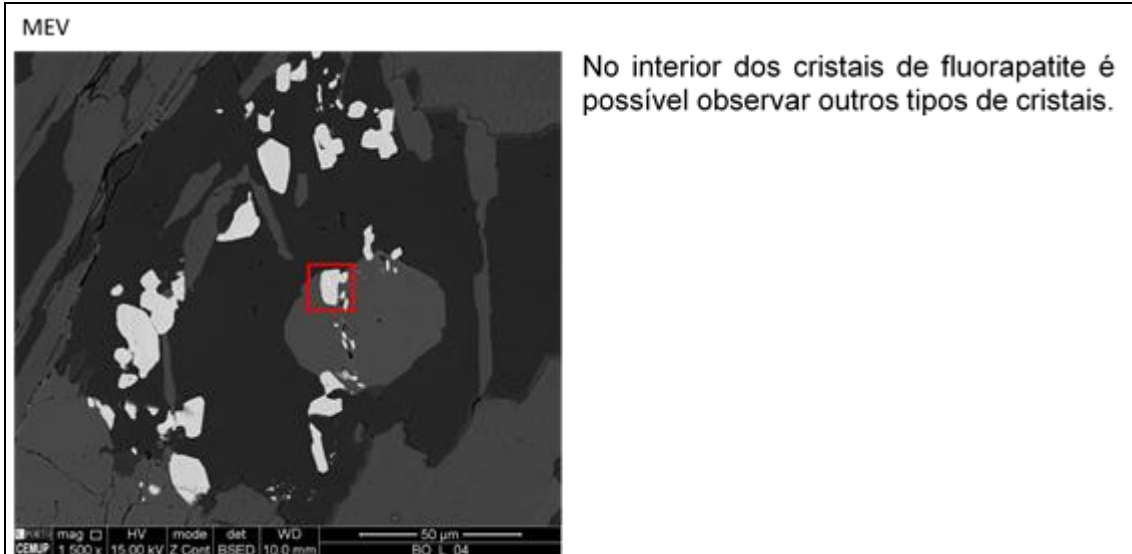


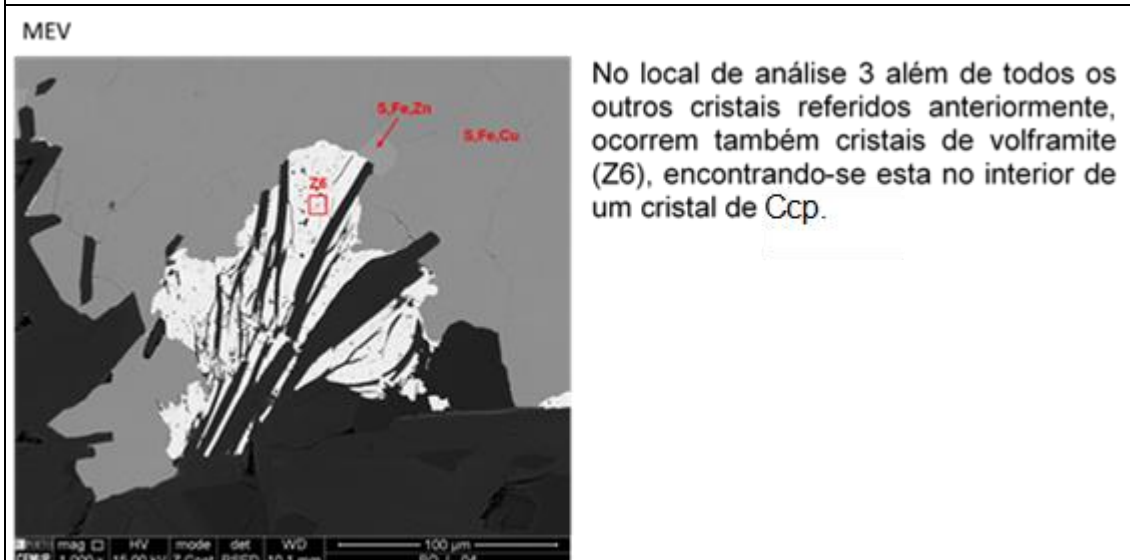
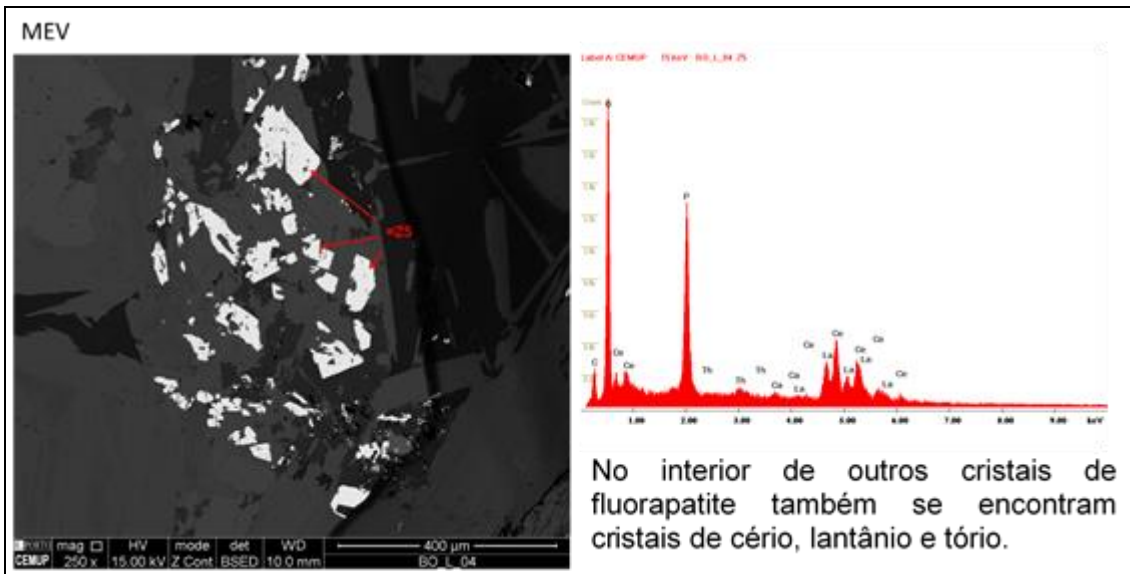


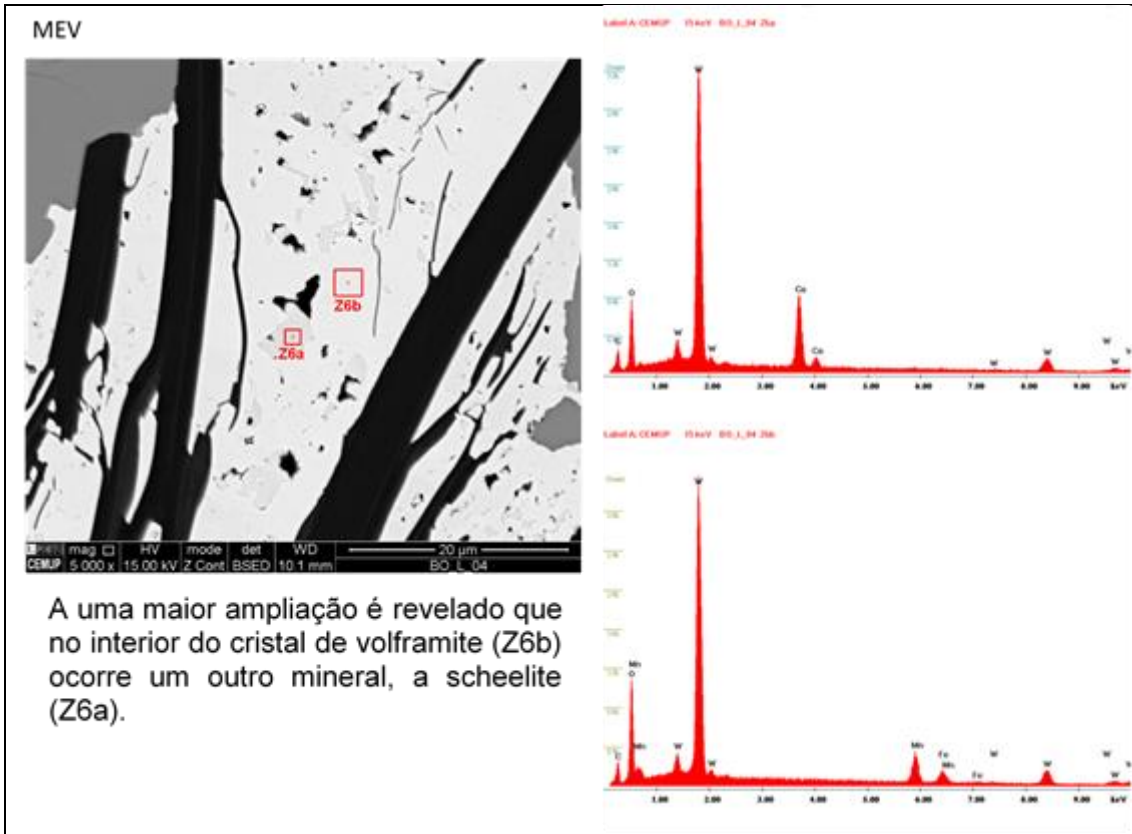
O local de análise 3 sendo o mais vasto, é também o que aloja maior variedade mineralógica.



A partir da análise em MEV deste local percebe-se que ocorrem dois tipos de minerais de titânio, sendo eles a ilmenite (Z2) e a titanomagnetite (Z1). Além disso é possível também observar vários cristais de fluorapatite (Z3).

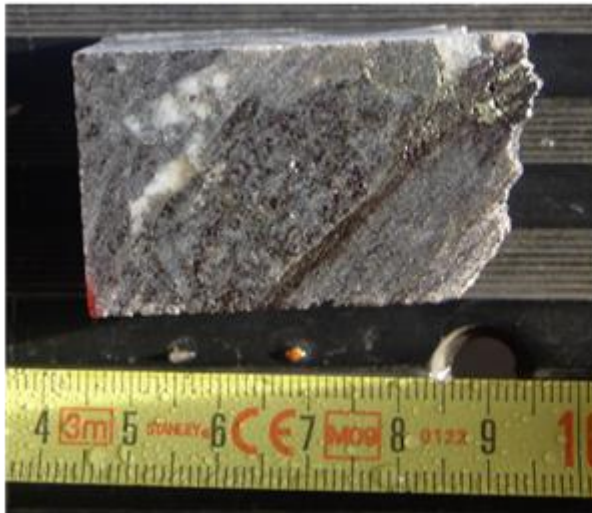






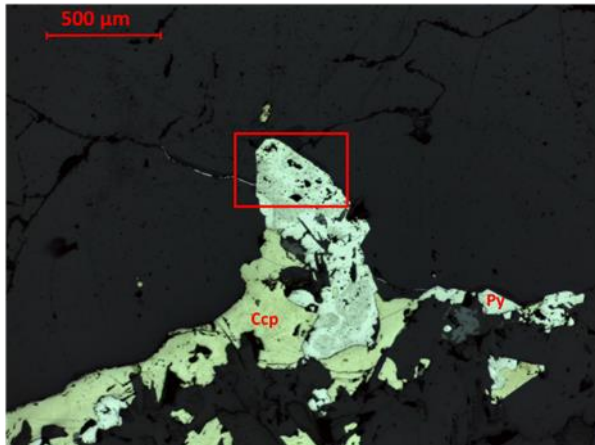
BO_L_5

Foto em amostra de mão



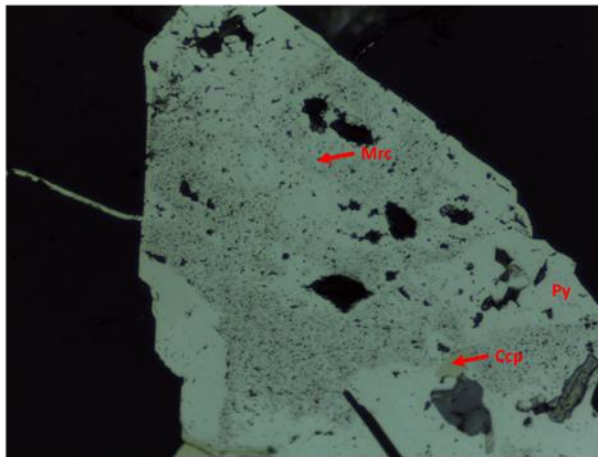
A amostra é constituída por uma rocha xistenta com uma grande quantidade de biotite. Em amostra de mão é possível observar um filonete preenchido, essencialmente por minerais metálicos, assim como, por biotite. É ainda observável uma zona com cristais de plagioclase. De um modo geral, a mineralização encontra-se no interior do filonete.

Microscopia de Luz Refletida



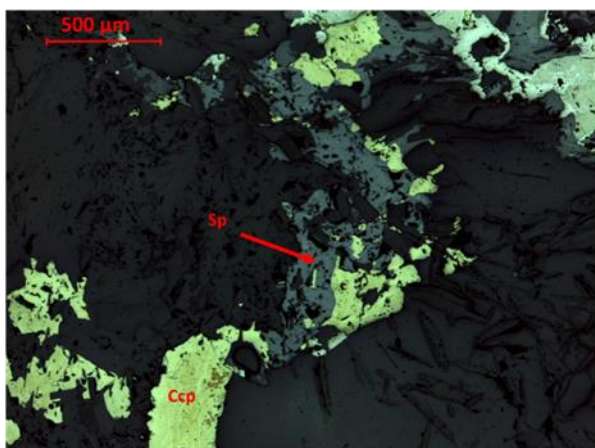
Os sulfuretos apresentam uma estreita relação entre si, nesta imagem é possível observar que a pirite (Py) se encontra no interior da calcopirite (Ccp) e vice versa.

Microscopia de Luz Refletida



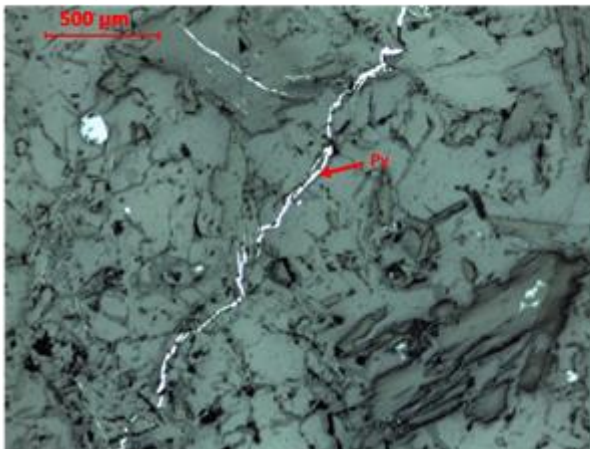
Ampliando a imagem anterior pode-se perceber que a pirite (Py) foi transformada em marcassite (Mrc).

Microscopia de Luz Refletida



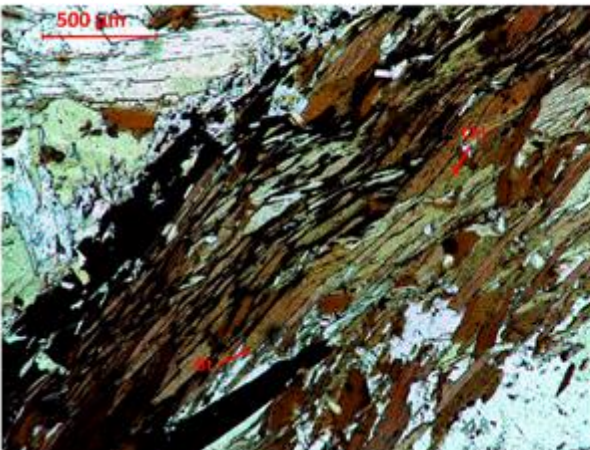
Pela observação a microscópio ótico é possível inferir que a calcopirite (Ccp) está contida no interior da esfalerite (Sp), além disto também é possível observar pirite no seu interior.

Microscopia de Luz Refletida



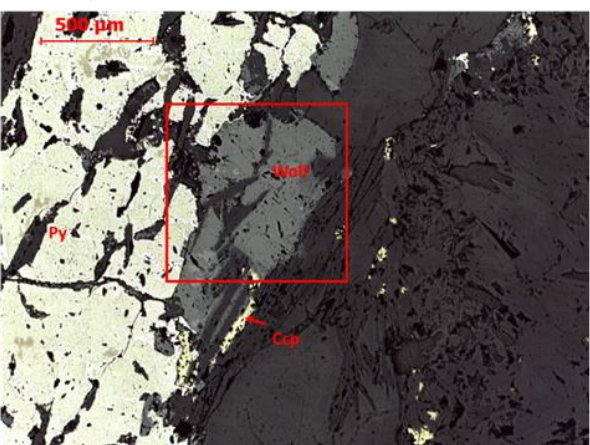
Como é observável nesta imagem um filonete de pirite corta todos os cristais encaixantes, tal indica que esta será posterior a minerais como a moscovite e sericite.

Microscopia de Luz Transmitida

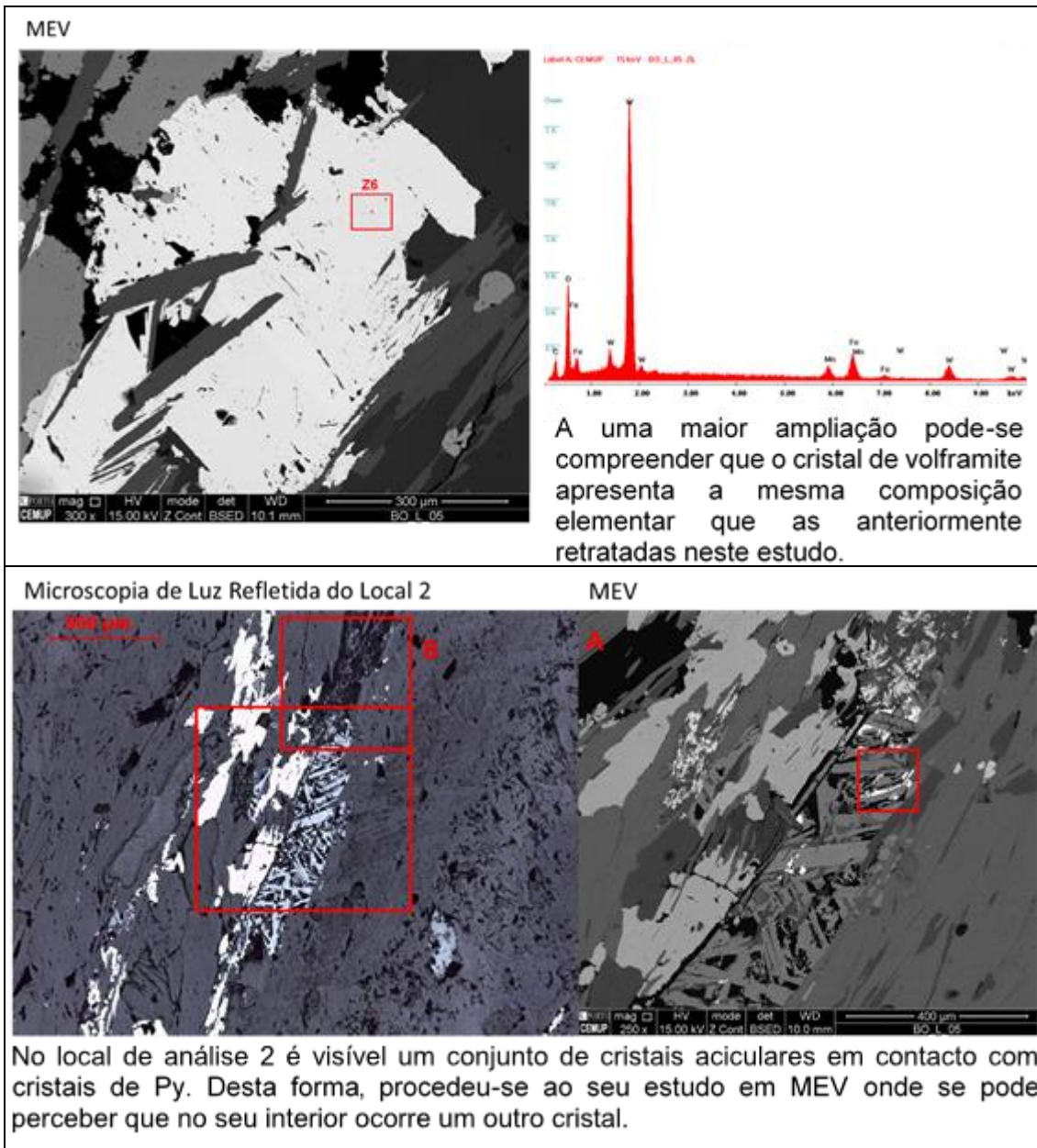


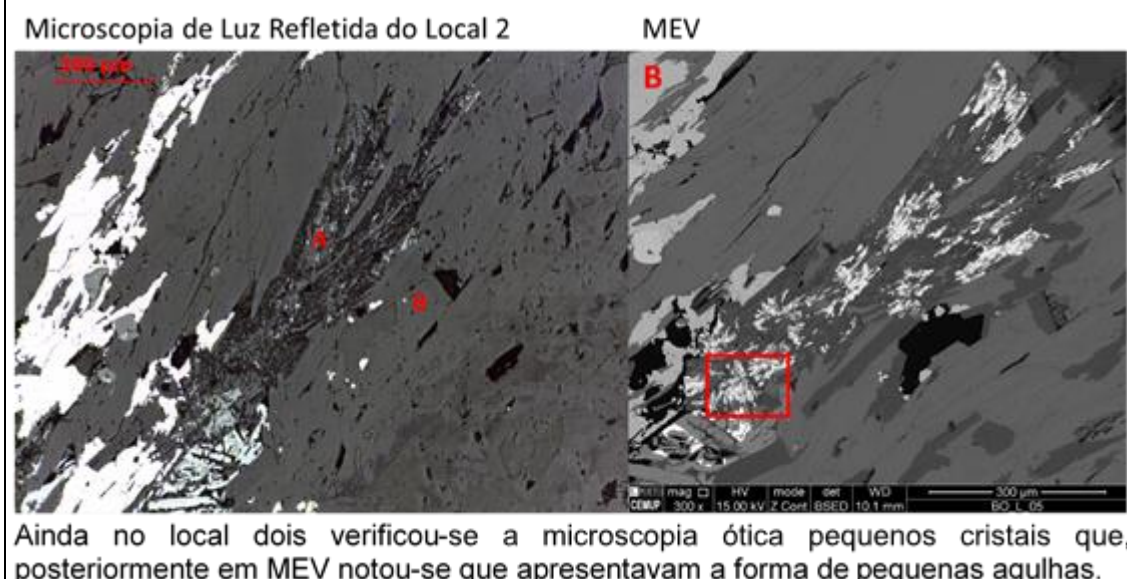
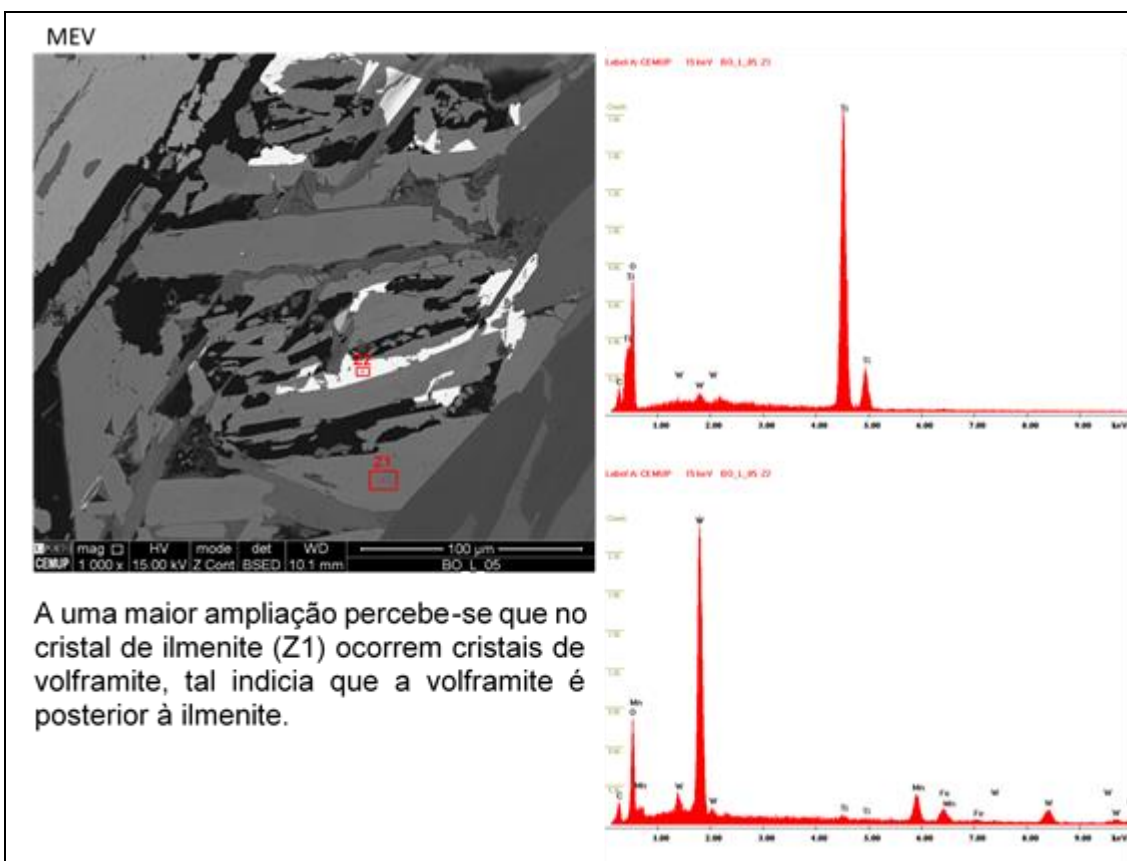
A partir da imagem é perceptível que a biotite (Bt) sofreu um processo de cloritização, formando-se clorite (Chl). Além disso, esta encontra-se em estreita relação com os minerais metálicos presentes na lâmina.

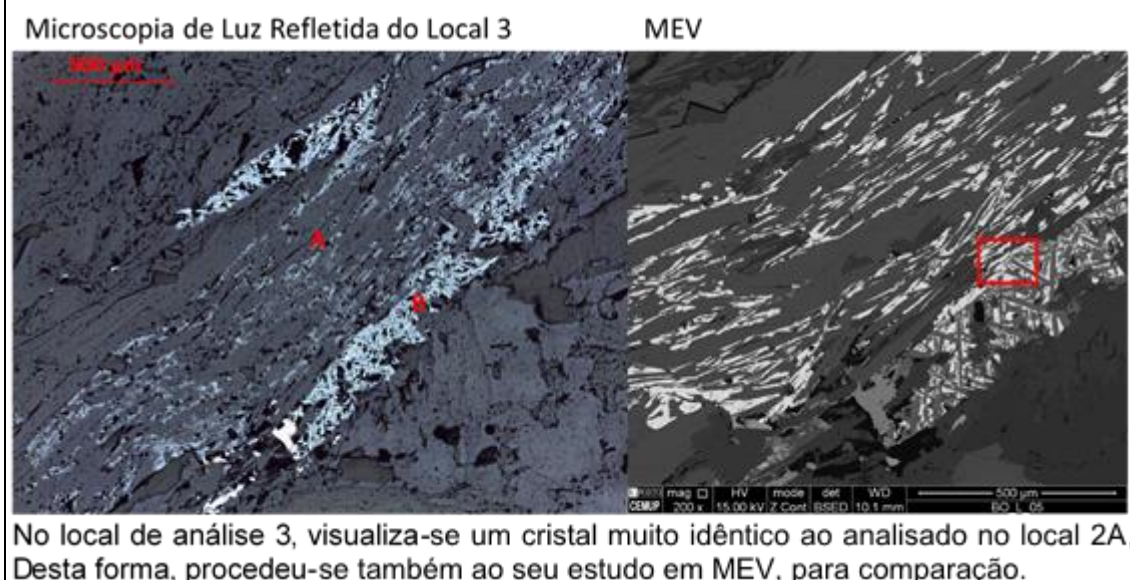
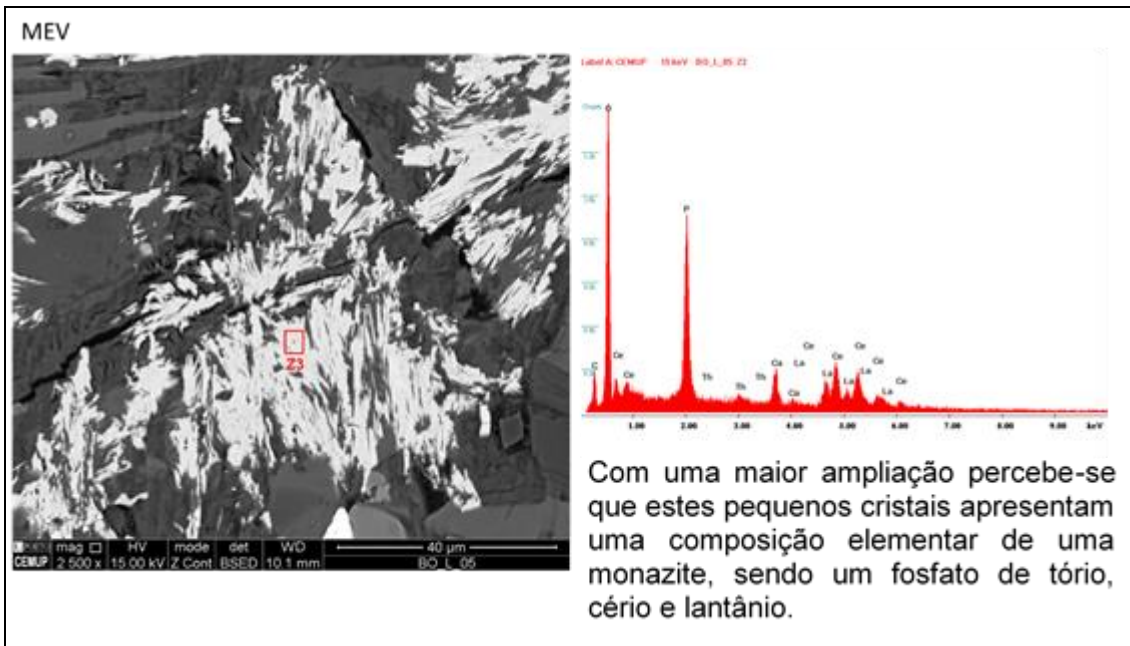
Microscopia de Luz Refletida do Local 1

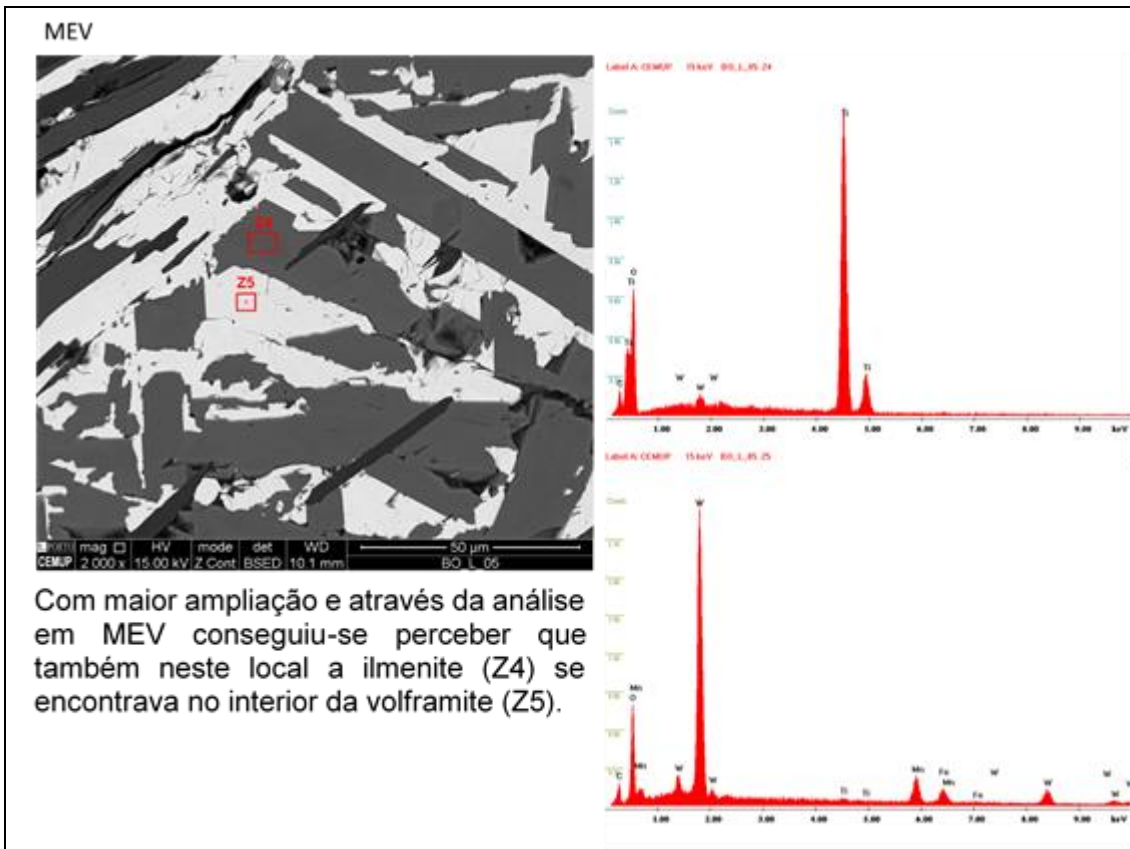


Numa análise em microscopia ótica de luz refletida ao local 1 observou-se um cristal de volframite. Este mineral ocorre em contacto com a Py e com a Ccp, e apresenta cristais de moscovite no seu interior.



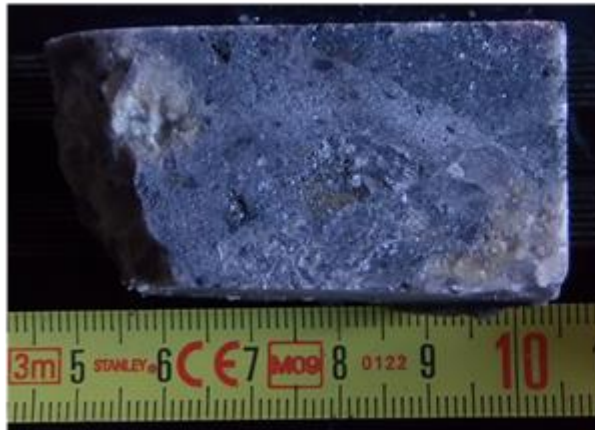






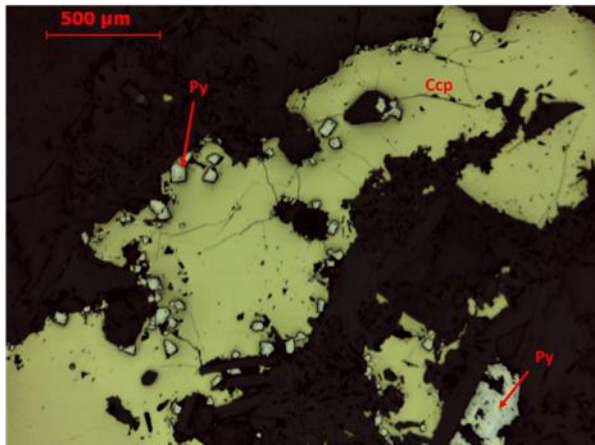
BO_L_6

Foto em amostra de mão



A amostra é constituída por uma rocha granítica com moscovitização evidente, assim como, por vários filonetes de quartzo multidirecionais. De um modo geral, a mineralização está dispersa por toda a amostra. No entanto, denota-se uma relação mais estreita com as zonas com maior moscovitização.

Microscopia de Luz Refletida



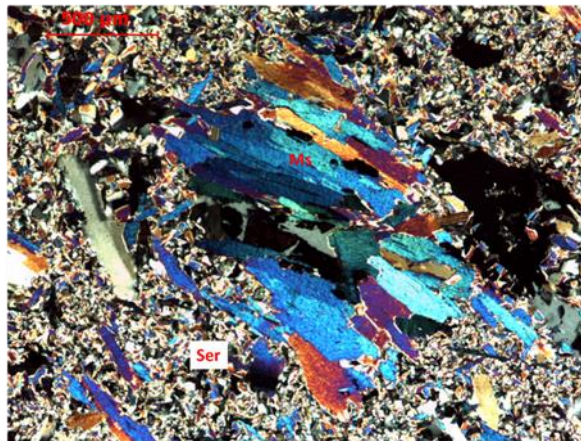
No interior da calcopirite podem-se encontrar cristais euédricos de pirite. Tal indica a presença de mais do que uma geração deste mineral, pois é encontrado sob duas formas distintas.

Microscopia de Luz Transmitida



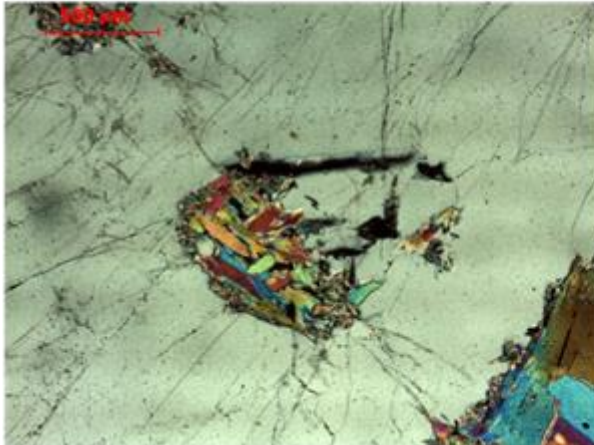
A partir da imagem é perceptível o contacto entre os dois tipos de micas, a sericite (Ser) e a moscovite (Ms). É também possível perceber que a moscovite deve ser anterior à sericite, visto que se encontra no seu interior.

Microscopia de Luz Transmitida



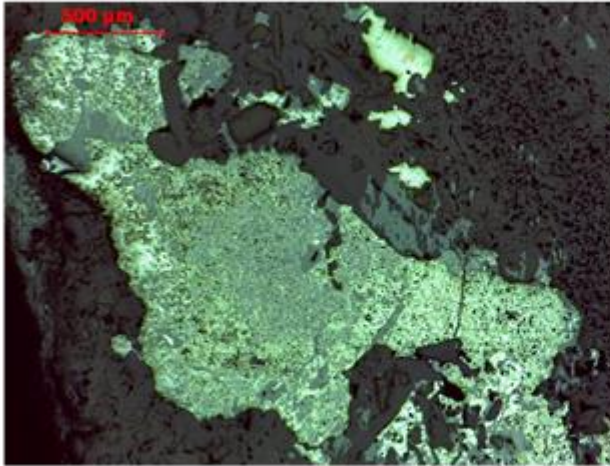
Como observado anteriormente a moscovite encontra-se no interior da sericite, como tal esta última deverá ser posterior à moscovite.

Microscopia de Luz Transmitida

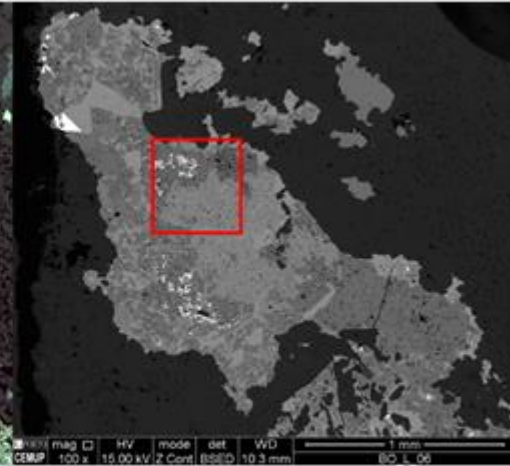


Como é observável nesta imagem as micas encontram-se no interior do Qz, desta forma esta são anteriores a este.

Microscopia de Luz Refletida do Local 1

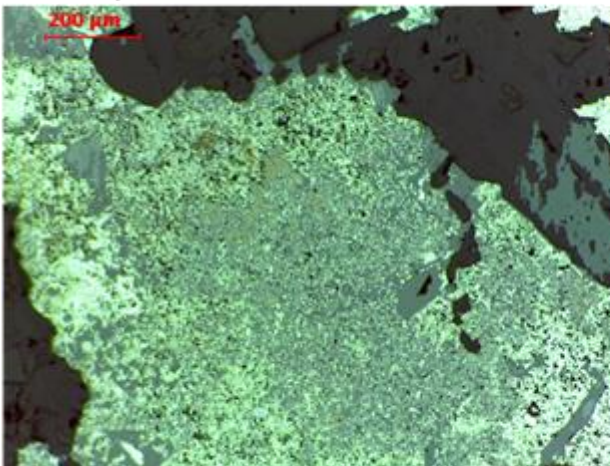


MEV

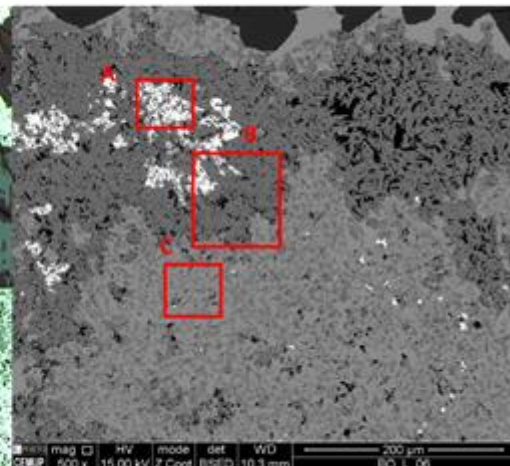


No local de análise 1 verificou-se uma variedade de minerais e com vista a melhor identificá-los procedeu-se então ao seu estudo em MEV, definindo assim zonas alvo onde estariam representadas todas as variedades mineralógicas.

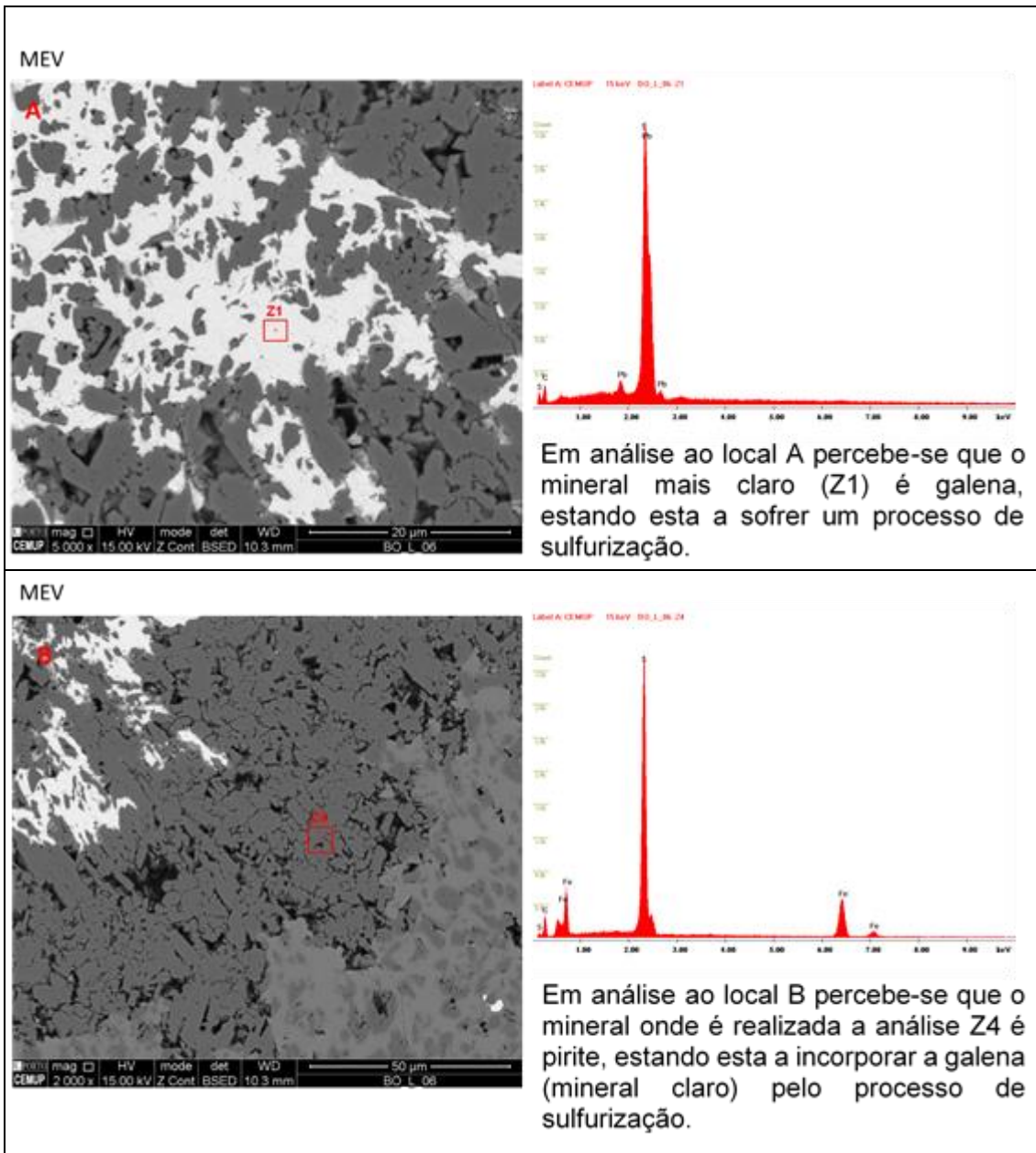
Microscopia de Luz Refletida

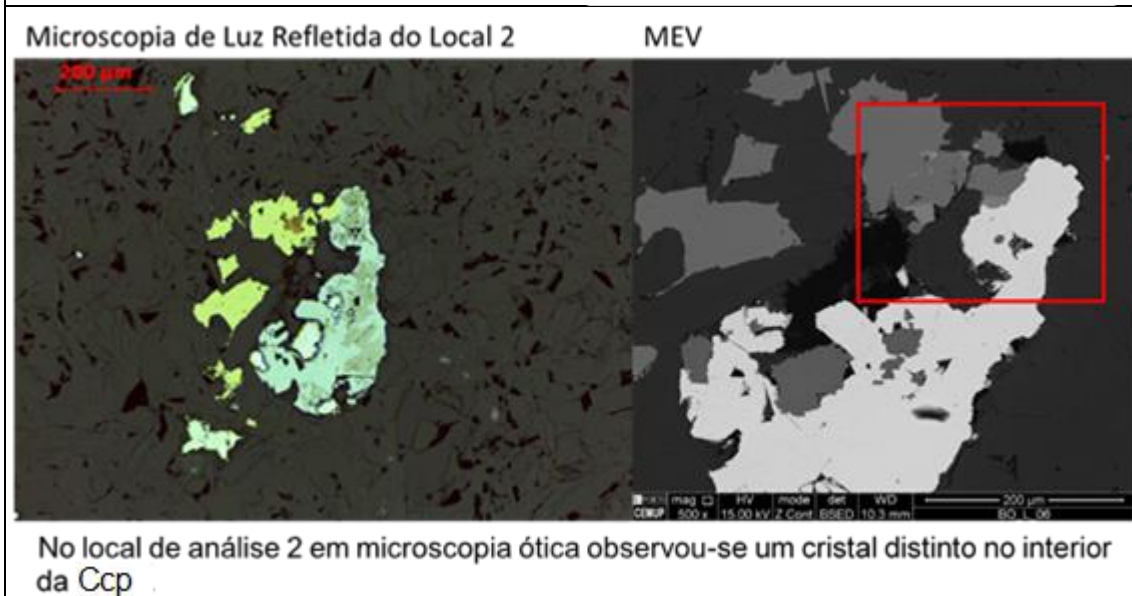
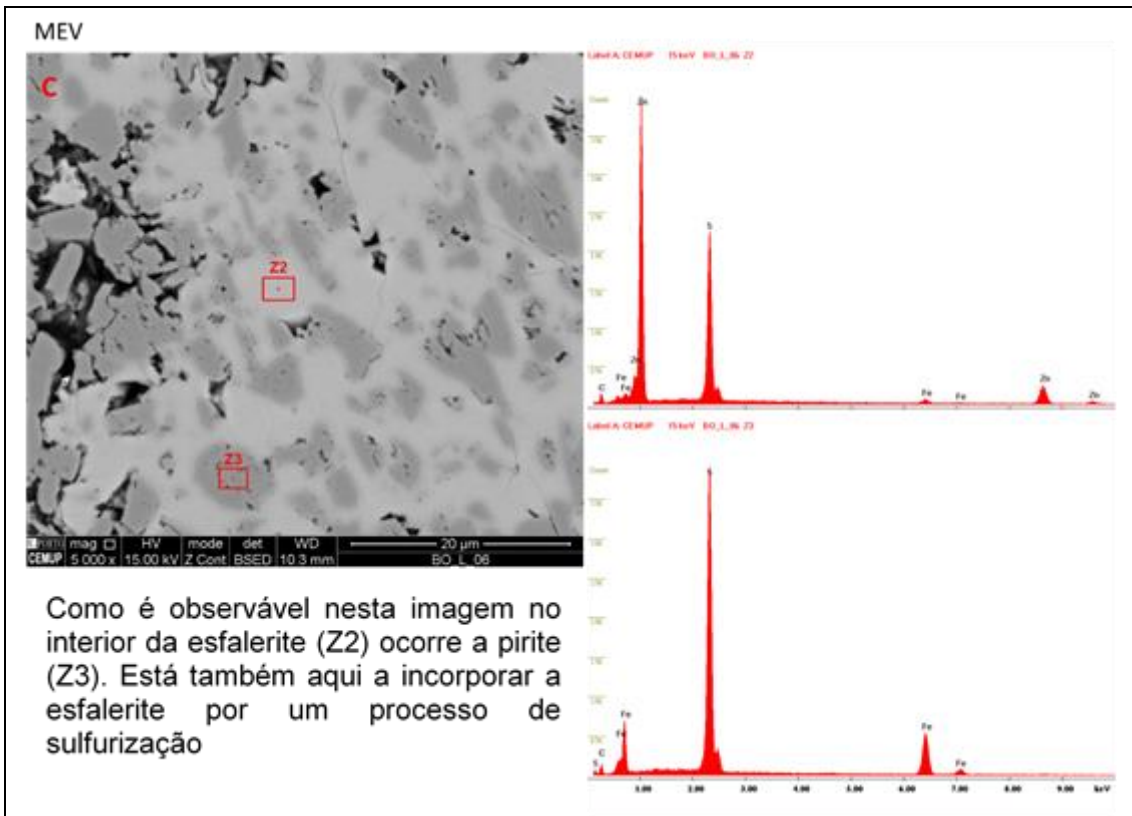


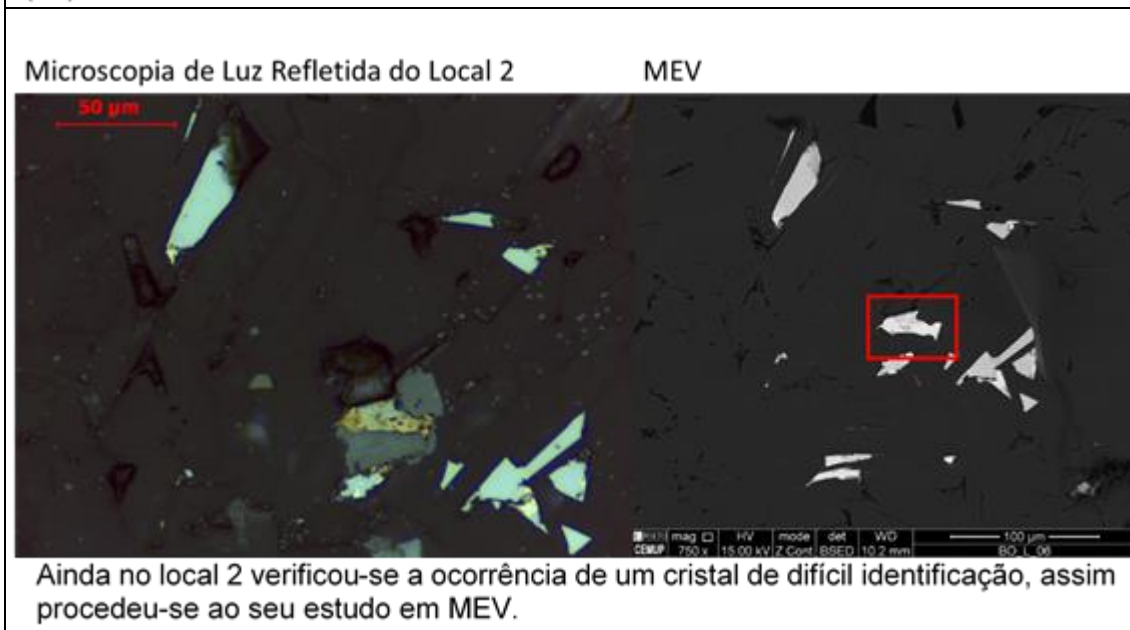
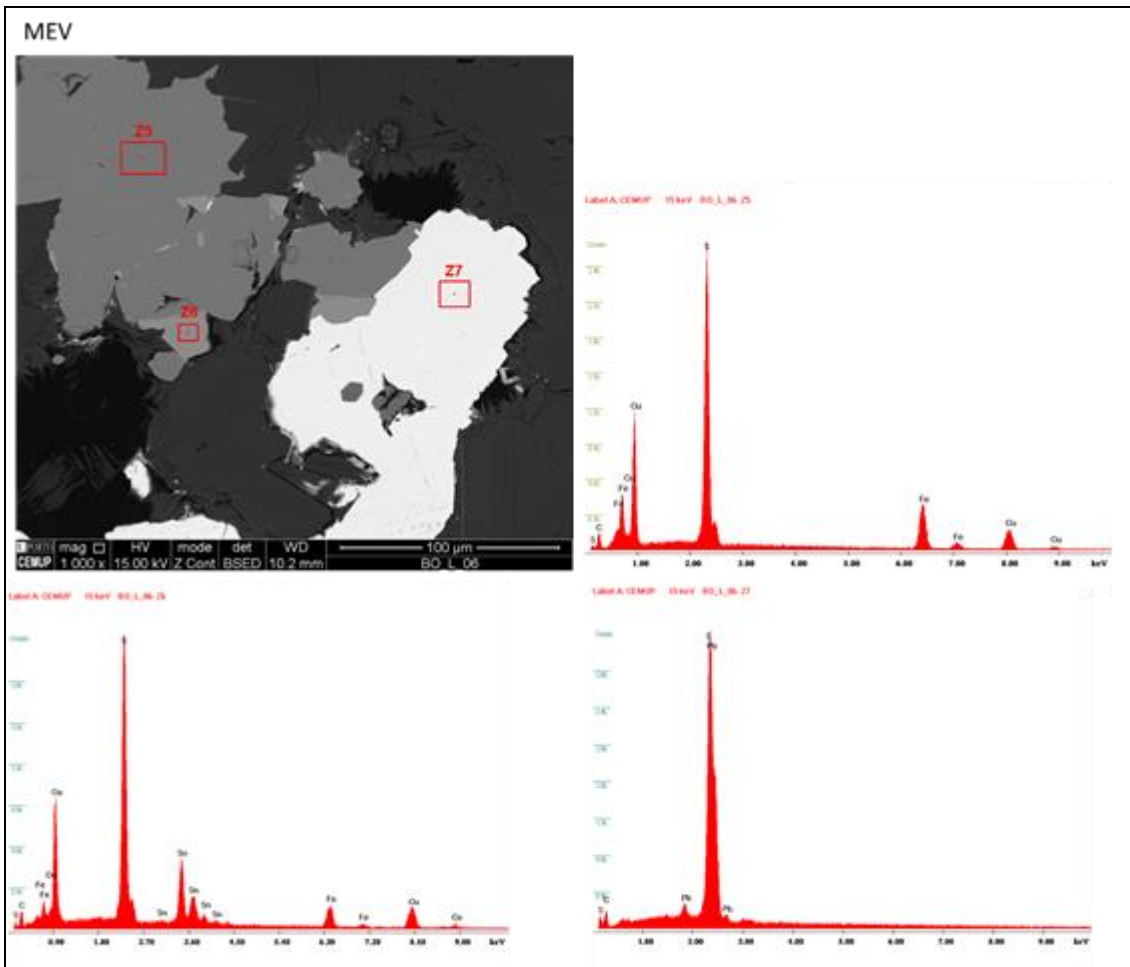
MEV

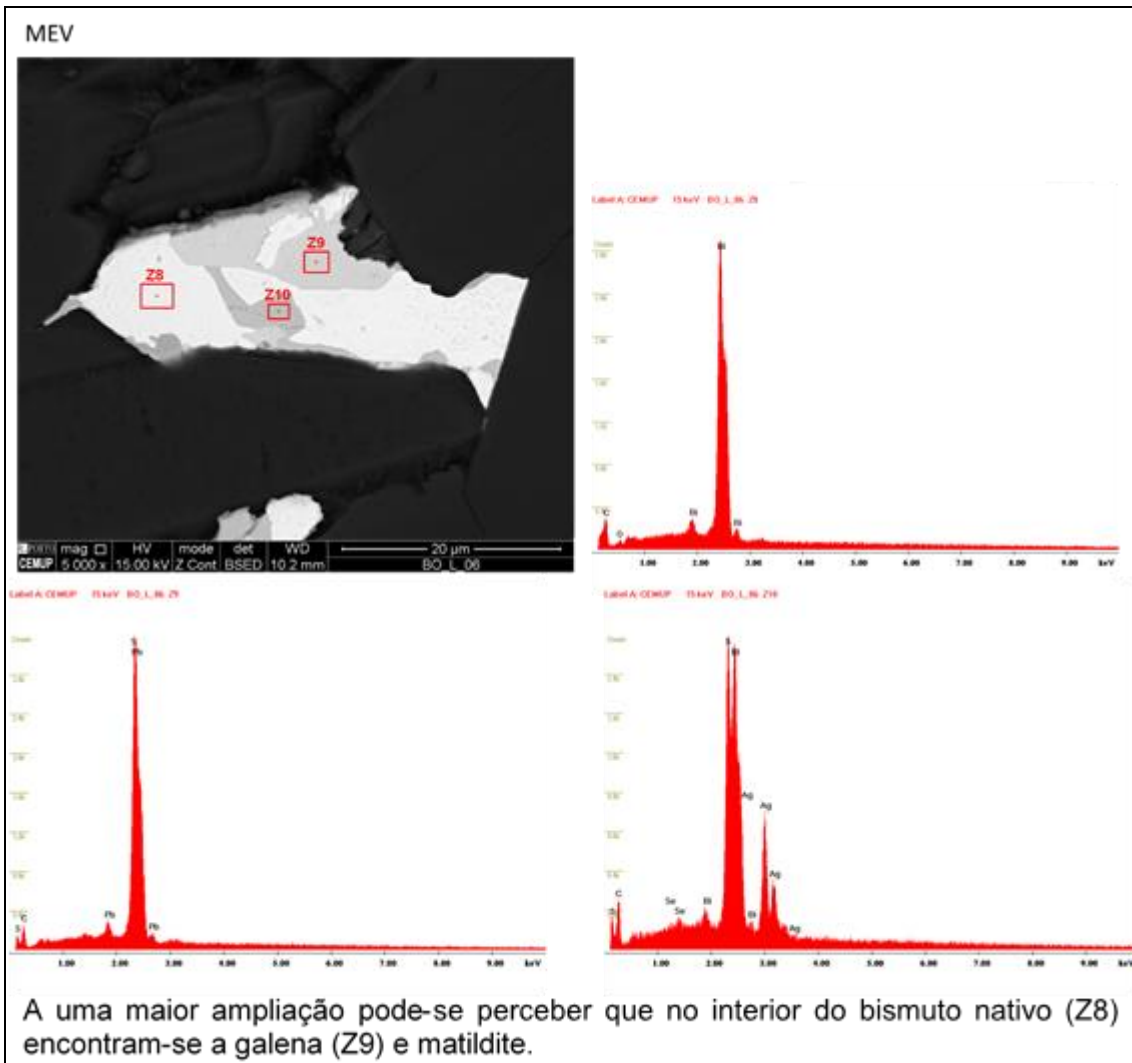


Numa maior ampliação definiu-se no interior da área estudada 3 locais de análise.









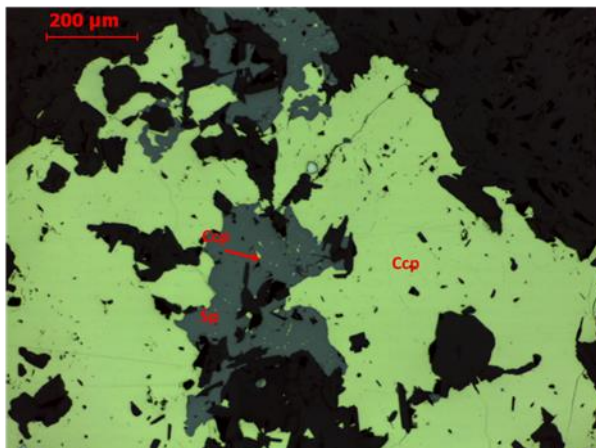
BO_L_7

Foto em amostra de mão



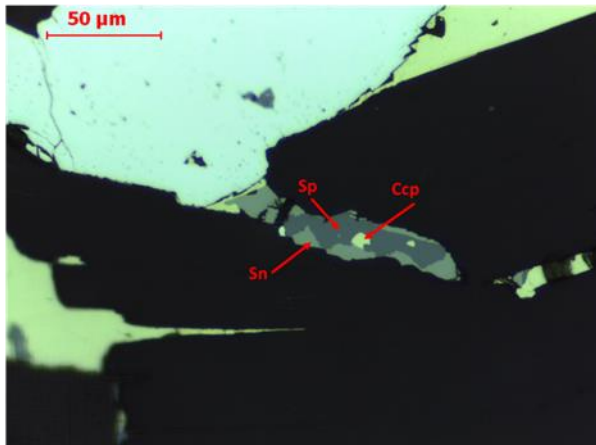
A amostra é constituída por uma rocha granítica com moscovitização evidente, assim como, por vários filonetes de quartzo multidirecionais. De um modo geral, a mineralização está dispersa por toda a amostra. No entanto, denota-se uma relação mais estreita com as zonas com maior moscovitização.

Microscopia de Luz Refletida



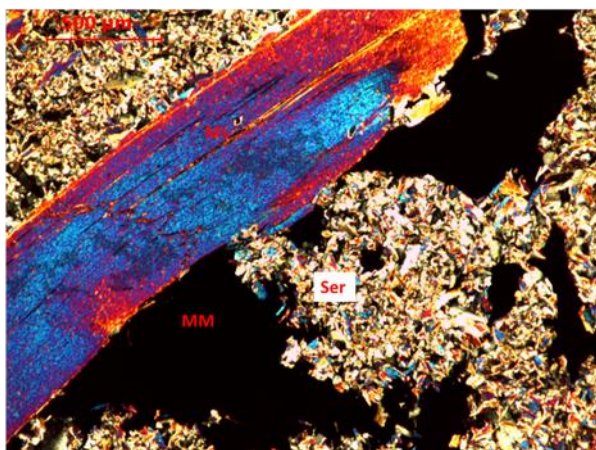
Nesta imagem observa-se a esfalerite (Sp) no interior da calcopirite (Ccp). No entanto, a Ccp também se encontra no interior da Sp, tal indicia que estes minerais se formaram ao mesmo tempo.

Microscopia de Luz Refletida



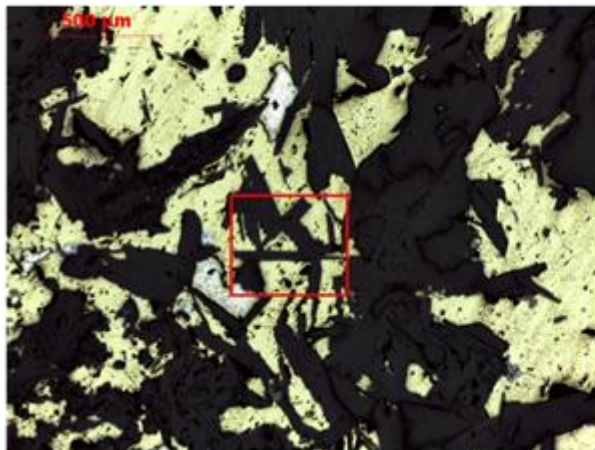
Como se visualiza nesta foto a estanita (Sn) encontra-se na zona exterior da esfalerite (Sp) que, por sua vez, contém calcopirite (Ccp) no seu interior.

Microscopia de Luz Transmitida



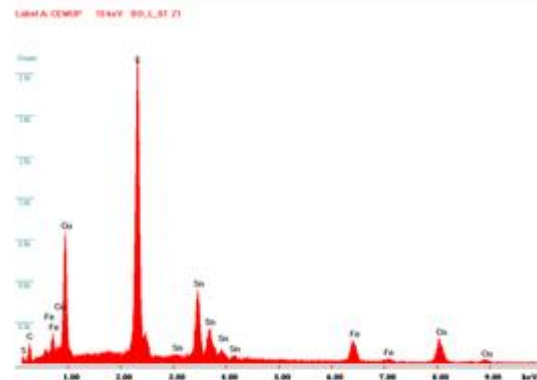
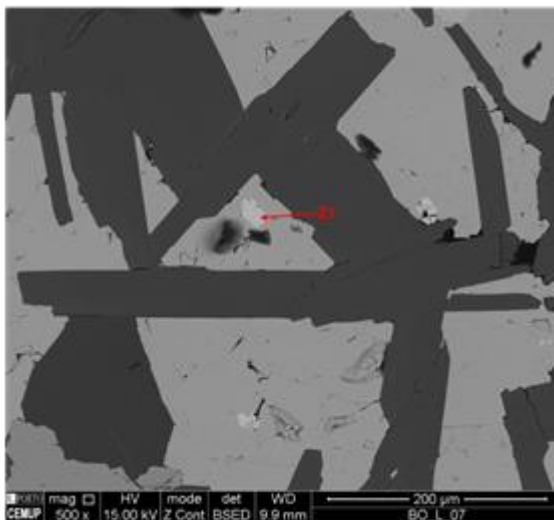
Nesta imagem observa-se o contacto entre a moscovite (Ms) e os minerais metálicos (MM), assim como, entre estes e a sericite (Ser). Como tal conclui-se que a moscovite é anterior aos minerais metálicos e à sericite que, por sua vez, é anterior aos minerais metálicos.

Microscopia de Luz Refletida do Local 1



No interior da CuPy encontra-se um mineral cuja identificação era difícil. Além disto, pode-se ainda perceber pela imagem que os cristais de moscovite estão no interior da CuPy, indicando que a Mosc é anterior ao sulfureto.

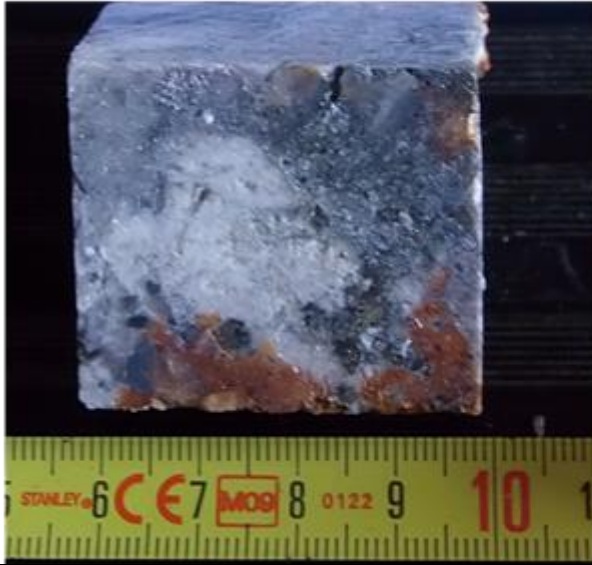
MEV



Em MEV e com uma maior ampliação pode-se perceber que o mineral no interior da CuPy é uma estanite com uma forma euédrica.

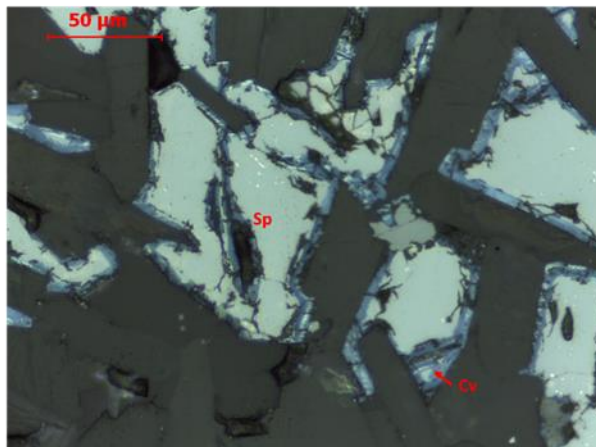
BO_L_8

Foto em amostra de mão



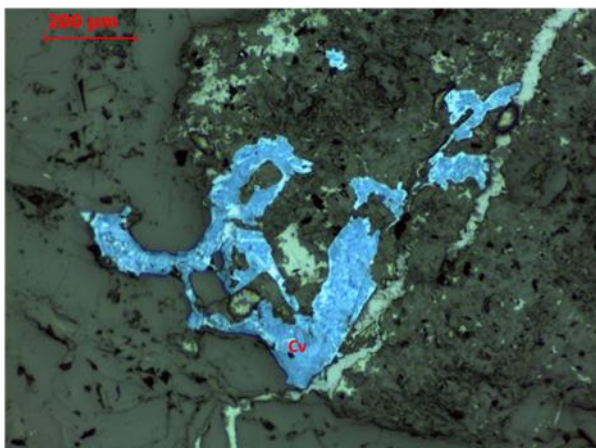
A amostra analisada é constituída por uma rocha granítica com alteração evidente, assim como, por vários filonetes de quartzo multidirecionais. De um modo geral, a mineralização está dispersa por toda a amostra. No entanto, denota-se uma relação mais estreita com as zonas com maior moscovitização. É ainda importante salientar que parte desta amostra se encontra oxidada, como é visível em amostra de mão.

Microscopia de Luz Refletida



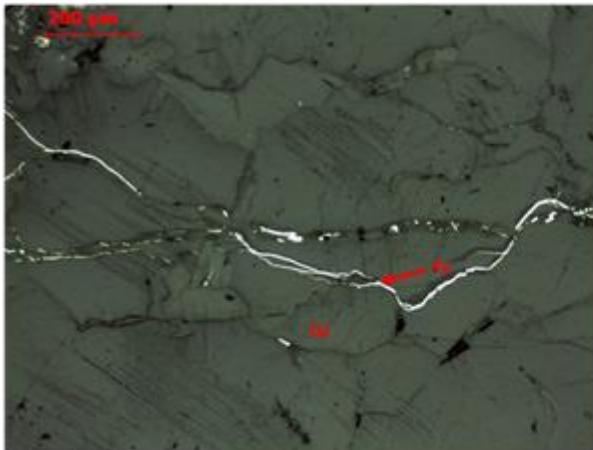
Nesta lâmina é visível um fenómeno de alteração supergénica, este é visível na esfalerite (Sp) que se encontra alterada em covelita (Cv).

Microscopia de Luz Refletida



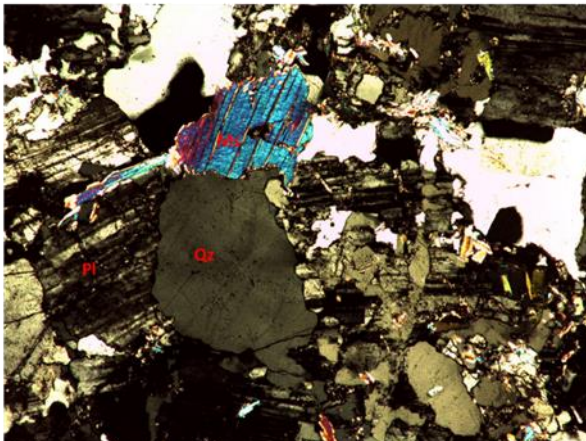
Como descrito anteriormente além da esfalerite também a Ccp sofreu este processo de alteração supergénica

Microscopia de Luz Refletida



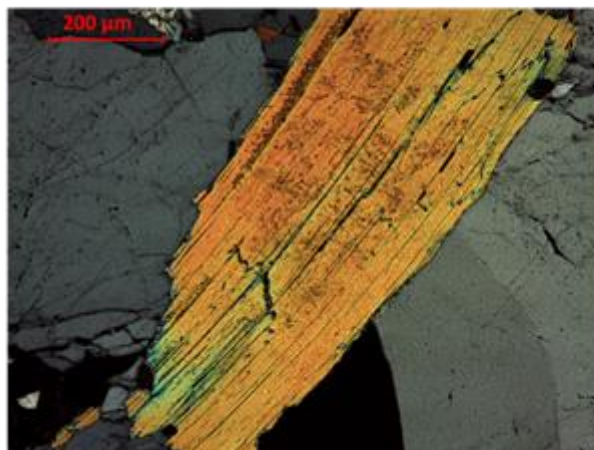
Como é observável nesta imagem um filonete de pirite (Py) corta todos os cristais encaixantes, tal indica que esta será posterior a estes minerais.

Microscopia de Luz Transmitida

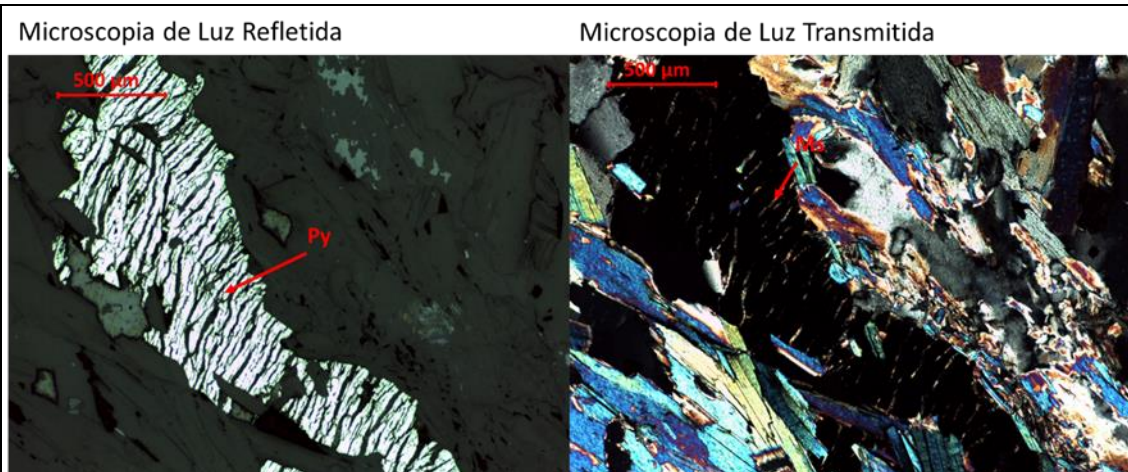


Como é visível nesta imagem a plagioclase está presente em grande parte da lâmina com cristais de variadas dimensões, esta pode conter cristais de moscovite (Ms) no seu interior, assim como, de Qz

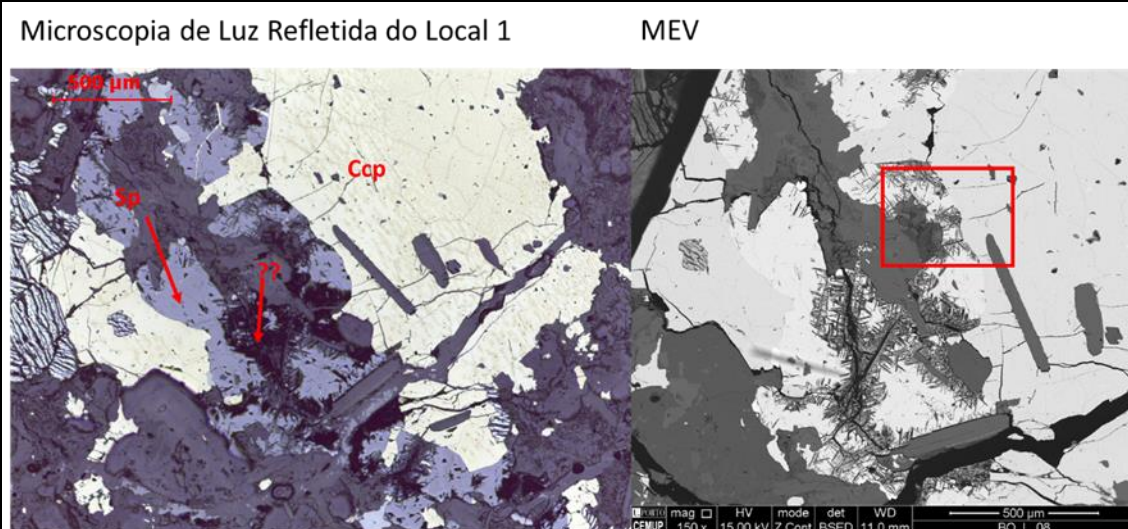
Microscopia de Luz Transmitida



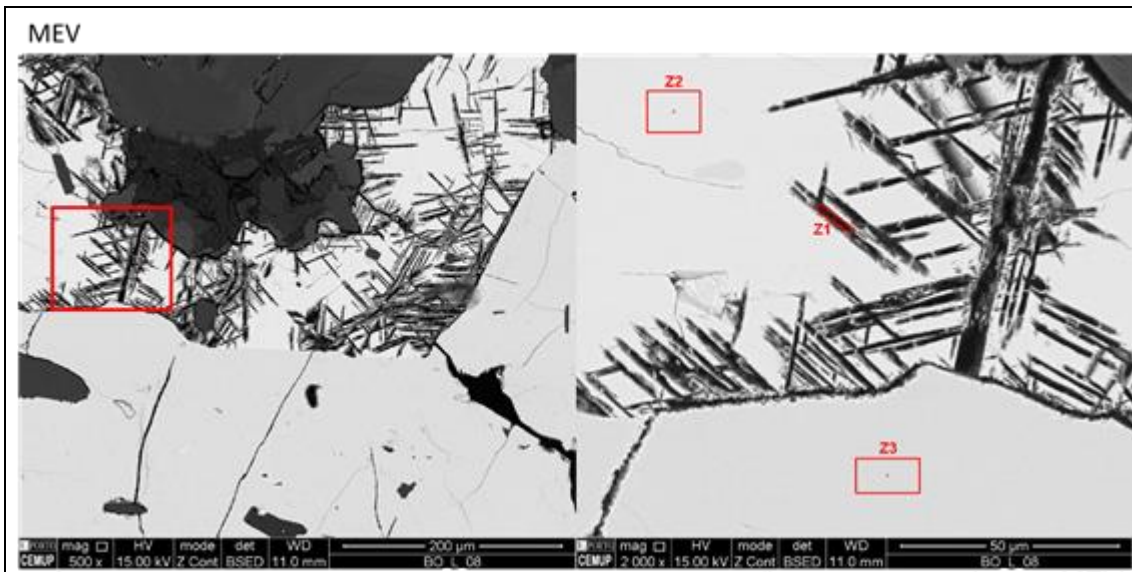
Na imagem pode-se observar um cristal de moscovite inserido no interior do Qz, tal indica que esta é anterior ao Qz.



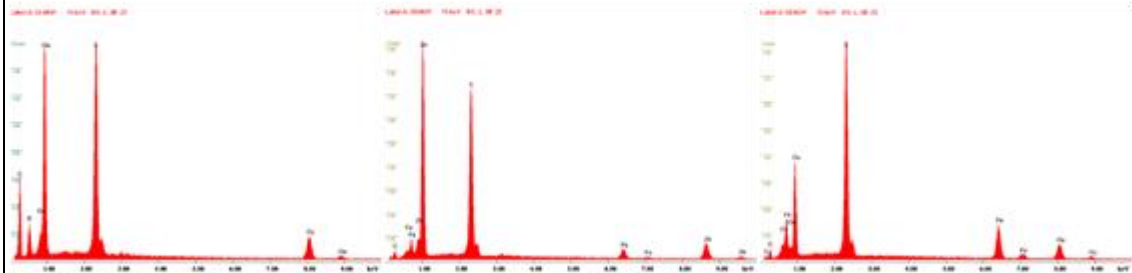
Na imagem de microscopia de luz refletida é visível um cristal de pirite (Py) estando este fraturado, no entanto em luz transmitida percebe-se que no interior da Py encontra-se moscovite.



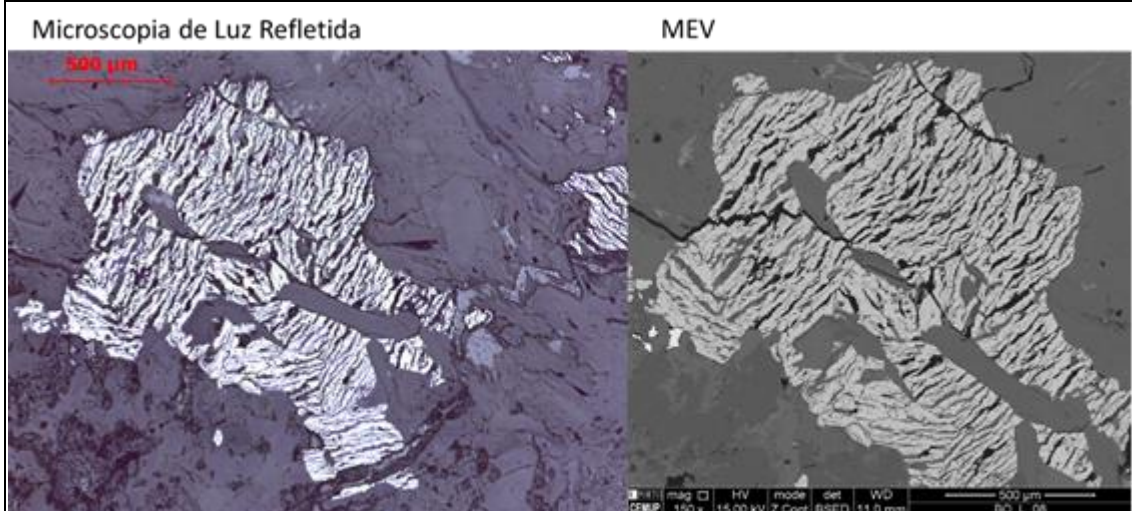
No local de estudo 1 desta amostra observou-se em microscopia ótica, uns cristais de cor azulada com formas aciculares no interior da esfalerite e da calcopirite. Posteriormente, utilizando o MEV procedeu-se a um estudo mais detalhado.



A fim de melhor estudar estes cristais procedeu-se então ao seu estudo em MEV, definindo assim 3 zonas de estudo (Z1, Z2, Z3).



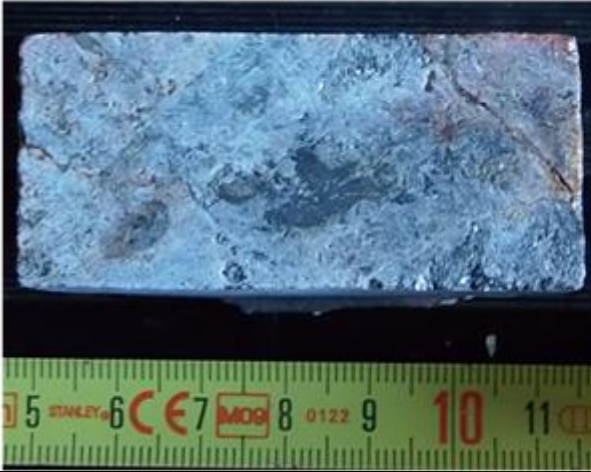
No final do estudo percebeu-se que os cristais de forma acicular eram cristais de covelita (Z1), no interior de um cristal de esfalerite (Z2), que se encontrava em contacto com a calcopirite (Z3).



Mais um exemplo de um cristal de pirite fraturado que se encontra preenchido por moscovite.

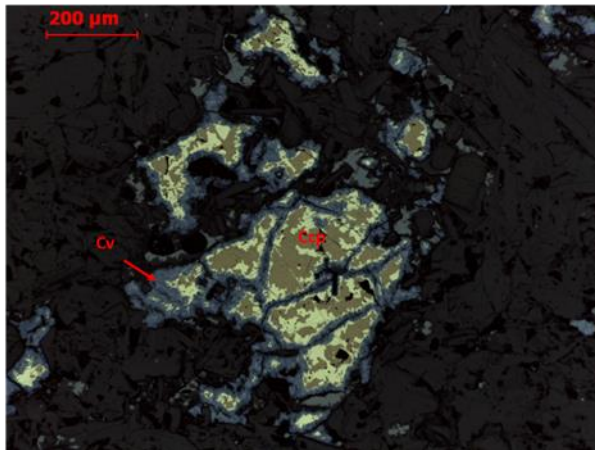
BO_L_9

Foto em amostra de mão



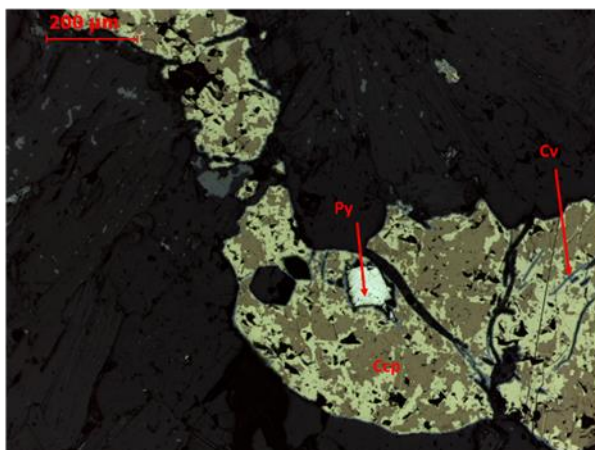
A amostra analisada é constituída por uma rocha granítica com alteração evidente, assim como, por vários filonetes de quartzo multidirecionais. A mineralização está concentrada no centro da amostra denotando-se uma estreita relação com as zonas com maior moscovitização. É ainda importante salientar que parte desta amostra se encontra oxidada, como é visível em amostra de mão.

Microscopia de Luz Refletida



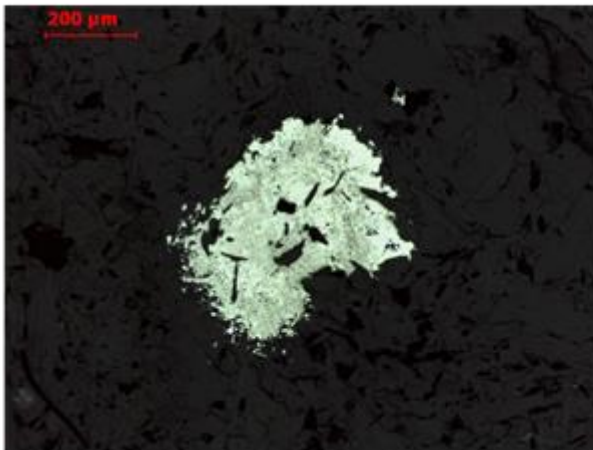
Nesta imagem pode-se observar o processo de alteração da calcopirite (Ccp), visto que é visível a covelite (Cv) nas fissuras da Ccp.

Microscopia de Luz Refletida



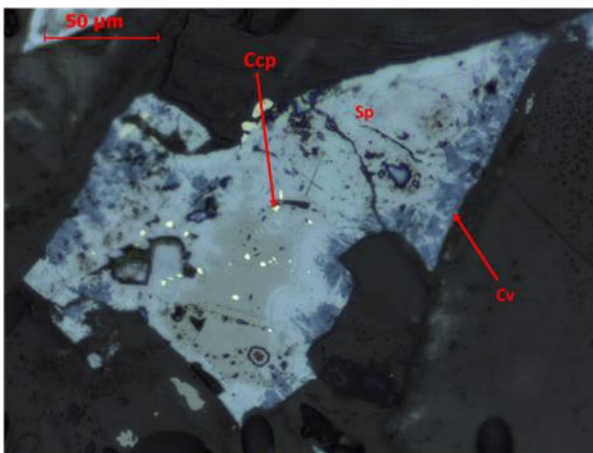
Nesta lâmina observam-se cristais euédricos de pirite (Py) no interior da calcopirite (Ccp), além disso observa-se covelite (Cv) nas fissuras desta.

Microscopia de Luz Refletida



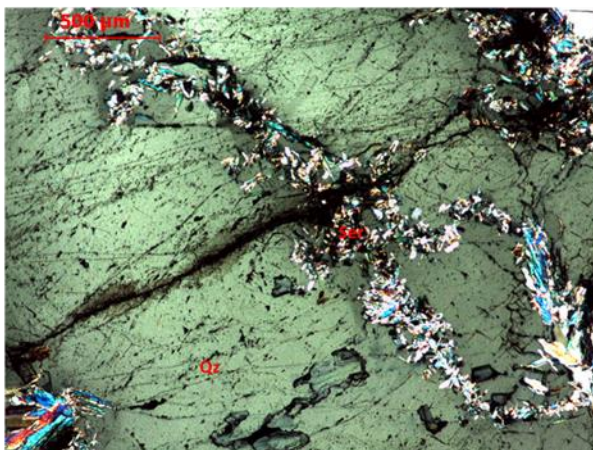
Nesta imagem observou-se que no interior dos cristais de pirite (Py) pode-se encontrar marcassite, esta deverá ser resultado de um processo de alteração da pirite.

Microscopia de Luz Refletida



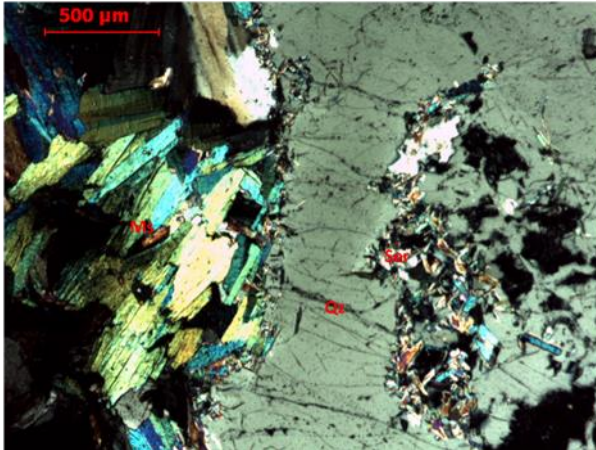
Além dos cristais de calcopirite (Ccp), também os cristais de esfalerite (Sp) se encontram alterados, com cristais de covelita (Cv) nos seus limites. É ainda de acrescentar que podem-se encontrar cristais de Ccp no interior da Sp.

Microscopia de Luz Transmitida



No interior do Qz são visíveis aglomerados de cristais de sericite (Ser), tal indica que este é posterior a estes cristais de mica.

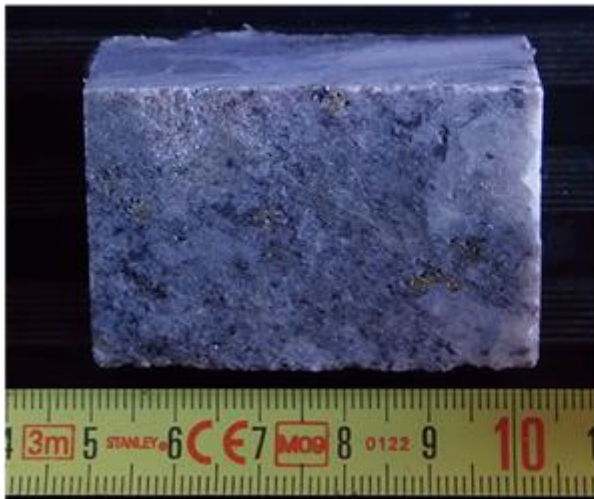
Microscopia de Luz Transmitida



Nesta imagem pode-se observar os dois tipos de mica branca, a sericite (Ser) e a moscovite, estando a primeira no contacto entre a moscovite (Ms) e o Qz. Assim, pode-se concluir que a moscovite formou-se primeiro, seguida da sericite e, posteriormente o Qz cristalizou.

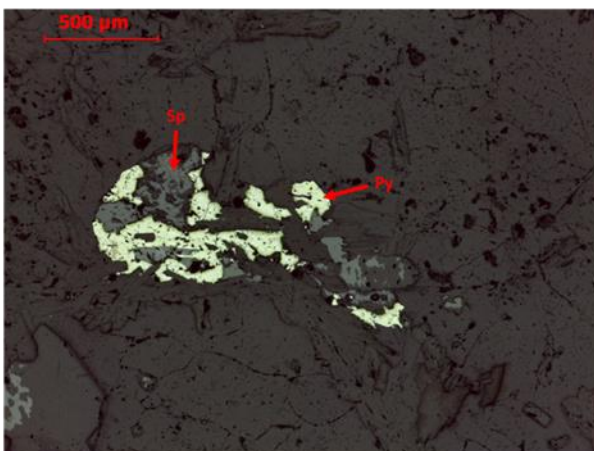
BO_L_10

Foto em amostra de mão



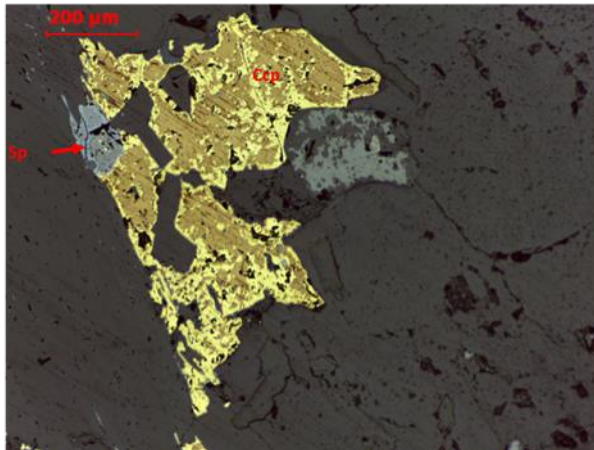
A amostra analisada é constituída por uma rocha granítica estando evidentes vários filonetes de quartzo multidirecionais. De um modo geral, a mineralização está dispersa por toda a amostra. No entanto, denota-se uma relação mais estreita com as zonas de contacto entre os filonetes de quartzo e a rocha granítica.

Microscopia de Luz Refletida



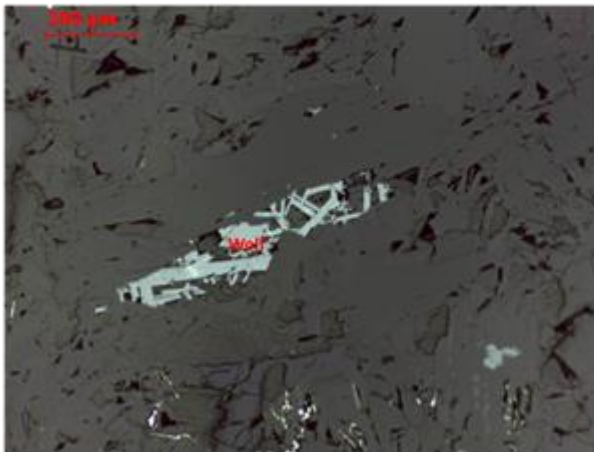
Nesta imagem observa-se um cristal de pirite (Py) com esfalerite no seu interior, tal como vice-versa.

Microscopia de Luz Refletida



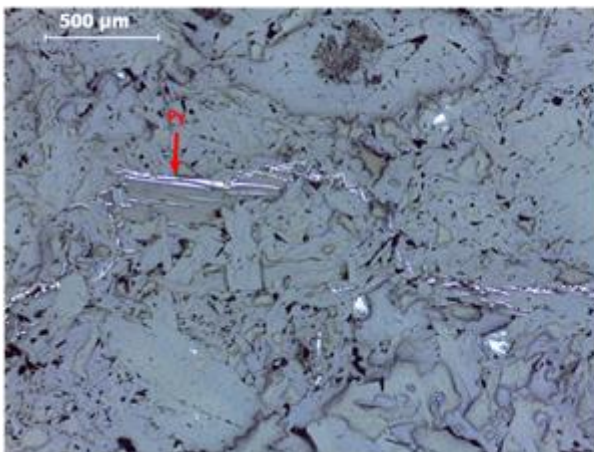
Como visto noutra lâminas também nesta se pode observar a esfalerite (Sp) no interior da calcopirite (Ccp), assim conclui-se que estes dois minerais devem ser singenéticos.

Microscopia de Luz Refletida



Na lâmina em estudo a wolframite (Wolf) apresenta uma forma subédrica como é visível na imagem.

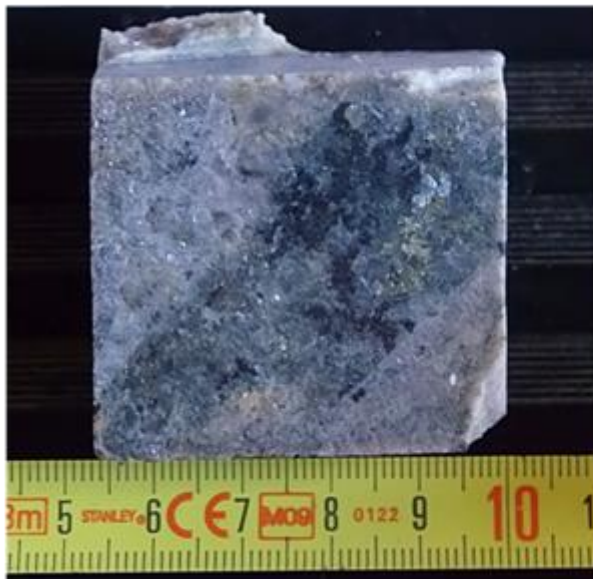
Microscopia de Luz Refletida



Como é observável nesta imagem um filonete de pirite (Py) corta todos os cristais encaixantes, tal indica que esta será posterior a estes minerais (moscovite e sericite).

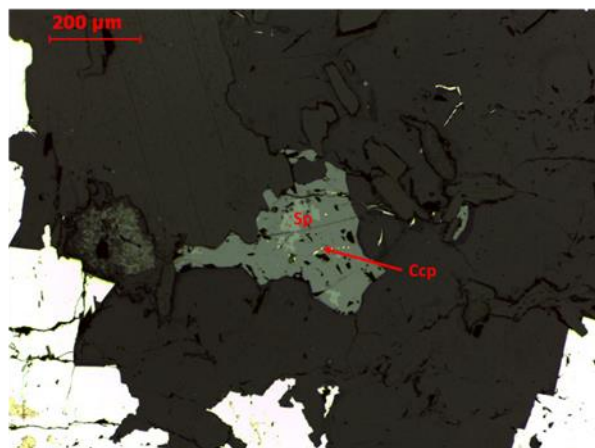
BO_L_11

Foto em amostra de mão



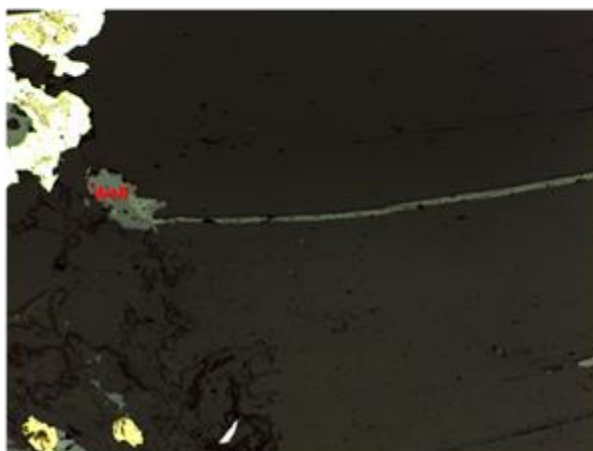
A amostra analisada é constituída por uma rocha granítica com nódulos de clorite, assim como, por vários filonetes de quartzo multidirecionais. De um modo geral, a mineralização está dispersa por toda a amostra. No entanto, denota-se uma relação mais estreita com as zonas com maior clorite, como visível em amostra de mão.

Microscopia de Luz Refletida



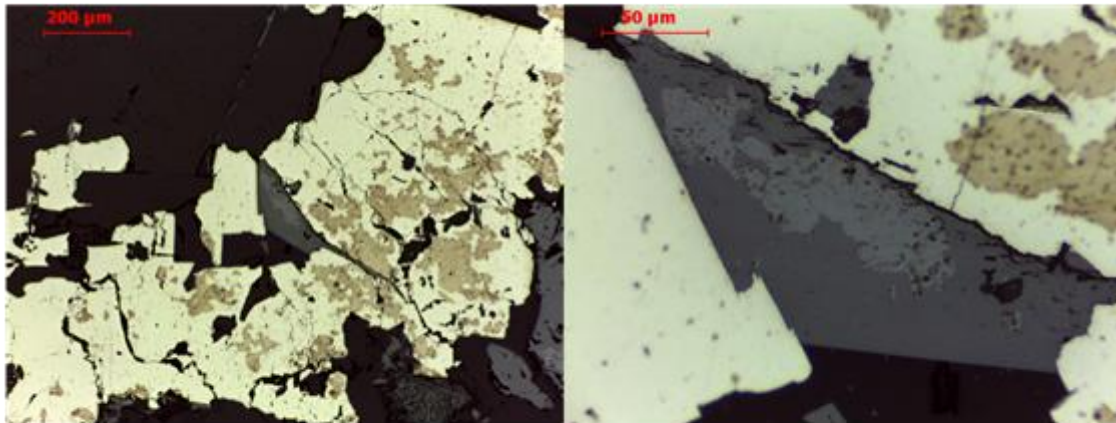
Tal como se observa na foto a volframite pode-se encontrar também em pequenos veios que se ligam a cristais de maiores dimensões.

Microscopia de Luz Refletida



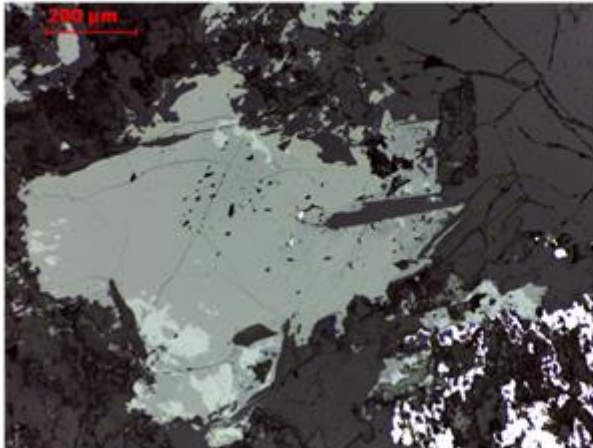
Tal como se observa na foto a volframite pode-se encontrar também em pequenos veios que se ligam a cristais de maiores dimensões.

Microscopia de Luz Refletida



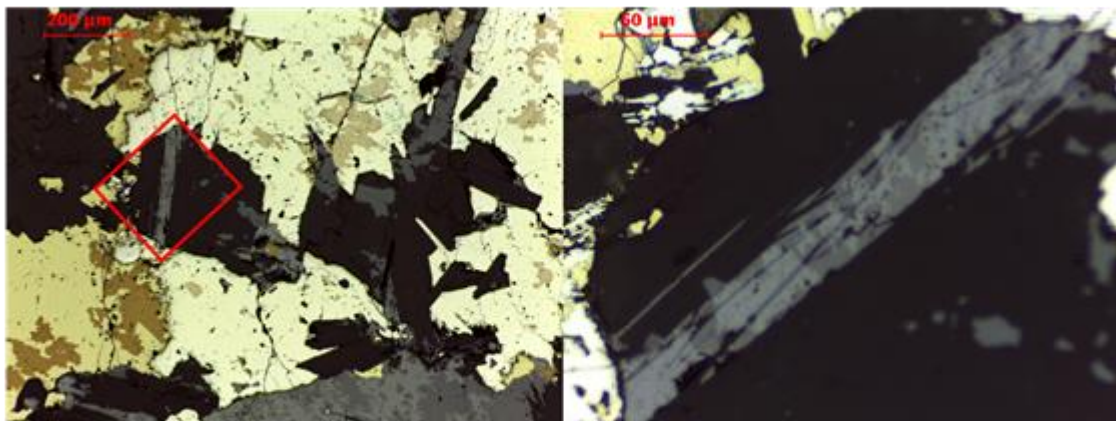
Além do que foi dito anteriormente, a volframite também ocorre no interior da pirite. Como tal, o minério de tungsténio deverá ser anterior à pirite, uma vez que, apresenta um contacto bem definido como é visível na imagem com maior ampliação.

Microscopia de Luz Refletida



É ainda de acrescentar que, no estudo desta lâmina ao microscópio ótico se observaram pequenos cristais de pirite no interior da volframite. No entanto, estes encontram-se a preencher algumas das cavidades da volframite.

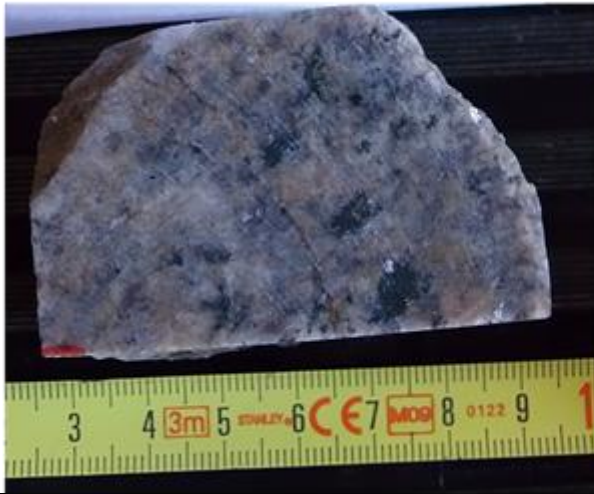
Microscopia de Luz Refletida



Tal como referido o anteriormente, a volframite com uma forma euédrica é visível no interior da pirite. Como tal, o minério de tungsténio deverá ser anterior à pirite, uma vez que, apresenta um contacto bem definido como é visível na imagem com maior ampliação.

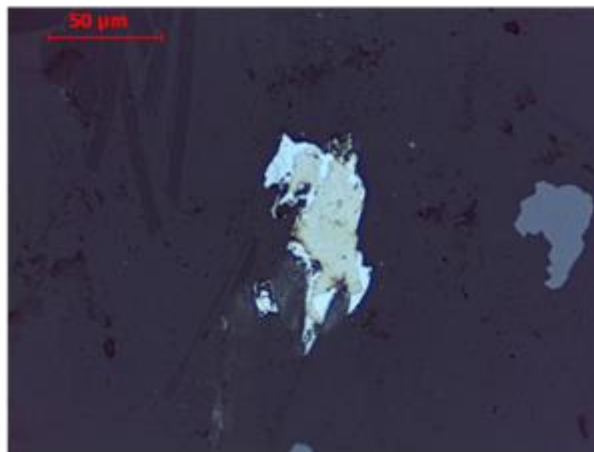
BO_L_12

Foto em amostra de mão

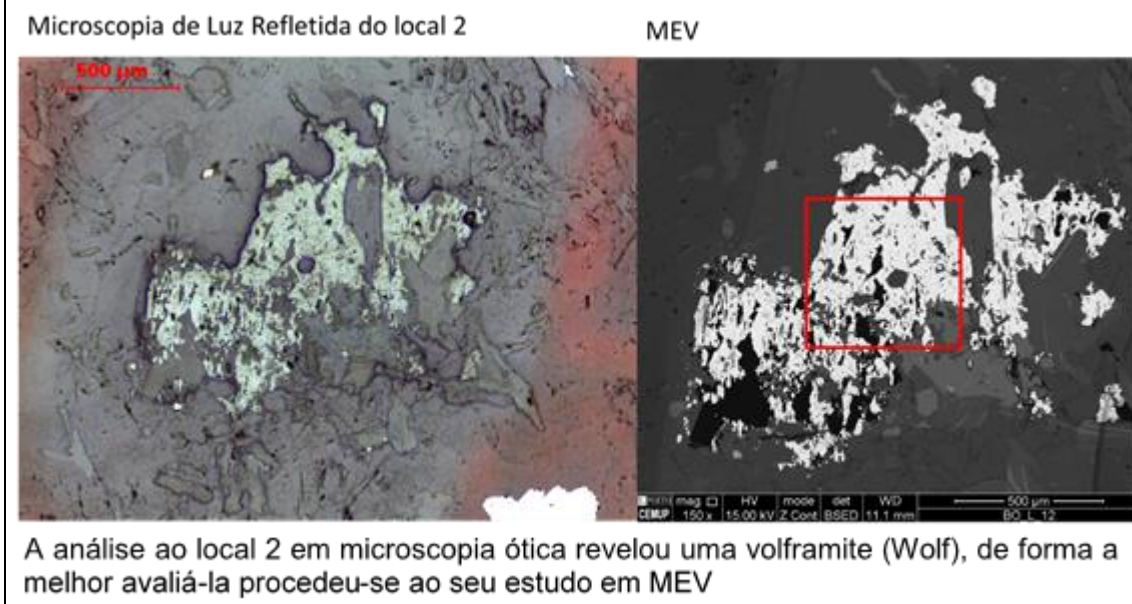
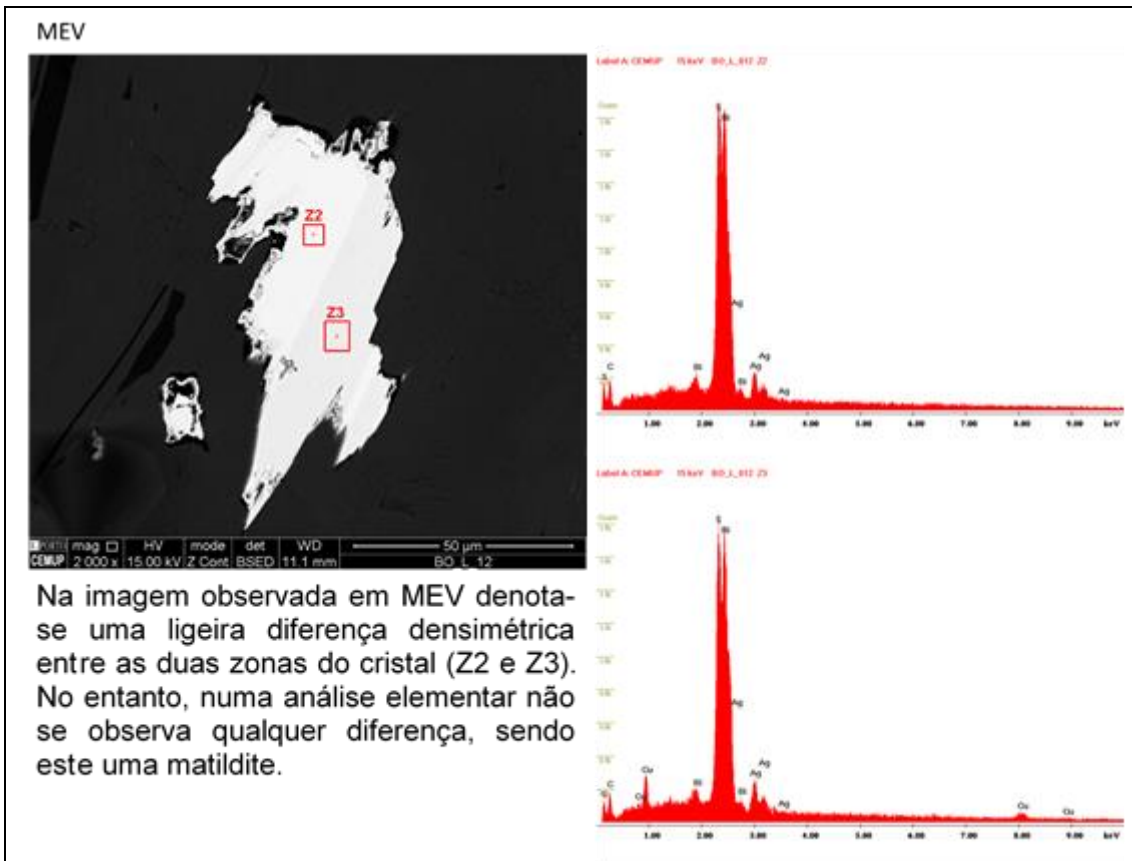


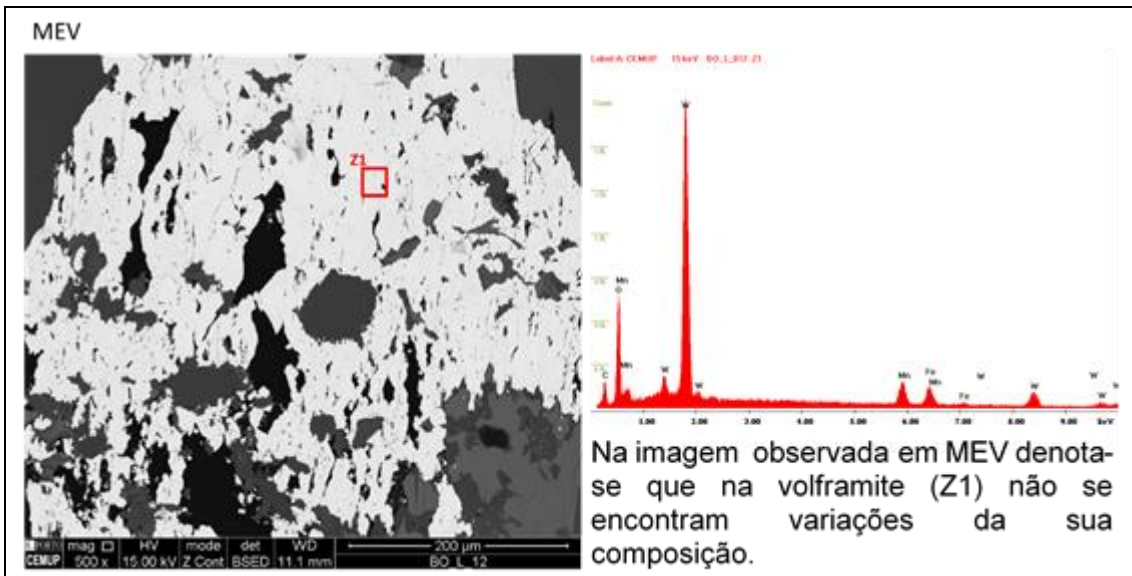
A amostra analisada é composta por uma rocha granítica com um filonete de Qz. De um modo geral, esta apresenta pouca mineralização estando esta relacionada com alguma clorite amorfa que se pode observar no interior do filonete, tal é observável em amostra de mão.

Microscopia de Luz Refletida

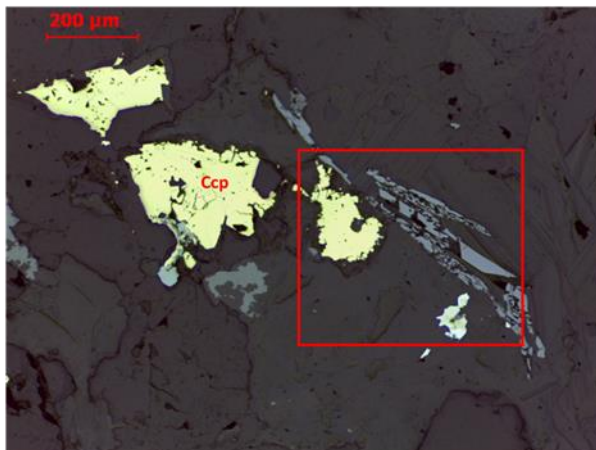


Numa maior ampliação do local 1, pode-se encontrar um cristal de difícil identificação, como tal procedeu-se ao seu estudo em MEV.





Microscopia de Luz Refletida do local 3



Em análise ao local 3 percebe-se que ocorrem junto à calcopirite alguns cristais lamelares aos quais se procedeu a sua identificação em MEV.

