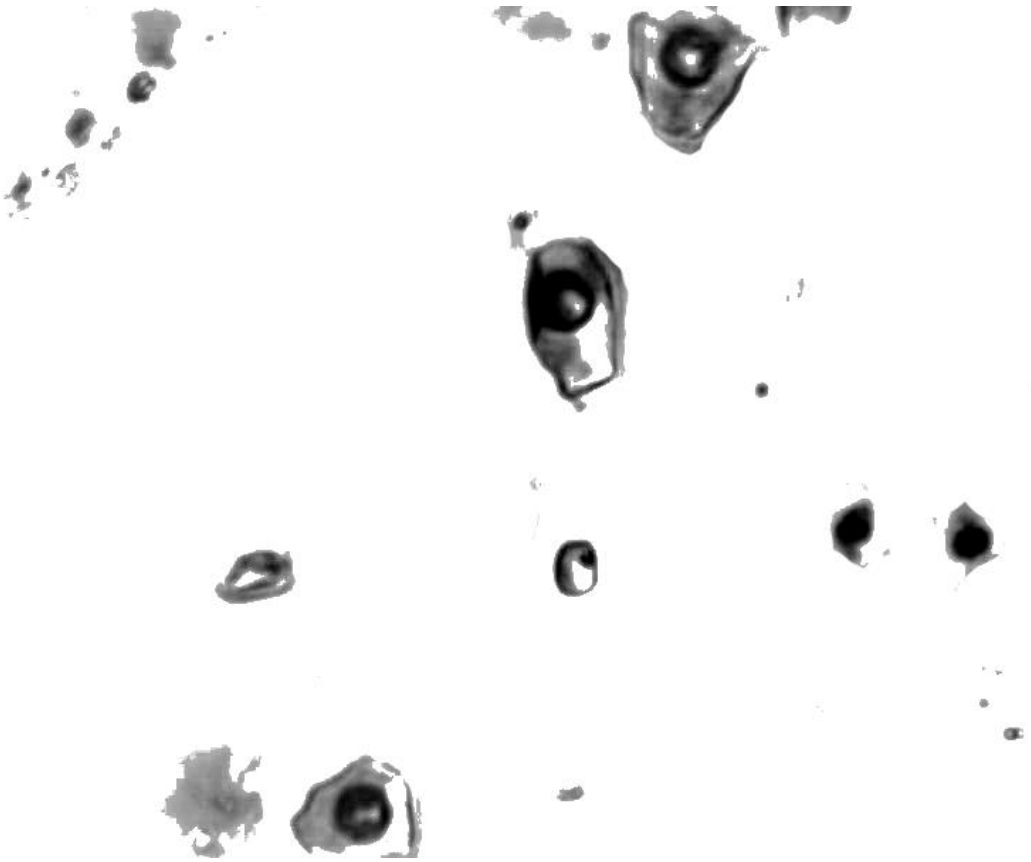


Estudo de inclusões fluidas dos filões pegmatíticos litiníferos de Segura

Alina Yakovenko
Mestrado em Geologia
Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território
2021

Orientador
Doutora Maria Alexandra de Mascarenhas Guedes,
Professora Auxiliar, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto



Todas as correções determinadas pelo júri, e só essas, foram efetuadas.

O Presidente do Júri,

Porto, _____/_____/_____

Agradecimentos

Antes de tudo quero agradecer ao projeto europeu ERA-MIN/0003/2019 por ter fornecido a oportunidade de realizar a presente dissertação de Mestrado em Geologia no âmbito deste projeto. Foi sem dúvida uma experiência muito importante no meu percurso académico.

De todo coração quero agradecer a professora Alexandra Guedes que orientou-me na realização da presente dissertação. Muito obrigada por ter-me proposto um tema que tive muito gosto em explorar e aprender uma área completamente nova para mim dentro do campo de conhecimentos em Geologia, por ter-me ensinado as técnicas novas, por ter passado muitas horas comigo a discutir as hipóteses possíveis e ajudar-me na construção do modelo geológico essencial para finalizar o trabalho desenvolvido, por compreender sempre as minhas ausências devido ao trabalho e pela sua generosa disponibilidade, paciência, confiança, a presença e amizade.

Quero agradecer ao professor Bruno Valentim por ter-me ajudado em esclarecer as dúvidas surgidas, pela sua presença e ajuda na reunião da SEM-EDS onde foram analisadas as amostras que estudei e também agradeço por ter-me ensinado algumas das técnicas e dicas úteis na elaboração do relatório científico.

Obrigada ao professor Fernando Noronha por ter participado na discussão quanto a construção do modelo geológico, fundamental para concluir o presente trabalho e por ter ajudado em todas as questões surgidas.

Obrigada aos colegas do laboratório Shayma, Marcela e Luís que ajudaram-me com os equipamentos e partilharam o espaço comigo.

Agradeço a todos os professores da comunidade de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto que partilharam comigo o seu conhecimento e que contribuíram para minha formação.

Quero ainda agradecer ao local do meu trabalho, a Casa Oriental e a empresa Grupo O Valor do Tempo, que acolheu-me desde que comecei o mestrado e que será sempre um cantinho onde fui feliz. Em especial, agradeço as gerentes Sandra e Cláudia

que desde início ajudaram-me em ter um horário flexível para poder conciliar o trabalho com a faculdade. Obrigada aos meus colegas e amigos de trabalho por todos os momentos de alegria e felicidade que passei convosco.

Obrigada ao professor de biologia e geologia, Joaquim Silva, que tive ao longo do meu ensino secundário, por ter criado em mim o sincero entusiasmo pela área de Geologia. Muito obrigada pelas suas aulas interativas e interessantes.

Aos meus pais e avós que sempre quiseram que eu continuasse com os estudos até ao fim e nunca duvidaram das minhas capacidades. Obrigada por estarem sempre comigo nos bons e maus momentos.

Muito obrigada aos meus queridos amigos, por poder sempre contar convosco e por estarem presentes na minha vida.

Resumo

Com o estudo das inclusões fluidas contidas nos minerais é possível a reconstituição das condições físico-quimicas que assistiram à sua formação. A partir desses estudos podem deduzir-se a composição e densidade dos fluidos, bem como as condições de T, P e fO_2.

Com o objetivo de contribuir para o conhecimento da génese de rochas pegmatíticas do Centro de Portugal foram estudadas as inclusões fluidas e a mineralogia de filões aplito-pegmatitos com lepidolite da região de Segura (Idanha-a-Nova). O estudo incidiu sobre quatro amostras (SEG 1, SEG 2, SEG 3 e SEG 5) de filões aplito-pegmatiticos encaixados em rochas metamórficas do Complexo Xisto-Grauváquico e que afloram nas proximidades do maciço granítico de Segura.

Nas amostras SEG 2 e SEG 5, foi realizado o estudo mineralógico. São amostras de rochas com textura aplítica dominantemente constituídas por albite em que se verifica a albitização de feldspatos potássicos por vezes presentes. Em SEG 2 verifica-se a presença de fosfatos como fluorapatite, topázio e turmalina da variedade schorl. Na amostra SEG 5, colhida na proximidade da amostra SEG 3 do aplito-pegmatito, observa-se a associação mineralógica de fosfatos como apatite, ambligonite-montebrasite com o intercrescimento da lacroixite, fosfatos de alumínio de ferro e de manganês, minerais da série souzalite-gormanite, columbo-tantalite e lepidolite.

As inclusões fluidas associadas aos diferentes tipos de quartzo estudados nas amostras SEG 1 e SEG 3 representam um aprisionamento heterogéneo de um fluido precoce do sistema H_2O-CO_2-(CH_4-N_2-NaCl), possivelmente de origem magmática (quartzos Q1A e Q1B). Este fluido terá sido depois modificado num contexto redutor, onde houve a sua interação com o encaixante metassedimentar, possivelmente constituído por xistos negros, resultando no seu enriquecimento em CH_4 e N_2 e bem representado num quartzo hialino (Q2). Os fluidos foram aprisionados durante o arrefecimento e acompanhados por variações de pressão (devido à fraturação), e por isso vaporizados e aprisionados nas fraturas. O aprisionamento dos fluidos ter-se-à dado a pressões inferiores a 230 MPa e temperaturas superiores a 320 ºC.

Palavras-chave: Pegmatito LCT, aplito-pegmatito litinífero, lítio, quartzo, inclusões fluidas, Segura, microtermometria, espectroscopia Raman, isócora, condições P-T-X

Abstract

With the study of fluid inclusions trapped in minerals, it is possible to reconstitute the physical-chemical conditions that assisted their formation. From these studies, it is possible to deduce the composition and density of the fluids, as well as the T, P and fO_2 conditions.

In order to contribute to the knowledge of the genesis of the pegmatitic rocks from the Centre of Portugal, fluid inclusions and mineralogy of aplite-pegmatite veins with lepidolite from the Segura region (Idanha-a-Nova) were studied. The study focused on four samples (SEG 1, SEG 2, SEG 3 and SEG 5) of aplite-pegmatitic veins host by metamorphic rocks of the Schist-Greywacke Complex that outcrop near the Segura granitic massif.

In samples SEG 2 and SEG 5, a mineralogical study was performed. These are samples with aplitic texture predominantly constituted by albite in which the albitization of potassic feldspars, sometimes present, was verified. In SEG 2 the presence of phosphates such as fluorapatite, topaz and tourmaline of the schorl variety were verified. In the SEG 5 sample, collected in the proximity of the SEG 3 sample of the aplite-pegmatite vein there is a mineralogical association of phosphates such as apatite, amblygonite-montebrasite with the intergrowth of lacroixite, aluminium and iron-manganese phosphates, minerals from the souzalite-gormanite series, columbo-tantalite and lepidolite.

The fluid inclusions associated with the different types of quartz studied in the SEG 1 and SEG 3 samples represent a heterogeneous trapping of an early fluid of the H_2O-CO_2-(CH_4-N_2-NaCl) system, possibly of magmatic origin (quartz Q1A and Q1B).

This fluid was later modified in a reducing context, by the interaction with metasedimentary host rock, possibly constituted by black schists, resulting in its enrichment in CH_4 and N_2 and well represented in a hyaline quartz (Q2).

The fluids were trapped during cooling and accompanied by pressure variations (due to fracturing), and therefore vaporized and trapped in the fractures. The entrapment of fluids occurred at pressures below 230 MPa and temperatures above 320 ºC.

Key-words: LCT pegmatite, Li- rich aplite-pegmatite, lithium, quartz, fluid inclusions, Segura, microthermometry, Raman spectroscopy, isochore, P-T-X conditions

Índice

1 Introdução 1

1.1 Introdução 1

1.2 Objetivos 1

2 Inclusões fluidas 3

2.1 Ocorrência e distribuição 3

2.2 A classificação das inclusões fluidas 6

2.2.1 A morfologia das inclusões fluidas 6

2.2.2 Classificação quanto à origem 7

2.2.3 Classificação quanto a composição 8

2.2.4 Variações de conteúdo nas inclusões fluidas 9

2.3 Mudanças após o aprisionamento 11

3 Pegmatitos 12

3.1 Definição do Pegmatito 12

3.2 Génese dos pegmatitos 13

3.3 Zonamento espacial dos minerais nos pegmatitos 13

3.4 A classificação do pegmatito 14

3.5 Os pegmatitos com lepidolite 20

4 Os pegmatitos de Segura 21

4.1 Contexto geológico 21

4.1.1 Grupo das Beiras 24

4.1.2 Maciço de Segura 27

4.1.3 Filões e massas 28

4.1.4 Metamorfismo 29

4.1.5 Recursos minerais metálicos 30

5 Metodologia 31

5.1 Amostragem e preparação do material 31

5.2 Microtermometria 41

5.2.1 Criometria 42

5.2.2 Termometria 44

5.3 Micro-espectrometria Raman 45

5.4 Microscopia Eletrónica de Varrimento (SEM) 46

5.5 Definição duma isócora 46

5.6 Cálculo a partir dos programas de R. Bakker 47

5.6.1 Composição global das inclusões fluidas 47
5.6.2 Cálculo das isócoras 49
6 Resultados 51
6.1 Mineralogia 51
6.1.1 Determinação da mineralogia através análise por microscopia ótica, SEM e Raman 51
6.2 Petrografia das lâminas bipolidas espessas 59
6.2.1 Tipologia dos quartzos 59
6.2.2 Petrografia das inclusões fluidas 59
6.3 Caracteristicas microtermométricas das inclusões fluidas 68
6.3.1 SEG 1-1 e SEG 1-2 68
6.3.2 SEG 3-1 e SEG 3-2 69
6.4 Composição da fase volátil 79
6.5 Composição global dos fluidos 85
6.5.1 Comparação dos dados obtidos com outros casos do estudo das inclusões fluidas em pegmatitos litiníferos 91
6.6 Determinação das condições P-T 95
7 Conclusões 100
8 Referências 102
Anexos

Lista de figuras

Figura 1 - Representação esquemática duma inclusão fluida com as três fases: líquida, vapor e sólida. **5**

Figura 2 - Inclusão bifásica com fase líquida e vapor encontrada em veios de quartzo (in Prieto et al., 2003). **5**

Figura 3 - Exemplos das morfologias nas inclusões fluidas: A - forma irregular duma inclusão trifásica em quartzo dos Alpes (in Prieto et al., 2003); B – forma esferoidal duma inclusão bifásica em quartzo (in Prieto et al., 2003); C – inclusão em cristal negativo (cubo de halite) (in Roedder, 1984); D – inclusão tubular (in Hoyer et al., 2020). **6**

Figura 4 - Distribuição idealizada das inclusões fluidas P, S e PS no quartzo e na fluorite. A - secção no quartzo paralela a eixo c; B - secção paralela à face do cubo na fluorite (adaptado de Shepherd et al., 1985). **7**

Figura 5 - Zonamento regional dentro de um grupo pegmatito da família LCT (adaptado de London, 2021). As segregações do pegmatito formam-se ao longo da margem superior do plutão. Estes coalescem para cima nos pegmatitos "cerâmicos" comuns - as principais fontes de feldspato e quartzo para vidro, cerâmica e eletrónica. Para fora da auréola térmica do plutão, o berilo aparece como o primeiro mineral raro característico dos pegmatitos de elementos raros. Para o exterior, os pegmatitos fracionam-se com o aparecimento de apenas espodumena (alta P) ou petalite-espodumena (P inferior) nas associações internas, e os pegmatitos mais evoluídos, e às vezes miarolíticos, estão localizados na margem distal do grupo dos pegmatitos. **16**

Figura 6 - Excerto da Carta Geológica de Portugal, - folha 25-D, Segura, na escala de 1 / 50 000, com o destaque na zona em estudo – região da Segura com a respetiva legenda das formações presentes na área destacada, que se encontram descritas na coluna estratigráfica no caso da sucessão Grupo das Beiras e nas tabelas no caso do Maciço da

Segura e filões visualizados no mapa. Ainda se destacam os recursos minerais presentes na área e sinais convencionais que descrevem as estruturas. **23**

Figura 7 - Unidades ante-ordovícicas da Formação de Malpica do Tejo e da Formação de Rosmaninhal que fazem parte do Grupo das Beiras estabelecidas num ensaio de correlação litoestratigráfica na Serra de Muradal-Rio Erges no bordo SW da ZCI, de Portugal e Espanha. 1 – Conglomerados; 2 – Metagrauvaques dominantes relativamente aos xistos; 3 – Alternâncias de xistos e metagrauvaques; 4 – Xistos negros normalmente com fosfatos (adaptado de Romão, 2000). **26**

Figura 8 - Excerto da Carta Geológica de Portugal com o destaque na zona em estudo – região de Segura, na escala de 1/ 50 000 da folha 25-D, onde se representa o local da amostragem das amostras SEG1, SEG2, SEG3 e SEG5. **33**

Figura 9 - Conjunto das amostras denominadas por SEG1, SEG2, SEG3 e SEG5 colhidas do aplito-pegmatito na área de Segura, onde em retângulos se representam as seções que foram recortadas para elaborar as lâminas para o estudo petrográfico e de inclusões fluidas. **34**

Figura 10 - Uma parte da amostra SEG1-1, onde se visualizam os cristais de quartzo grandes e translúcidos. **35**

Figura 11 - Taliscas recortadas das amostras do aplito-pegmaito de Segura com respetiva identificação das amostras SEG 1, SEG 2, SEG 3 e SEG 5, a partir das quais foram efetuadas lâminas delgadas polidas e lâminas espessas bipolidas. **38**

Figura 12 - Lâminas espessas bipolidas de 200 μm, feitas a partir das amostras SEG1 e SEG3, nas quais se vai aplicar o estudo das inclusões fluidas. Em todas as lâminas se visualizam grandes e translúcidos cristais de quartzo que vão ser a área de interesse para análise das inclusões fluidas. Nos quadrados estão selecionadas as zonas dos quartzos com as inclusões fluidas mais representativas, a partir das quais foram feitas as esquirolas, denominadas por z5 e z6 na SEG 1-1; zc1, z3, z5 e z7 na SEG 1-2; z4, z7 e z8 na SEG 3-1 e z2, z3 e z5 na SEG 3-2. **39**

Figura 13 - Exemplo de como foram partidas as lâminas bipolidas espessas SEG 3-2 e SEG 3-1 em esquirolas, prontas para a análise microtermométrica. **40**

Figura 14 - Equipamento para o estudo da criometria que inclui o microscópio ótico Nikon equipado com uma platina Chaixmeca (Poty et al., 1976) (selecionada em destaque) onde se dá o arrefecimento, por circulação de azoto. **43**

Figura 15 - Equipamento LINKAM PR600 (em destaque), conectado a água desionizada, através do qual faz-se o estudo da termometria. **44**

Figura 16 - Equipamento Raman. **45**

Figura 17 - Estimativa visual do grau de preenchimento da fase aquosa (Flw) nas inclusões fluidas (adaptado de Shepherd et al., 1985). **49**

Figura 18 - Análise da mineralogia da amostra SEG 2, onde através do estudo por microscopia ótica (A), espectroscopia Raman (K) e análise SEM (B), onde se observa a diferença entre os números atómicos através da escala dos cinzentos, verifica-se a sua composição constituída essencialmente por albite (Ab). Observam-se ainda o feldspato potássico (Kfs), quartzo (Qz) e a moscovite (Ms). Verificou-se também o fenómeno de albitização dos feldspatos (A, B, G, H) e a deposição do feldspato (B, D, E, G) e da fluorapatite (Ap) na matriz da albite, sobre a forma de cristais submicrométricos e a preencher os espaços em fendas (B, C, D, E, F, I). Obteve-se também o espectro dos minerais observados com o relevo proeminente que constituem a fluorapatite (J). **53**

Figura 19 - Observação microscópica da amostra SEG 2 em luz transmitida (N//) e luz polarizada (NX) onde se observam minerais da turmalina poicilítica da variedade schorl (Srl), topázio (Tpz) e apatites (Ap). **54**

Figura 20 - Comparação do espectro Raman da turmalina da amostra SEG 2 com o espectro da variedade da turmalina schorl de Erongo Mountains na Namibia, fornecido por Eugene Schlepp na base de dados RRUFF (A) e com os espectros das diferentes

variedades das turmalinas (schorl, liddicoatite, elbaite e dravite) definidos por Kloprogge (2017) (B). **54**

Figura 21 - Comparação do espectro Raman do topázio da amostra SEG 2 com o espectro Raman do topázio proveniente do Jos Plateau na Nigeria e fornecido por Marcus Origlieri na base de dados RRUFF. **55**

Figura 22 - Análise da mineralogia da amostra SEG 5, onde através do microscópico ótico (B) e análise SEM (C, G), verifica-se a composição constituída essencialmente por albite (Ab). Observam-se ainda o feldspato potássico (Kfs), quartzo (Qz) e a moscovite (Ms). Foram identificados, através do seu relevo e birrefringência elevados e análise elementar, minerais que pertencem ao grupo dos fosfatos de alumínio de ferro e de manganês (A, B,); minerais da série souzalite-gormanite, através da análise ótica (A), análise elementar (F, H) e análise do espectro obtido através da microespectroscópia Raman que foi comparado com o espectro da gormanite do Linopolis, Minas Gerais, Brazil fornecido por Michael Scott na base de dados RRUFF (J). Outro mineral identificado pelo seu número atómico superior (A, F, I), a columbo-tantalite. Também foi visto o fosfato da série ambligonite-montebrasite com a presença da lacroixite na sua estrutura (A, B, D). **56**

Figura 23 - Análise dos minerais da série ambligonite-montebrasite, presentes na amostra SEG 5, ao microscópio ótico (A) e análise SEM (C), onde se observam as zonas ricas em Na (zonas com manchas mais claras, relativamente aos minerais da série ambligonite-montebrasite), que correspondem aos finos intercrescimentos da lacroixite. O espectro obtido através Raman (G), comparado com o espectro da ambligonite de Pala, San Diego Country, California fornecido pela base de dados RRUFF. Na composição da matriz também foram identificados feldspatos K (A, B, E) e moscovites (A, B, F). **57**

Figura 24 - (A) Micas com hábito tabular visualizadas na amostra SEG 5, cujo espectro Raman foi comparado com os espectros da moscovite e lepidolite obtidos na base de dados RRUFF (B) e também com o espectro de lepidolite da fácies pegmatítica (Lepidolite-P) do Gonçalo (Sousa et al., 2019) (C). **58**

Figura 25 - (A) Análise do quartzo da lâmina bipolida espessa SEG 1-1 onde a tracejado amarelo é selecionada a igual tipologia do quartzo hialino (Q1A). Em destaque (B) observa-se em NX a esquirola da zona z5, onde foram selecionadas as inclusões fluidas distribuídas em fraturas (tracejado a amarelo, vermelho e verde), em grupos (tracejado a azul) e isoladas (C). São observadas as inclusões fluidas monofásicas do tipo Vc (D), bifásicas do tipo Vc-w (E) e do tipo Lw-c (F). **61**

Figura 26 - (A) Análise do quartzo da lâmina bipolida espessa SEG 1-2, onde a tracejado amarelo é selecionada a tipologia do quartzo hialino (Q1A), onde em destaque (B) observa-se o cristal de quartzo inteiro, muito fraturado e preenchido por inclusões fluidas (C) de tamanho até 5 µm. A tracejado vermelho (A) destaca-se quartzo hialino subgranulado (Q1B) com textura em mosaico e fraca recristalização dos bordos (D) com as respetivas inclusões fluidas do tipo Vc e Vc-w nele encontradas (E). **62**

Figura 27 - Exemplos da distribuição das diferentes tipologias das inclusões fluidas encontradas na lâmina SEG 1-2 no quartzo Q1A (A, C, D, E) e no quartzo Q1B (B). (A) grupos de inclusões monofásicas do tipo Vc com inclusões bifásicas do tipo Vc-w associadas. (B) inclusões bifásicas do tipo Vc-w. (C) Inclusões fluidas bifásicas do tipo Lc-w. (D, E) Inclusões fluidas secundárias com um grau de preenchimento de 0,95. **63**

Figura 28 - (A) Análise do quartzo Q2 da lâmina bipolida espessa SEG 3-1. Observam-se as formas xenomórficas de quartzo hialino (B, C, G, I) com fraca extinção ondulante (G). Os cristais de quartzo possuem a recristalização dos bordos e também a recristalização de quartzo em cristais mais pequenos (C, D). Observam-se as inclusões fluidas monofásicas do tipo Vm distribuídas em fraturas transgranulares (I) e bifásicas do tipo Lw-m em grupos (F) com algumas delas isoladas (E). Na imagem H observa-se quartzo abundantemente preenchido por inclusões com algum alinhamento. **64**

Figura 29 - (A, B e C) inclusões fluidas do tipo Vm, observadas na lâmina 3-1, a preencher as fraturas transgranulares; (D, E, F) inclusões fluidas bifásicas do tipo Lw-c e Lw-m distribuídas como em grupos (D) como isoladas (E e F). **65**

Figura 30 - (A) Lâmina bipolida espessa SEG 3-2 com o destaque na esquirola z5 (B) onde se observa quartzo hialino Q2 com zonas de alteração. Observam-se as inclusões fluidas do tipo Lw-c numa "nuvem" das inclusões (C) distribuídas em grupos (E, F) e também as inclusões do tipo Vm a preencher fraturas transgranulares (D). **66**

Figura 31 - (A) representação da esquirola z2 da lâmina bipolida espessa SEG 3-2 em NX, onde observam-se cristais de quartzo hialinos xenomórficos e com os bordos de recristalização (Q2). Na imagem B visualizam-se as inclusões fluidas isoladas, do tipo Lw-m e Vm-w. **67**

Figura 32 - As transformações durante o processo da criometria na inclusão fluida do tipo Lw-m localizada no quartzo Q2, onde se observa o congelamento da fase aquosa com a diminuição da temperatura, a fusão de gelo (TmI) e a fusão dos clatratos (TmCl). **70**

Figura 33 - As transformações durante o processo da termometria na inclusão fluida do tipo Lw-m localizada no quartzo Q2, onde se observa a diminuição do tamanho da fase vapor com o aumento da temperatura, homogenizando-se em líquido quando desaparece totalmente, assim definindo a temperatura da homogeização global (TH) da inclusão. **71**

Figura 34 - As mudanças das fases que ocorrem numa inclusão do tipo Vc, onde se observa a inclusão monofásica a temperatura ambiente; o congelamento; a formação da "meia lua" na fase vapor, antes do momento da fusão de CO_2; fusão de CO_2 aos -62,5 ºC e a temperatura de homogenização do CO_2 aos -31,8 ºC que ocorre no momento do desaparecimento do menisco. **71**

Figura 35 - As mudanças das fases que ocorrem numa inclusão do tipo Vc-w, onde se observa a inclusão bifásica a temperatura ambiente; o congelamento total; sucessivo descongelamento com o aumento da temperatura e a formação aos -64,3 ºC da "meia lua" na fase vapor próximo do momento da fusão de CO_2; fusão de CO_2 aos -61,3 ºC e a formação do menisco que separa a fase vapor da fase aquosa na inclusão e que vai avançar até desaparecer, aos -28,4 ºC, quando ocorre a homogeneização de CO_2; por fim, a fusão de clatratos (aos 13,4 ºC) que ocorre quando a fase vapor fica com os seus bordos mais regulares devido a libertação do gás hidratado. **72**

Figura 36 - As mudanças das fases que ocorrem numa inclusão do tipo Vm, onde se observa a inclusão monofásica a temperatura ambiente; o aparecimento da fase líquida aos -144 ºC e a temperatura de homogenização de CH_4 aos -94,9 ºC que ocorre no momento do desaparecimento do menisco. **72**

Figura 37 - Esquema do aprisionamento heterógeno dum fluido precoce no quartzo Q1A na amostra SEG 1. Observam-se inclusões fluidas com diferentes graus de preenchimento em água com os respetivos dados microtermométricos idênticos. Algumas das fraturas estão preenchidas por inclusões com o Flw elevado, cujas propriedades não foi possível avaliar. **73**

Figura 38 - Histogramas que demostram a distribuição da (A) $TmCO_2$, (B) $ThCO_2$, (C) TmCl e (D) TmI por tipologia de fluido, no quartzo Q1A. **76**

Figura 39 - Histograma com a distribuição da TH por tipologia de fluido, no quartzo Q1A. **77**

Figura 40 - Histogramas que demostram a distribuição da (A) $TmCO_2$ e (B) $ThCO_2$ por tipologia de fluido, no quartzo Q1B. **77**

Figura 41 - Histogramas que demostram a distribuição da (A) TmCl, (B) TmI, (C) TH e (D) $ThCH_4$ por tipologia de fluido, no quartzo Q2. **78**

Figura 42 - Espectros de compostos como CO_2, CH_4 e N_2 com os seus respetivos picos, encontradas numa inclusão do tipo Vc-w através da técnica da espectroscopia Raman.**81**

Figura 43 - Espectros de compostos como CO_2, CH_4 e N_2 com os seus respetivos picos, encontradas numa inclusão do tipo Lw-c através da técnica da espectroscopia Raman. **82**

Figura 44 - Diagrama triangular CO_2-CH_4-N_2 que representa a distribuição da composição da fase volátil presente nas diferentes tipologias das inclusões nos respetivos quartzos (Q1A, Q1B e Q2) identificados nas amostras SEG 1 e SEG 3. **84**

Figura 45 - Diagrama triangular H_2O-CO_2-CH_4+N_2 que representa a distribuição da composição global das diferentes tipologias das inclusões nos respetivos quartzos (Q1A, Q1B e Q2) identificados nas amostras SEG 1 e SEG 3. **90**

Figura 46 - Gráfico P-T com a projeção das isócoras totais das diferentes tipologias dos fluidos presentes nos quartzos Q1A, Q1B e Q2, num enquadramento das condições P-T abaixo da zona silimanite + cordierite (delimitada a verde). **97**

Figura 47 - À esquerda encontra-se o gráfico P-T com a projeção das isócoras das diferentes tipologias dos fluidos encontrados nos quartzos Q1A e Q1B, num enquadramento das condições P-T abaixo da zona silimanite + cordierite (delimitada a verde). À direita, encontra-se a projeção das condições P-T dos fluidos aprisionados nos quartzos Q1A e Q1B. **98**

Figura 48 - À esquerda encontra-se o gráfico P-T com a projeção das isócoras das diferentes tipologias dos fluidos encontrados no quartzo Q2, num enquadramento das condições P-T abaixo da zona silimanite + cordierite (delimitada a verde). À direita, encontra-se a projeção das condições P-T dos fluidos aprisionados no quartzo Q2. **99**

Lista de tabelas

Tabela 1 – Os dez principais minerais nos quais as inclusões fluidas são mais frequentemente relatadas (Shepherd et al., 1985). **5**

Tabela 2 – Esquema de classificação para inclusões fluidas em minerais baseado nas fases observadas a temperatura ambiente. L - líquido; V - vapor; S - sólido; GL - vidro. (Adaptado de Shepherd et al., 1985). **10**

Tabela 3 – As quatro classes de pegmatitos graníticos apresentando elementos secundários, contexto metamórfico e relação com granitos (adaptado de Cerný, 1991). **17**

Tabela 4 – Classificação de pegmatitos graníticos por classes segundo Černý & Ercit (2005). (REE – Elementos de Terras Raras: HREE – Elementos de Terras Raras Pesadas; LREE – Elementos de Terras Raras Leves; U – Urânio; B – Boro; Be – Berílio; Li – Lítio). **18**

Tabela 5 – Classificação petrogenética de pegmatitos graníticos por famílias LCT, NYF e Mista (adaptado de Černý & Ercit, 2005). **19**

Tabela 6 – Detalhe das amostras do aplito-pegmatito colhidas na Segura. **35**

Tabela 7 – Designação das lâminas em estudo de acordo seu número e o respetivo tipo de lâmina. **36**

Tabela 8 – O tipo de lâmina em estudo, os objetivos da sua análise e os respetivos equipamentos utilizados. **37**

Tabela 9 – Síntese da análise microtermométrica realizada nas amostras SEG 1-1 e SEG 1-2, onde representam-se os resultados obtidos quanto a temperatura de fusão de CO_2 ($TmCO_2$), temperatura de fusão de gelo (TmI), temperatura de fusão de clatratos (TmCl), temperatura de homogeneização de CO_2 ($ThCO_2$) e temperatura da homogeneização global (TH), junto com os dados obtidos na análise petrográfica quanto ao tipo de quartzo hospedeiro, a ocorrência das inclusões fluidas e o seu Flw. **74**

Tabela 10 – Síntese da análise microtermométrica realizada nas amostras SEG 3-1 e SEG 3-2, onde representam-se os resultados obtidos quanto a temperatura de homogenização de CH_4 ($ThCH_4$), temperatura de fusão de gelo (TmI), temperatura de fusão de clatratos (TmCl) e temperatura da homogeneização global (TH), junto com os dados obtidos na

análise petrográfica quanto ao tipo de quartzo hospedeiro, a ocorrência das inclusões fluidas e o seu Flw. **75**

Tabela 11 – Registo das proporções (min/máx) de compostos como CO_2, CH_4 e N_2 expressos em mole %, presentes na fase volátil nas diferentes tipologias das inclusões encontradas em duas amostras dos dois aplito-pegmatitos (SEG 1 e SEG 3). **83**

Tabela 12 – Síntese dos resultados (min./máx) obtidos para a composição global das inclusões fluidas (em mole %), analisadas em amostras dos dois aplito-pegmatitos (SEG 1 e SEG 3), **89**

Tabela 13 – Comparação dos resultados microtermométricos por valores min./máx. das inclusões fluidas encontradas nos minerais dos pegmatitos litiníferos, estudadas na região de Segura (SEG 1 e SEG 3) (presente trabalho) com os resultados de Rodrigues (2017), Freitas (2014), Martins , (2009), Vieira (2003), Lima (2000), Ramos & Noronha (1995). **93**

Lista de abreviaturas

AB – Abissal (classe pegmatítica)

Ab – Albite

ADG – Adagói (região)

ALJ – Alijó (região)

Amb – Ambligonite

Ap – Apatite

CEMUP – Centro de Materiais da Universidade do Porto

Ct – Columbo-tantalite

Crd – Cordierite

Cst – Cassiterite

CXG – Complexo Xisto-Grauváquico

Esp – Espodumena

Flw – Grau de preenchimento da fase aquosa

GON – Gonçalo (região)

Gor – Gormanite

HREE – Elementos de Terras Raras Pesadas

IF – Inclusões Fluidas

Kfs – Feldspato potássico

LCT – Lítio-Césio-Tântalo

Lcx – Lacroixite

Lpd – Lepidolite

LREE – Elementos de Terras Raras Leves

Mbr – Montebrasite

MES – Mesquitela (Mangualde)

MI – Miarolítica (classe pegmatítica)

MS – Moscovítica (classe pegmatítica)

Ms – Moscovite

MT$_i$ – Membro Inferior da formação Malpica do Tejo (N_{MTi})

MT_s – Membro Superior da formação Malpica do Tejo (N_{MTs})

MSREL – Moscovítica-Elementos Raros (classe pegmatítica)

NYF – Nióbio-Ítrio-Flúor

Pa – Pressão real de aprisionamento

PIF – Plano de Inclusões Fluidas

Ptl – Petalite

P-T-X – Pressão-Temperatura-Composição

PVT – Pressão-Volume-Temperatura

Qz – Quartzo

Ro – Formação de Rosmaninhal (NC_{Ro})

REE – Elementos de Terras Raras

REL – Elementos Raros (classe pegmatítica)

SEG – Segura (região)

SEM-EDS – *Scanning Electron Microscopy / Energy Dispersive Spectroscopy*

Sil – Silimanite

Sou – Souzalite

Srl – Schorl

Ta – Temperatura real de aprisionamento

Tm – Temperatura de fusão

TmCl – Temperatura de fusão dos clatratos

$TmCO_2$ – Temperatura de fusão do CO_2

TmI – Temperatura de fusão do gelo

TH – Temperatura de homogeneização global

$ThCH_4$ – Temperatura de homogeneização do CH_4

$ThCO_2$ – Temperatura de homogeneização do CO_2

Tpz – Topázio

VR – Veral (região)

ZCI – Zona Centro-Ibérica

1 Introdução

1.1 Introdução

A presente dissertação de Mestrado em Geologia foi desenvolvida no âmbito do projeto ERA-MIN/0003/2019 "Modelos preditivos para sistemas mineralizantes graníticos ricos em metais estratégicos baseados em indicadores e vectores minerais e geoquímicos", cujo coordenador é o Professor Doutor António Mateus da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

1.2 Objetivos

O principal objetivo da dissertação é contribuir para o estudo dos fluidos que ocorrem nos filões pegmatíticos de Segura, através do estudo de inclusões fluidas em quartzos dos pegmatitos com lepidolite da área. De um modo geral definiram-se os seguintes objetivos:

- Descrever de um modo geral os pegmatitos nos quais se inserem as amostras estudadas;

- Descrever petrograficamente as lâminas delgadas e espessas, determinar a mineralogia e selecionar as inclusões fluidas adequadas ao estudo;

- Classificar e descrever as diferentes tipologias de inclusões fluidas encontradas;

- Dominar as técnicas de estudo de inclusões fluidas, nomeadamente a microtermometria e a micro-espectrometria/espectroscopia Raman;

- Classificar e caracterizar quimicamente os diferentes fluidos encontrados;

- Reconstituir as condições P-T-X dos fluidos e propor uma origem para os mesmos.

A dissertação apresenta uma pesquisa científica introdutória descrita entre os capítulos 2 e 5, quanto a definição, classificação e a importância das inclusões fluidas; a definição e classificação dos pegmatitos; a apresentação do enquadramento geológico da área de Segura e a metodologia e as técnicas que serão aplicadas no estudo das inclusões fluidas.

No capítulo 6 apresentam-se os resultados sobre a mineralogia dos pegmatitos através da análise microscópica, SEM-EDS e espectroscopia Raman; a tipologia dos quartzos e petrografia das inclusões fluidas; a análise das inclusões fluidas através da microtermometria e espectrometria Raman; a composição da fase volátil e a composição global dos fluidos e a determinação das condições P-T. Finalmente propõem-se algumas conclusões no capítulo 7.

2 Inclusões fluidas

2.1 Ocorrência e distribuição

Os cristais perfeitos são desconhecidos na natureza (Shepherd et al., 1985). As imperfeições dum cristal variam de defeitos pontuais na escala atómica a defeitos grosseiros na escala macro. Para o geólogo, essas imperfeições preenchidas na forma de líquidos, sólidos e vapores podem fornecer uma valiosa chave para a compreensão dos processos físico-químicos pelos quais cristais crescem na natureza (Shepherd et al., 1985). Estudos de inclusões fluidos revelam-se particularmente úteis no campo da génese dos minérios, onde contribuem para a compreensão do seu transporte, deposição (Roedder, 1979; Spooner, 1981) e processos petrogenéticos.

Em meados de 1800, após o rápido desenvolvimento de microscopia ótica, o trabalho pioneiro de Henry Clifton Sorby elevou a categoria de inclusões fluidas de simples curiosidades científicas para objetos de considerável mérito científico e importância (Shepherd et al.,1985). Sorby, no seu artigo clássico de 1858, argumentou que as inclusões fluidas em minerais representavam porções aprisionadas dos líquidos, gases e *melts* dos quais o cristal tinha crescido e poderia ser usado para determinar o ambiente no qual uma rocha ou mineral poderia ter-se formado. Infelizmente, naquela altura, este artigo não recebeu o crédito que merecia e provocou comentários depreciativos por parte da comunidade científica. Os avanços na pesquisa de inclusões fluidas foram negligenciáveis até o início da década de 1950.

Segundo Noronha (1998), as inclusões fluidas (IF) são pequenas lacunas que ocorrem no seio dos minerais. Elas podem conter uma relíquia da fase ou fases que intervieram na génese do mineral hospedeiro (Figs. 1-2).

Recorrendo a um conjunto de métodos, na sua maioria de fácil aplicação, podem estudar-se os fluidos que assistiram à formação dos minerais e que neles se encontram aprisionados (Noronha, 1998). A partir desses estudos podem deduzir-se a composição e densidade dos fluidos, bem como as condições de T, P e fO_2. Isto é, pode-se através do estudo das inclusões fluidas reconstruir-se pelo menos parte da história do mineral hospedeiro (Noronha, 1998).

Segundo Bodnar (2003), no estudo das inclusões fluidas existem princípios importantes denominados por "Regras de Roedder": a inclusão aprisiona uma única fase homogénea; a inclusão permanece num sistema de volume constante após o aprisionamento e nada pode ser adicionado ou removido da inclusão após o aprisionamento.

Segundo Shepherd et al. (1985) a maioria das inclusões fluidas é menor que 0,1 mm (100 μm) e são melhor observados com ajuda de microscópio ótico adequado. Os dez minerais em que as inclusões fluidas são frequentemente descritas apresentam-se na Tabela 1. Uma caraterística comum a todos esses minerais é que eles são transparentes e/ou ligeiramente coloridos, que é o pré-requisito fundamental para qualquer estudo ótico das inclusões fluidas.

Inclusões em minerais frágeis e com clivagem como barite e calcite são fortemente suscetíveis para o *leakage* e *necking-down* (fenómenos que ocorrem após o aprisionamento) e, portanto, são frequentemente consideradas com pouco valor para estes estudos (Shepherd et al., 1985).

Segundo Shepherd et al. (1985), a abundância e a distribuição geral de inclusões fluidas num cristal dependem, parcialmente, das condições do crescimento primário e, parcialmente, da história da amostra após à cristalização. Em média é pouco comum para a população total da inclusão ocupar > 0,1% de volume de um dado cristal. Considerando um valor de 0,1 %, é simples estimar o número de inclusões de uma determinada forma e tamanho numa determinada amostra. Esta é uma simplificação exagerada, porque nessa estimativa assume-se a distribuição uniforme. As inclusões tendem a ocorrer em agrupamentos planares ou curviplanares, que são frequentemente controlados cristalograficamente (i.e. ao longo de planos de crescimento ou ao longo das direções de clivagem) (Shepherd et al., 1985).

Tabela 1 – Os dez principais minerais nos quais as inclusões fluidas são mais frequentemente relatadas (Shepherd et al., 1985).

1. Quartzo
2. Fluorite
3. Halite
4. Calcite
5. Apatite
6. Dolomite
7. Esfalerite
8. Barite
9. Topázio
10. Cassiterite

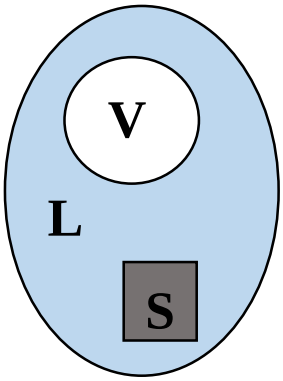


Figura 1 – Representação esquemática duma inclusão fluida com as três fases: líquida, vapor e sólida.

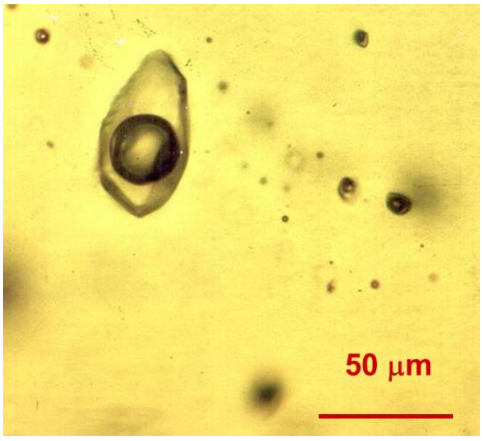


Figura 2 – Inclusão bifásica com fase líquida e vapor encontrada em veios de quartzo (in Prieto et al., 2003).

2.2 A classificação das inclusões fluidas

2.2.1 A morfologia das inclusões fluidas

Segundo Shepherd et al. (1985) a forma das inclusões fluidas é fortemente variável e é parcialmente controlada pela cristalografia do mineral hospedeiro. Pode-se observar na halite, que as inclusões fluidas podem assumir a forma perfeita (forma em cristal negativo) refletindo o detalhe da simetria cúbica do mineral hospedeiro (Fig. 3-C). Por outro lado, as inclusões podem ser fortemente irregulares e achatadas (Fig. 3-A). Em minerais frágeis, com clivagem (carbonatos), as paredes das inclusões são frequentemente lapidadas ao longo dos planos, reproduzindo as direções da clivagem do mineral hospedeiro. A forma esferoidal ou oblata é frequente especialmente no quartzo (Fig. 3-B), enquanto as inclusões tubulares são melhor desenvolvidos em minerais alongados e prismáticos como apatite, berilo e espodumena (Fig. 3-D).

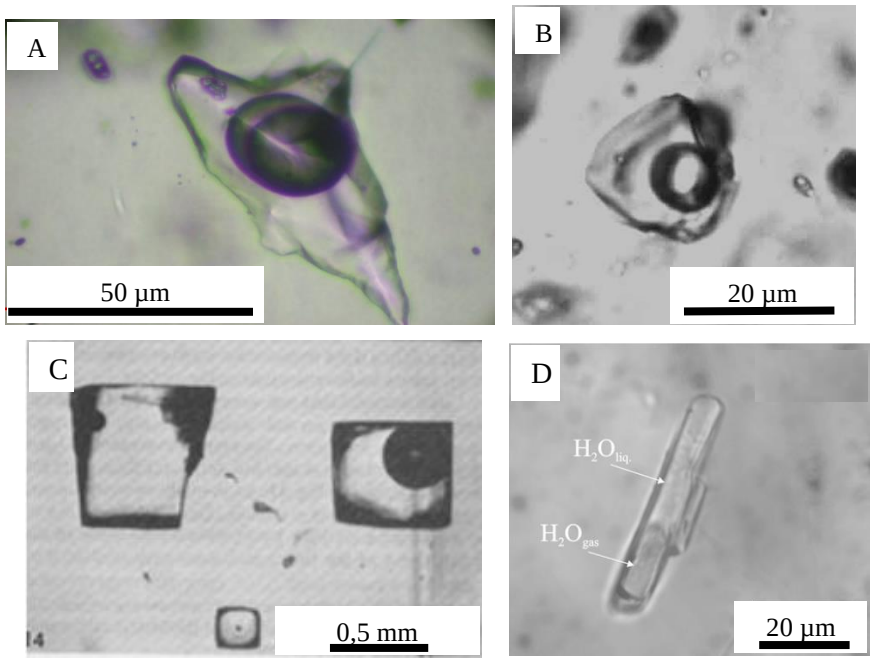


Figura 3 – Exemplos das morfologias nas inclusões fluidas: A - forma irregular duma inclusão trifásica em quartzo dos Alpes (in Prieto et al., 2003); B – forma esferoidal duma inclusão bifásica em quartzo (in Prieto et al., 2003); C – inclusão em cristal negativo (cubo de halite) (in Roedder, 1984); D – inclusão tubular (in Hoyer et al., 2020).

2.2.2 Classificação quanto à origem

Segundo Shepherd et al. (1985), as inclusões fluidas formadas durante o crescimento primário do mineral (inclusões P ou primárias) distinguem-se das inclusões fluidas incorporadas no mineral hospedeiro durante o processo posterior, onde o cristal já estaria formado (inclusões S ou secundárias) (Fig. 4). O mecanismo geralmente aceite para a formação das inclusões fluidas secundárias envolve o desenvolvimento de fraturas posteriores à cristalização, durante o "stress" mecânico ou térmico. Essas fendas são depois seladas por fluidos posteriores e formam a trilha caraterística das inclusões fluidas secundárias que, tipicamente, cortam as gerações anteriores. Alguns autores (e.g. Roedder, 1976) distinguem a terceira classe genética, intermédia entre inclusões P e S, denominada por inclusões pseudosecundárias ou inclusões PS (Fig. 4). As inclusões pseudosecundárias assumem-se serem desenvolvidas de forma semelhante às inclusões S, a única diferença é que a fraturação e a cicatrização tomam o lugar antes do crescimento do cristal ter terminado. Portanto, as inclusões P e PS devem refletir o carater dos fluidos presentes durante o crescimento do cristal, enquanto as inclusões S representam os fluidos posteriores, possivelmente, não relacionados ao crescimento primário.

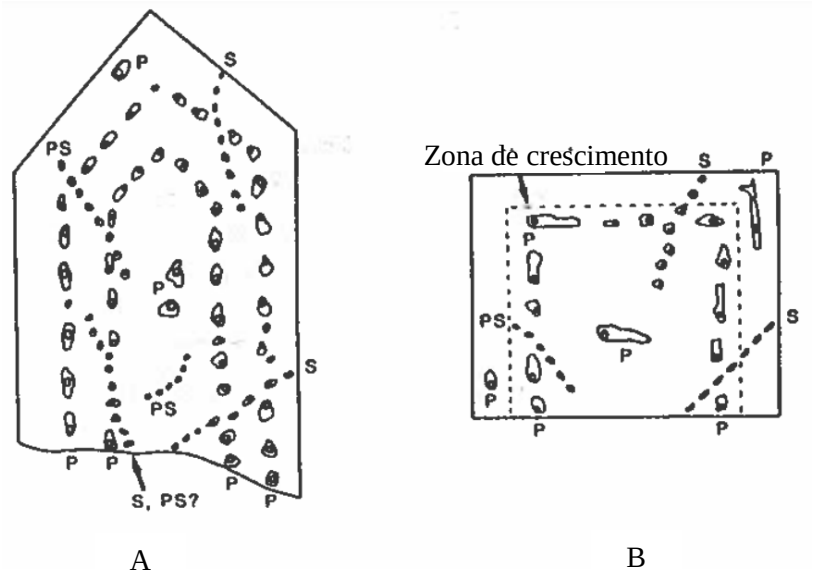


Figura 4 – Distribuição idealizada das inclusões fluidas P, S e PS no quartzo e na fluorite. A - secção no quartzo paralela a eixo c; B - secção paralela à face do cubo na fluorite (adaptado de Shepherd et al., 1985).

2.2.3 Classificação quanto a composição

No presente texto trata-se da designação das diferentes tipologias das inclusões fluidas consoante as suas fases e a sua composição. As classificações que seguem abaixo serviram de nomenclatura para descrever a tipologia das inclusões fluidas no presente trabalho.

A composição das inclusões fluidas depende da natureza física e química do meio fluido no momento do aprisionamento (Noronha, 1998). Em função do seu conteúdo distinguem-se vários tipos de inclusões: L, V, S e G.

Tipo L são inclusões dominantemente líquidas. Em função do seu conteúdo podem ser classificadas em: inclusões aquosas (Lw); inclusões carbónicas (Lc) e inclusões aquo-carbónicas, onde além de CO_2 mais ou menos dominante (Lc-w, Lw-c) ocorre também uma solução aquosa (Noronha, 1998).

Tipo V são inclusões dominantemente constituídas por uma fase vapor. Se o vapor for vapor de água, a inclusão pode designar-se por Vw. Se o vapor dominante for de composição carbónica pode designar-se por Vc (Noronha, 1998).

Tipo S são as inclusões com fases sólidas inclusas. São inclusões formadas a partir de soluções complexas ou muito concentradas (Noronha, 1998). Podem conter uma ou mais fases sólidas (S) que podem ter a forma de cristais *daughter minerals*, além de uma fase L e/ou V.

Tipo G são as inclusões com vidro e/ou *melt*. Estas inclusões formam-se por aprisionamento de um *melt* que depois cristaliza ou não (Noronha, 1998).

2.2.4 Variações de conteúdo nas inclusões fluidas

Segue também o esquema de classificação, segundo Shepherd et al. (1985), quanto as diferentes proporções de sólidos, líquidos e vapor nas inclusões fluidas, descrito na Tabela 2 e explicado no texto abaixo.

Esta nomenclatura embora não aplicada no presente trabalho, serve de guia para entender os possíveis exemplos das variações de conteúdo que possam ocorrer nas inclusões fluidas.

É conveniente agrupar as inclusões de acordo com as fases principais presentes à temperatura ambiente.

Inclusões líquidas monofásicas (L): são as mais simples de todas as inclusões e são inteiramente preenchidas com líquido (geralmente aquoso).

Inclusões ricas em líquido com duas fases (L + V): a fase líquida é dominante mas a fase de vapor está sempre presente e ocupa até um máximo de 40 à 50% de volume total.

Inclusões ricas em vapor com duas fases (V + L): a fase vapor domina e ocupa mais que metade do volume da inclusão. Contudo, o rebordo fino de líquido permanece visível.

Inclusões monofásicas com vapor (V): inteiramente preenchidos com fase rica em vapor de baixa densidade (geralmente a mistura de CO_2, CH_4, H_2O, N_2) sem algum líquido visível.

Inclusões multifásicas sólidas (S + L ± V) e multisólidas (S + L ± V): ambas são semelhantes em conter uma ou mais fases sólidas cristalinas (*daughter minerals*) como componente essencial em adição ao líquido e vapor. Se os sólidos ocupam > 50% as inclusões referem-se multisólidas em vez de multifásicas.

Inclusões com líquidos imiscíveis (L_1 + L_2 ± V): caraterizados pela presença de dois líquidos imiscíveis, sendo um aquoso e outro rico em CO_2. A fase rica em CO_2 pode conter quantidades substanciais de CH_4 ou N_2. Nas inclusões com três fases, a fase aquosa sempre rodeia o líquido rico em CO_2, que por sua vez envolve uma fase de vapor rica em CO_2.

Inclusões com vidro: inclusões de *melt* silicatado em forma de inclusões cristalinas ou inclusões com vidro se o arrefecimento for rápido. Inclusões de vidro são comuns em fenocristais de rochas vulcânicas e subvulcânicas. A caraterística essencial é que a presença de vidro ocupa pelo menos 50% de parte solida da inclusão.

Tabela 2 – Esquema de classificação para inclusões fluidas em minerais baseado nas fases observadas a temperatura ambiente. L - líquido; V - vapor; S - sólido; GL - vidro. (Adaptado de Shepherd et al., 1985).

Tipo da inclusão	Fase essencial	Exemplos	Abreviatura
Líquida monofásica	L = 100 %		L
Rica em líquido, duas fases	L > 50 %		L + V
Rica em vapor, duas fases	V = 50 a 80 %		V + L
Monofásica com vapor	V = 100 %		V
Multifásica sólida	L = variável S < 50 %		S + L ± V
Multisólida	S > 50 % L, V variável		S + L ± V
Líquidos imiscíveis	L_1, L_2		$L_1 + L_2 \pm V$
Vidro	G > 50%	—	GL ± V ± S

2.3 Mudanças após o aprisionamento

Um ponto importante no estudo das inclusões fluidas é reconhecer e evitar estudar as inclusões cujo fluido já não é representativo do fluido inicial, porque houve uma "fuga" conhecida por *leakage*, estrangulamento denominado por *necking down*, inclusões com *daughter minerals* e as que já sofreram o fenómeno de decrepitação (Shepherd et al., 1985).

Como já foi referido, o *leakage* acontece em minerais frágeis e que clivam facilmente. Normalmente, a "fuga" do material que se encontrava na inclusão ocorre mais vezes para fora do que para dentro. O reconhecimento do *leakage* baseia-se na constante da razão das fases (razão L:V) no grupo das inclusões.

Quanto ao *necking down*, as inclusões de formas irregulares, ao longo de tempo, têm uma tendência de mudar a sua forma para uma morfologia mais regular (cristal negativo) ou esferoidal (Tuttle, 1949). Essas mudanças ocorrem por um processo de dissolução interna de algumas partes das paredes das cavidades e redeposição desse material em outras partes (Shepherd et al., 1985). Neste caso, nos minerais relativamente insolúveis como o quartzo, o volume da inclusão permanece mais ou menos constante em toda a faixa de temperatura na qual ocorrem as mudanças (de temperatura do aprisionamento à temperatura ambiente). Se originalmente a inclusão é grande, plana e irregular, o reequilíbrio pode causar a inclusão dividir-se numa serie de inclusões menores e mais regulares.

Daughter minerals, por definição são fases sólidas que cristalizaram a partir do fluido já fechado após o aprisionamento (Shepherd et al., 1985).

A decrepitação, consiste na substituição total ou parcial do fluido original da inclusão por fluido circundante, ocorrendo, por exemplo, quando uma inclusão é intersetada por uma fratura.

As modificações mencionadas em cima compreendem mudanças na forma e volume nas inclusões, alterações na composição do fluido e as perdas do fluido original.

3 Pegmatitos

3.1 Definição do Pegmatito

Pegmatitos são rochas ígneas texturalmente complexas marcadas por alguma combinação de tamanho de cristal extremamente grande, mas variável, zonamento espacial de minerais e hábitos de intercrescimento esquelético, radial ou gráfico[1] dos cristais (London, 2008). Pegmatitos são encontrados como segregações perto do plutão de origem, como enxames de diques que emanam de seus plutões para as rochas ígneas e metamórficas circundantes, e como corpos intrusivos planares a lenticulares cujas fontes não são expostas (Fig. 5) (London, 2021). Os pegmatitos estão associados à maioria das rochas ígneas plutónicas comuns, incluindo gabro e sienito, mas a grande maioria deles são graníticos na composição por razões explicadas a seguir.

Os pegmatitos comuns possuem composições graníticas simples, consistindo em proporções aproximadamente iguais de plagioclase sódica, feldspato potássico e quartzo. Eles contêm quantidades menores (baixa percentagem em volume) a acessórias (<1 % em volume) de micas, granada, turmalina e apatite. Estudos realizados em milhares de pegmatitos comuns comprovam que suas composições estão próximas ao líquido granítico de composição eutética, o que significa que o magma foi refinado por cristalização fracionada até o líquido de menor temperatura possível para o ambiente final de sua cristalização (London, 2021).

[1] - *fabric* macroscópico no qual um pequeno número de cristais (um ou mais) de um mineral ocorre como um intercrescimento esquelético radial dentro de um único cristal de um mineral hospedeiro. A textura gráfica é mais comumente observada em associação com pegmatitos, onde o mineral hospedeiro é tipicamente feldspato K, mas também pode incluir turmalina, berilo, vários fosfatos ou granada. A fase intersticial do esqueleto é geralmente quartzo no caso dos cristais hospedeiros de silicato. O intercrescimento de quartzo esquelético dentro de um feldspato-K hospedeiro é referido como granito gráfico, que era a textura definidora original dos pegmatitos (London, 2008).

3.2 Génese dos pegmatitos

A maioria dos investigadores defende a sua génese a partir dos *melts* residuais derivados da cristalização de plutões graníticos (Simmons & Webber, 2008). Os componentes incompatíveis, voláteis e elementos raros, concentram-se nos *melts* residuais. A presença de voláteis que diminui a temperatura de cristalização, as taxas de nucleação, a polimerização e a viscosidade do *melt*, e aumenta as taxas de difusão e solubilidade, considera-se crítica para o desenvolvimento de grandes cristais e texturas pegmatíticas.

Avanços significativos na compreensão da génese do pegmatito foram feitos nos últimos 40 anos. Nas décadas de 1970 e 80, o modelo mais amplamente aceite para a génese dos pegmatitos foi o de Richard Jahns (Jahns, 1955, 1982; Jahns & Burnham, 1969), que divulgou a ideia de que os pegmatitos evoluem dos *melts* residuais graníticos compostos por, coexistentes, vapor de água e fundido silicatado. Jahns & Burnham (1969) e Jahns & Tuttle (1963) citaram evidências experimentais de pegmatitos formados pela cristalização em equilíbrio de duas fases coexistentes, nomeadamente, *melts* graníticos e fluidos aquosos em, ou ligeiramente abaixo da curva *liquidus* do sistema granito hidratado. Jahns & Burnham (1969) também determinaram o conceito de que a água atuava como uma fase incompatível que aumentava no *melt* residual à medida que a cristalização progredia, até que o vapor rico em água se separava do *melt* rico em sílica. No modelo de Jahns é essa interação das fases de *melt* e vapor que dá origem às texturas pegmatíticas e à transição do granito para pegmatito.

3.3 Zonamento espacial dos minerais nos pegmatitos

Em corpos pegmatitos cujo percurso de instalação é íngreme, a segregação de minerais por zona é concêntrico em torno do plano axial do corpo pegmatítico (Cameron et al., 1949), onde a cristalização a partir de ambos os lados leva á junção na parte central no fim do processo de solidificação. Neste caso, as zonas externas são dominadas por

plagioclase mais quartzo, as zonas intermediárias tornam-se enriquecidas em feldspato K e as unidades intermediárias posteriores e centrais mais recentes são ricas em quartzo, seguido por uma última zona pobre em quartzo em pegmatitos ricos em lítio que são dominados por albite, lepidolite e uma série de minerais raros.

Em corpos pegmatíticos cujo ângulo de instalação é baixo, o zonamento aparece mais em camadas do que concêntrico, e mais assimétrico de lado a lado ao longo do corpo. No modelo de Jahns e Burnham (1969), as porções inferiores das soleiras são dominadas por plagioclase e as porções superiores por feldspato K e os centros são compostos por núcleos de quartzo. Esses pegmatitos existem, mas a realidade é muito mais complexa e variável. Por exemplo, cerca de metade dos corpos pegmatíticos em camadas examinados por London (2008) possuem domínios de porções inferiores ricas em feldspato K e porções de parede superior ricas em plagioclase e quartzo.

3.4 A classificação do pegmatito

Os esquemas modernos de classificação de pegmatitos são fortemente influenciados pela classificação das zonas de profundidade de instalação das rochas graníticas, publicadas por Buddington (1959), como também a classificação de Ginsburg & Rodionov (1960) e Ginsburg et al., (1979) que categorizaram pegmatitos de acordo com a sua profundidade de instalação, a relação com metamorfismo e a relação com os plutões graníticos, baseando-se nas condições de pressão e temperatura. A revisão da classificação esquemática de Cerný (1991) (Tabela 3) é a classificação dos pegmatitos mais amplamente usada hoje em dia. Consiste numa combinação da profundidade de instalação, grau de metamorfismo e conteúdo em elementos menores, fornece uma visão significativa sobre a origem dos *melts* pegmatíticos e seus graus de fracionamento relativos. Esta classificação tem quatro categorias ou classes principais: abissal (alto grau, alta a baixa pressão); moscovítico (alta pressão, baixa temperatura); elementos raros

(baixa temperatura e pressão) e miarolítico (nível superficial).

Cerný (1991 a, b) desenvolveu uma classificação hierárquica por composição, dividindo, posteriormente, os pegmatitos em duas famílias químicas de acordo com o que ele considerava serem seus enriquecimentos distintivos de elementos raros. A família LCT (para lítio-césio-tântalo) foi pensada para ser derivada de granitos peraluminosos "duas micas" (biotite-moscovite), cujas rochas de origem foram sedimentos marinhos metamorfisados. Cerný associou a família NYF (para nióbio-ítrio-flúor) com granitos principalmente metaluminosos, que se acreditam serem originários da crosta continental inferior, com alguma assinatura do manto (Tabela 3). Cerný (1991 a, b) associou os pegmatitos LCT aos estágios das colisões continentais e os pegmatitos da NYF foram correlacionados com as configurações extensionais - zonas de fendas e pontos quentes acima das plumas do manto - dentro dos cratões. Essas afiliações tectónicas são bem reconhecidas em pegmatitos da idade Paleozóica, mas as relações entre a mineralogia de elementos raros e o ambiente tectónico tornam-se mais obscuras no Pré-câmbrico (Cerný, 1991 b). A classe de elementos raros é subdividida em tipos e subtipos de acordo com as características mineralógicas ou geoquímicas (Tabela 4).

Cerný & Ercit (2005) publicaram uma nova revisão da classificação de Cerný (1991) (Tabela 5), onde se propõe uma série de mudanças que abordam a classificação petrogenética de pegmatitos derivados dos plutões por famílias LCT, NYF e Mista.

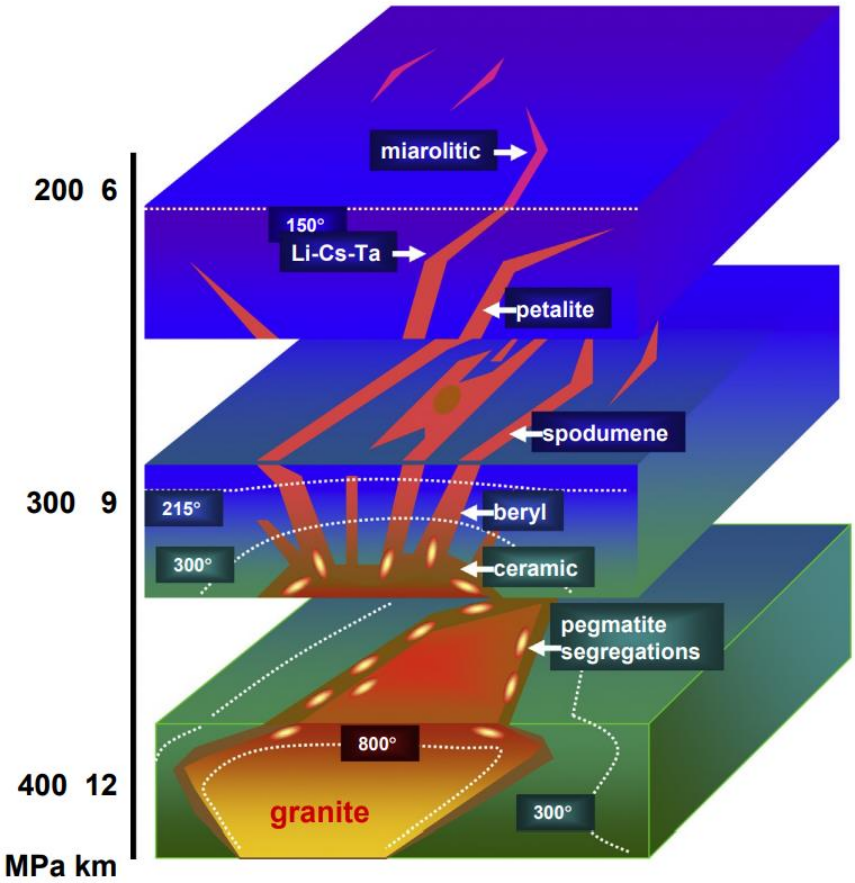


Figura 5 – Zonamento regional dentro de um grupo pegmatito da família LCT (adaptado de London, 2021). As segregações do pegmatito formam-se ao longo da margem superior do plutão. Estes coalescem para cima nos pegmatitos "cerâmicos" comuns - as principais fontes de feldspato e quartzo para vidro, cerâmica e eletrónica. Para fora da auréola térmica do plutão, o berilo aparece como o primeiro mineral raro característico dos pegmatitos de elementos raros. Para o exterior, os pegmatitos fracionam-se com o aparecimento de apenas espodumena (alta P) ou petalite-espodumena (P inferior) nas associações internas, e os pegmatitos mais evoluídos, e às vezes miarolíticos, estão localizados na margem distal do grupo dos pegmatitos.

Tabela 3 – As quatro classes de pegmatitos graníticos apresentando elementos secundários, contexto metamórfico e relação com granitos (adaptado de Cerný, 1991).

Quatro classes de pegmatitos graníticos					
Classe		**Família**	**Elementos menores típicos**	**Contexto metamórfico**	**Relação com granitos**
Abissal (AB)		-	U, Th, Zr, Nb, Ti, Y, REE, Mo, com mineralização pobre a moderada	fácies anfibolítica a granulítica de baixa a alta-P; 4 – 9 kbar, 700°-800°C.	nenhuma; (segregações anatéticas)
Moscovítica (MS)		-	Li, Be, Y, REE, Ti, U, Th, Nb > Ta mineralização pobre a moderada, micas e minerais cerâmicos	alta-P, fácies anfibolítica Barroviana (cianite-silimanite); 5 – 8 kbar, 650°– 580°C.	nenhuma; (corpos anatéticos) a marginais ou exteriores
Elementos raros	**(REL-REE)**	NYF	Y, REE, Ti, U, Th, Zr, Nb > Ta, F mineralização pobre a abundante, minerais cerâmicos	variável	interior a marginal
	(REL-Li)	LCT	Li, Rb, Cs, Be, Ga, Nb > Ta,Sn, Hf, B, P, F mineralização pobre a abundante, minerais industriais	baixa-P, fácies Abukuma anfibolítica (andaluzite-silimanite) a xistos verdes; 2 – 4 kbar, 650°– 450°C.	interior a marginal (a exterior)
Miarolítica		NYF	Be, Y, REE, Ti, U, Th, Zr, Nb > Ta, F gemas	Superficial a sub-vulcânico; ~ 1–2 kbar	interior a marginal

Tabela 4 – Classificação de pegmatitos graníticos por classes segundo Černý & Ercit (2005). (REE – Elementos de Terras Raras: HREE – Elementos de Terras Raras Pesadas; LREE – Elementos de Terras Raras Leves; U – Urânio; B – Boro; Be – Berílio; Li – Lítio).

Classe	**Subclasse**	**Tipo**	**Subtipo**
Abissal (AB)	AB-HREE AB-LREE AB-U AB-B Be		
Moscovítica (MS)			
Moscovítica Elementos Raros (MSREL)	MSREL-REE MSREL-Li		
Elementos raros (REL)	REL-REE	allanite-monazite euxenite gadolinite	
	REL-Li	berilo	berilo-columbite berilo-columbite-fosfato
		complexo	espodumena petalite lepidolite elbaite ambligonite
		albite-espodumena albite	
Miarolítica (MI)	MI-REE	topázio-berilo gadolinite-fergusonite	
	MI-Li	berilo-topázio MI-espodumena MI-petalite MI-lepidolite	

Tabela 5 – Classificação petrogenética de pegmatitos graníticos por famílias LCT, NYF e Mista (adaptado de Černý & Ercit, 2005).

Família	**Sub-classe**	**Assinatura geoquímica**	**Composição global do pegmatito***	**Granitos associados**	**Composição global do granito***	**Litologias fonte**
LCT	REL-Li MI-Li	Li, Rb, Cs, Be, Sn, Ga, Ta>Nb, (B,P, F)	Peraluminosa a subaluminosa	Sin-orogénicos a tardi-orogénicos (a anorogénicos); altamente heterogéneos	Peraluminoso do tipo S, I ou mistos	Rochas supra a mesocrustais não empobrecidas e gnaisses de base
NYF	REL-REE MI-REE	Nb>Ta, Ti, Y, Sc, REE, Zr, U, Th, F	Subaluminosa a metaluminosa (a subalcalina)	Sin-, tardi-, pós-orogénicos a principalmente anorogénicos; quase homogéneos	Peraluminoso a subaluminoso e metaluminoso; tipo A e I	Granulitos empobrecidos meso a infracrustais ou granitoides juvenis
Mista	LCT e NYF	Mista	Metaluminosa a moderamente peraluminosa	Pós-orogénicos a anorogénicos; heterogéneos	Subaluminoso a ligeiramente peraluminoso	Protólitos mistos ou assimilação de rochas supracrustais por granitos NYF

*peraluminoso, A/CNK > 1; subaluminoso, A/CNK ≈ 1; metaluminoso, A/CNK < 1 com A/NK > 1; subalcalino, A/NK ≈ 1; peralcalino, A/NK < 1, onde A = Al_2O_3, CNK = CaO + Na_2O + K_2O, e NK = Na_2O + K_2O. Valores moleculares de Černý & Ercit (2005).

3.5 Os pegmatitos com lepidolite

Os pegmatitos peraluminosos do tipo LCT resultam dominantemente da diferenciação de granitos do tipo S, embora por vezes possam estar localmente associados a granitos do tipo I (Černý & Ercit, 2005; London, 2008). Contudo, nem todos os granitos peraluminosos têm pegmatitos associados, dado que exigem um magma rico em boro e lítio (London, 1992; 2008).

Os pegmatitos com lepidolite caracterizam-se pela presença de lepidolite, como o principal mineral de lítio, enriquecimento em Li, F, Rb, Cs, B e P e significativos teores de Sn, Nb, Ta e minerais de Be (Černý et al., 2005). As mineralizações associadas a granitos, pegmatitos e filões hidrotermais indicam um enriquecimento do magma residual em elementos menores (e.g., Be, Ta, Li, Sn, Bi, W, Mo, Cu) e/ou voláteis, particularmente nas fases finais de cristalização (Beurlen et al., 2001). A maioria destes pegmatitos (baixa temperatura e pressão) está associada a granitos peraluminosos diferenciados (Cerný, 1992), resulta dos processos de diferenciação magmática e representa a fração residual de um magma silicatado (London, 2005).

4 Os pegmatitos de Segura

A maioria dos filões aplito-pegmatíticos portugueses relaciona-se com granitos Variscos, sin- a tardi- ou pos-D3 (Cotelo Neiva, 2006). O campo filoniano aplito-pegmatítico Varisco de Segura é uma das ocorrências da Cintura Pegmatítica Centro-Ibérica (Leal Gomes, 2006).

Os filões aplito-pegmatíticos litiníferos de Segura são constituídos por quartzo, microclina micropertítica, albite, moscovite, apatite, zircão e rútilo (Antunes, 1999). Possuem frequentes cristais de montebrasite, topázio, lepidolite, cassiterite, minerais do grupo da columbite e microlite (Antunes et al., 2007). A lacroixite secundária ocorre associada à montebrasite. Seguindo a classificação de Cerny & Ecrit (2005), os pegmatitos pertencem à família LCT, classe de elementos raros (REL), subclasse REL-Li, subtipo-lepidolite.

4.1 Contexto geológico

A região de Segura (Idanha-a-Nova, Castelo Branco) enquadra-se na Zona Centro-Ibérica (ZCI), faz parte do Maciço Ibérico que corresponde à extensão SW da Cintura Varisca Europeia e também pertence à Faixa Pegmatítica Centro-Ibérica (Leal Gomes, 2006). Na região aflora o plutão de Segura, exposto numa área cerca de 4 km^2, composto por dois granitos: o granito de grão médio a grosseiro de duas micas; e o granito moscovítico de grão médio a fino (Fig. 6) (Antunes et al., 2013). O plutão Varisco intrui o Complexo Xisto-Grauváquico (CXG) do Grupo das Beiras, que consiste em metapelitos alternados e metagrauvaques com intercalações de metaconglomerados e mármores, inicialmente depositado no Câmbrico (Antunes et al., 2013). Essa intrusão promoveu a formação de uma auréola de metamorfismo de contacto nas rochas deste complexo com mais de 500 m de espessura com uma zona externa de micaxisto contendo porfiroblastos de cordierite e uma zona interna com corneana contendo cordierite e silimanite com 20 m de espessura (Fig. 6) (Antunes et al., 2013).

Os pórfiros granodioríticos, subverticais, de direção N45º-60ºW intruem o CXG na parte norte da área. Outros sistemas de filões transversais incluem: aplito NW-SE a

NNW-SSE, que também intersectam as rochas graníticas (Fig. 6); aplito-pegmatitos do subtipo-lepidolite, suborizontais, segundo a direção NE-SW contendo cassiterite e lepidolite; os filões de quartzo NW-SE a WNW-ESE contendo cassiterite e volframite e os filões de quartzo de direção ENE-WSW a NNE-SSW contendo barite, galena e esfalerite (Fig. 6). Um dos filões tardios corta também o granito moscovítico. Esses filões têm até 15 cm de espessura e 300 m de comprimento (Antunes et al., 2002). Os filões de quartzo mineralizados preenchem falhas Variscas tardi a pós-tectónicas.

Os depósitos de Sn-W e Ba-Pb-Zn da região de Segura foram explorados para Sn, W, Ba e Pb, entre 1942 e 1953.

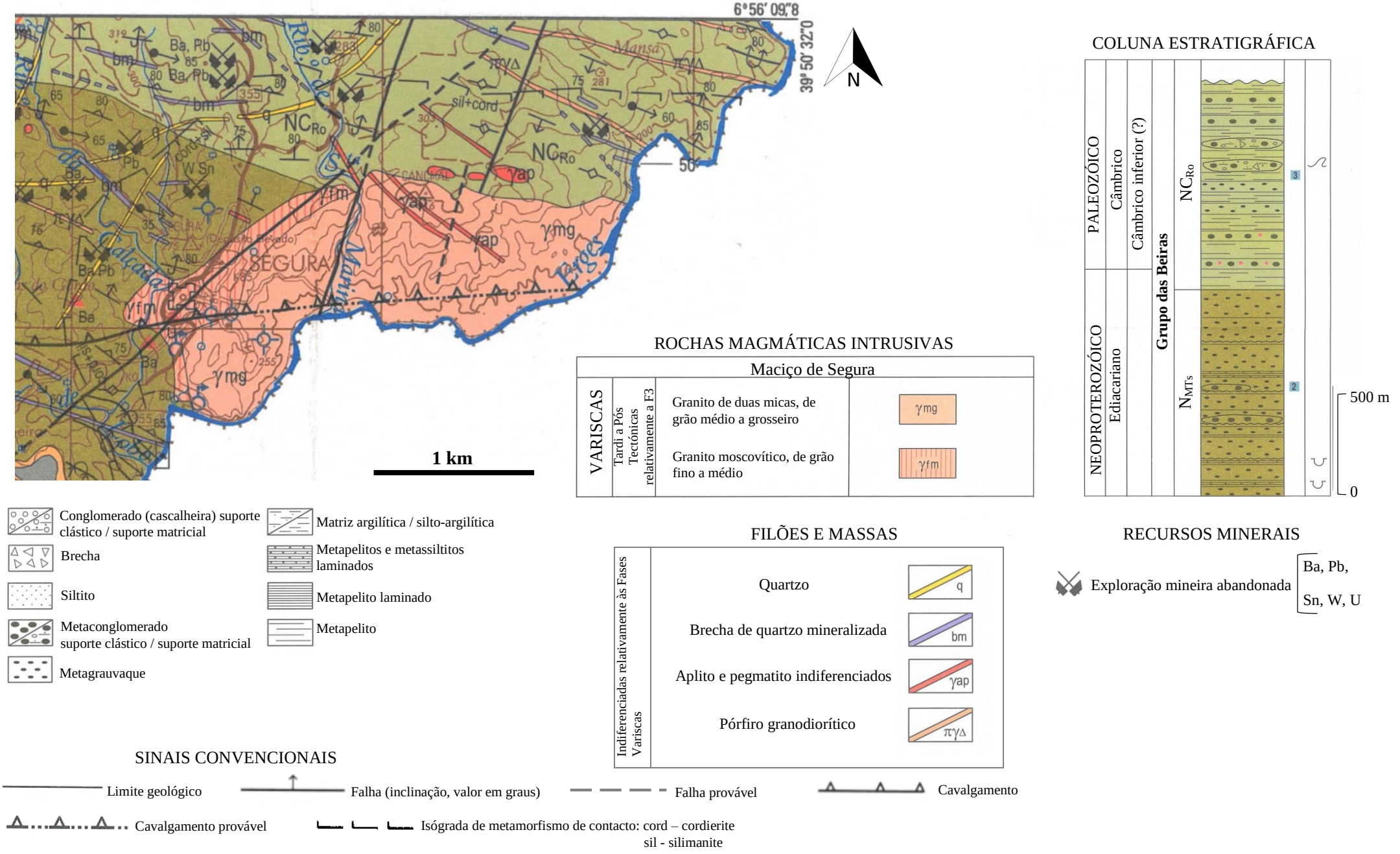


Figura 6 – Excerto da Carta Geológica de Portugal, - folha 25-D, Segura, na escala de 1 / 50 000, com o destaque na zona em estudo – região de Segura com a respetiva legenda das formações presentes na área destacada, que se encontram descritas na coluna estratigráfica no caso da sucessão Grupo das Beiras e nas tabelas no caso do Maciço de Segura e filões visualizados no mapa. Ainda se destacam os recursos minerais presentes na área e sinais convencionais que descrevem as estruturas.

4.1.1 Grupo das Beiras

A sucessão denominada por Grupo das Beiras aflora nos extremos sul-sudoeste e oeste-noroeste do Autóctone da Zona Centro-Ibérica, confinando com a sutura contígua à Zona de Ossa-Morena (Silva, 2013). Segundo a notícia explicativa da folha 25-C; 25-D e 29-A elaborada por Romão et al. (2010), o Grupo das Beiras é tradicionalmente designado por Complexo Xisto-Grauváquico ante-Ordovícico (CXG). A cartografia geológica sistemática da região permitiu o reconhecimento de uma sucessão turbidítica, composta da base para o topo pela formação de Malpica do Tejo e formação de Rosmaninhal (Fig. 7) (Romão, 1991 a; 1994).

4.1.1.1 Formação de Malpica do Tejo

Essa formação desenvolve-se por duas manchas principais interrompidas pelos depósitos cenozoicos e pela mancha cartográfica da formação de Rosmaninhal que se lhe sobrepõe (Romão et al., 2010). A maior, localizando-se mais a norte, ocupando o núcleo do antiforma de Malhadio – Serrinha, é limitada a ocidente pelo Rio Ponsul e a oriente pelo Rio Erges. A segunda mancha (que não se encontra visível na área estudada no presente trabalho) localiza-se na parte sul da carta onde corre a Ribeira de Negrais e em núcleos de antiformas no interior da formação de Rosmaninhal, como por exemplo no Fervedouro (Romão et al., 2010).

A formação de Malpica do Tejo é genericamente caracterizada por uma forte predominância de metagrauvaques em relação aos metapelitos e metassiltios (Romão et al., 2010). A formação de Malpica do Tejo é identificada e cartografada por dois membros: membro inferior (N_{MTi}) e membro superior (N_{MTs}). O maciço de Segura encontra-se localizado somente no membro superior (N_{MTs}) desta formação.

Na área de Malpica do Tejo a Monfortinho, o Membro inferior da unidade é constituído por alternâncias milimétricas e centimétricas de metapelitos, de cor cinzenta, metassiltitos e metagrauvaques de pouca espessura (Romão, 1991 a,b). A passagem ao Membro superior processa-se por um aumento progressivo da espessura e frequência das

bancadas de metagrauvaques. Esta sequência corresponde, na área do rio Ocresa, à unidade de Lameira da Ordem-Palhota (Romão, 2000) sendo aqui caracterizada pela existência de filitos cinzentos intercalados, com certa frequência de barras de metagrauvaques, de grão fino a grosseiro.

A Formação de Malpica do Tejo na região entre Castanheira de Pêra e a ribeira de Pampilhosa da Serra, apresenta diversas intercalações de filitos grafitosos, distribuídas por ambos os membros da sequência em apreço (Silva, 2000).

4.1.1.2 NC_{Ro} – formação de Rosmaninhal

Segundo a notícia explicativa das Folhas 25-C; 25-D; 29-A (Romão et al., 2010) esta formação sobrepõe-se à formação de Malpica do Tejo. Constitui o sinforma de Rosmaninhal – Monforte da Beira, que se estende com grande expressão para ocidente e oriente (Espanha). Esta unidade também aflora a norte de Segura e continua para NW pela Folha 25-B, onde foi designada como "membro da Ribeira de Arades" (Sequeira, 1993; Sequeira & Cunha, 1996; Sequeira et al., 1999).

A formação de Rosmaninhal é caracterizada por ter constituição essencialmente metapelítica (Romão et al., 2010). Encontram-se intercaladas, nesta sequência fina, as barras de metagrauvaques, por vezes de espessura métrica, conjuntos de barras de metagrauvaques e numerosos níveis de metaconglomerados, de granulometria e espessura variáveis. Também existem horizontes metassiltíticos, por vezes com pirite disseminada (Romão et al., 2010).

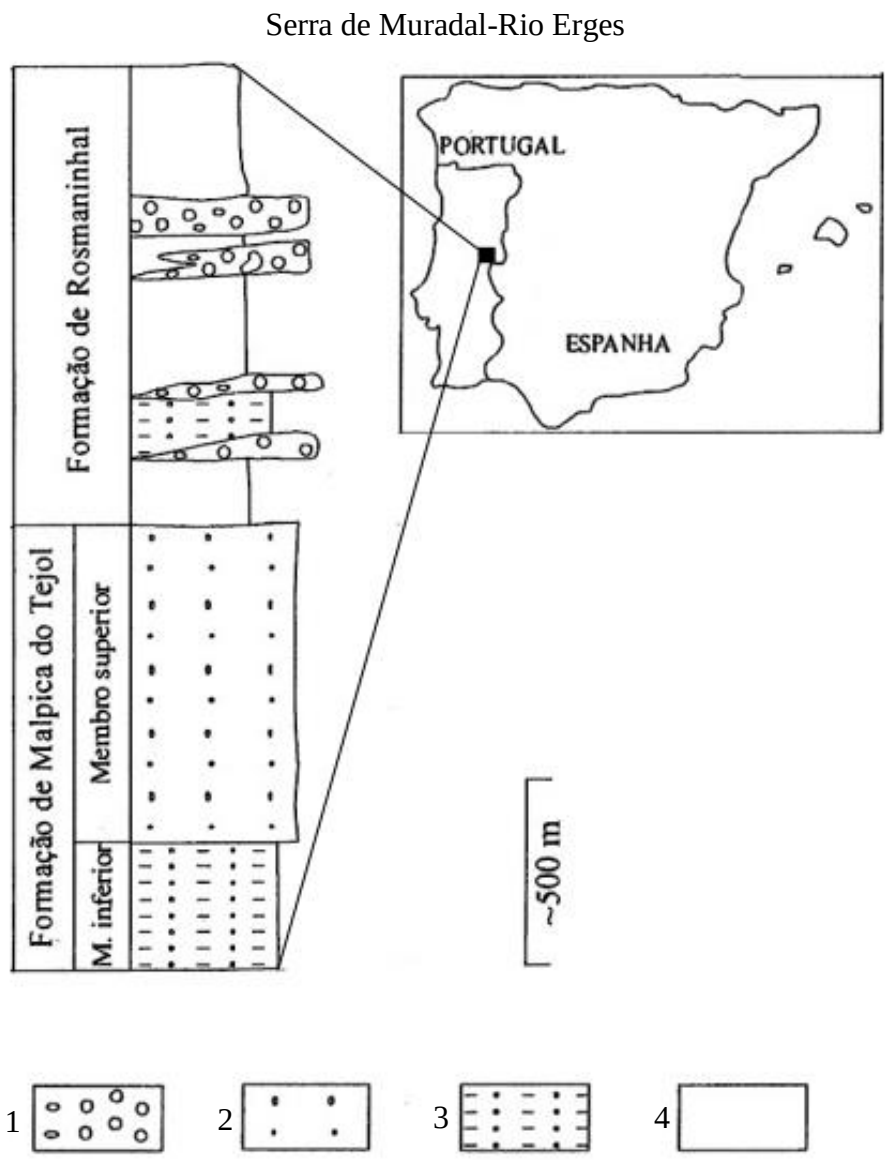


Figura 7 – Unidades ante-ordovícicas da Formação de Malpica do Tejo e da Formação de Rosmaninhal que fazem parte do Grupo das Beiras estabelecidas num ensaio de correlação litoestratigráfica na Serra de Muradal-Rio Erges no bordo SW da ZCI, de Portugal e Espanha. 1 – Conglomerados; 2 – Metagrauvaques dominantes relativamente aos xistos; 3 – Alternâncias de xistos e metagrauvaques; 4 – Xistos negros normalmente com fosfatos (adaptado de Romão, 2000).

4.1.2 Maciço de Segura

Como já foi referido, o plutão de Segura possui uma natureza granítica, sendo composto por dois granitos: o granito de grão médio a grosseiro de duas micas e o granito moscovítico de grão médio a fino. O granito de grão médio a grosseiro de duas micas é o dominante e passa lateralmente ao granito de grão médio a fino moscovítico (Antunes, 2001). Estas fácies graníticas contactam numa faixa de transição com uma largura inferior a dois metros, podendo a mais grosseira ser atribuída a condições de consolidação junto da formação encaixante. O grau de alteração é relativamente elevado no contacto entre os granitos. Não se observa a deformação nos bordos do maciço nem a presença de encraves do encaixante no seu interior.

A intrusão do maciço de Segura é posterior à xistosidade regional varisca (Romão, 2010). A sua instalação deve estar relacionada com um campo de tensão tardi-varisco, cuja compressão máxima deve apresentar a direção NNE-SSW, e o consequente arrefecimento e contração das massas graníticas, impulsionou a instalação de estruturas filonianas que ocorrem com significativa abundância na região envolvente ao referido maciço (Romão, 2010).

4.1.2.1 γfm – Granito moscovítico de grão fino a médio

O granito moscovítico com textura hipidiomórfica granular, é dominado por cristais tabulares de moscovite que ocorrem conjuntamente com quartzo, feldspato potássico, albite, rara biotite, clorite, apatite, zircão, rútilo e souzalite (Antunes, 1999). O granito moscovítico apresenta, nalguns locais, uma fácies de grão mais fino, com cristais de tamanho variado rodeado de aglomerados finos de moscovite, feldspatos e quartzo. A moscovite primaria ocorre em cristais tabulares, com inclusões de zircão e apatite.

4.1.2.2 γmg – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro

O granito de duas micas possui quantidades idênticas de moscovite e biotite, e apresenta grão médio a grosseiro (Romão, 2010). Tem textura hipidiomórfica granular, localmente seriada, exibindo orientação preferencial de alguns minerais, embora incipiente e muito localizada. Ocorrem raros megacristais de feldspato e quartzo e localmente concentrações micáceas de dimensões centimétricas, predominantemente biotíticas.

A nível petrográfico, é constituído por quartzo, feldspato potássico, albite, biotite, clorite, moscovite, apatite, turmalina, zircão, silimanite e rútilo (Antunes, 1999).

4.1.3 Filões e massas

4.1.3.1 πγΔ – Pórfiros granodioridicos

Os pórfiros granodioríticos são rochas hololeucocratas de textura porfirítica, com fenocristais de quartzo, plagióclase, biotite e horneblenda. Apresentam orientações dominantes N 50º-70º W a N 50º-60º E, espessuras métricas e, encontram-se associados a cisalhamentos esquerdos (Romão, 2010).

Na região de Mansa (a norte de Segura), estes filões estão associados a falhas cisalhantes com movimento esquerdo. São de grão muito fino e apresentam textura porfirítica hipidiomófica granular e fenocristais de plagióclase, quartzo e biotite. Nas associações mineralógicas observam-se: microclina, apatite, clorite, pirite, cobaltite e silimanite (Antunes, 1999).

4.1.3.2 γap – Aplito-pegmatitos indiferenciados

Os corpos aplito-pegmatíticos afloram maioritariamente junto ao contacto entre o Grupo das Beiras e o Maciço de Segura e intruem quer o Grupo das Beiras quer aquele maciço com o qual parecem estar geneticamente relacionados (Romão, 2010).

Os aplitos e aplito-pegmatitos apresentam textura hipidiomórfica granular e são

constituídos por quartzo, microclina, albite, moscovite, apatite, zircão e rútilo. Nos aplitos ocorre, também, turmalina, enquanto o aplito-pegmatito litinífero apresenta topázio, lepidolite, cassiterite, columbo-tantalite e ambligonite-montebrasite (Antunes, 2001). Os filões aplito-pegmatíticos litiníferos, de orientação NE-SW e textura grosseira, apresentam, na generalidade, espessura inferior a 15 cm e comprimento máximo de 300 m. Os filões aplíticos, de granularidade muito fina, estão orientados NW-SE a WNW-ESE.

4.1.4 Metamorfismo

Como já foi referido, a intrusão do maciço de Segura produziu uma auréola de metamorfismo de contacto nos litótipos do Grupo das Beiras (Romão, 2010). As ações térmicas associadas à intrusão do plutão granítico de Segura promoveram o desenvolvimento de uma auréola de metamorfismo de contacto com espessura média superior a 500 m, onde localmente foram distinguidas a zona externa (~ 400 m de largura), constituída, na generalidade, por micaxistos com textura grano-lepidoblástica e porfiroblastos de cordierite alterados para moscovite secundária, e a zona interna (~ 20 m de largura), não contínua, composta por corneanas com textura granoblástica (Antunes, 1999). Esta fácies metamórfica é constituída por seguinte associação:

quartzo + feldspato potássico (microclina) + albite + biotite + moscovite + cordierite + silimanite ± zircão ± apatite ± opacos (ilmenite, pirite e pirrotite).

Segundo a notícia explicativa das Folhas 25-C, 25-D e 29-A, os metassedimentos sofreram ação de um incipiente metamorfismo reigional de baixo grau que não ultrapassou a zona da clorite da fácies dos xistos verdes. São comuns textutas grano-lepidoblásticas e associações mineralogicas do tipo:

quartzo + albite + sericite + clorite + turmalina + opacos + zircão.

4.1.5 Recursos minerais metálicos

A região de Segura, pertence a um vasto conjunto de provincias metalogénicas das quais se salienta a tungsteno-estanífera face à sua importância e representatividade (Antunes, 2003).

Thadeu (1951) refere a presença de ocorrências filonianas nas Minas de Segura, atualmente designadas de Campo Mineiro de Segura, que foi constituído por 12 concessões de volfrâmio, estanho, chumbo (e bário). Estas mineralizações foram exploradas entre 1942 e 1953 pela Empresa Mineira de Segura, Lda. Os filões de quartzo mineralizados em Sn-W produziram cerca de 100 toneladas de concentrados com 60% de cassiterite e 12 toneladas de concentrados com 50% de volframite; enquanto que os filões de quartzo mineralizados em Ba-Pb, produziram 525 toneladas de barite e 211 toneadas de galena (Antunes, 1999). São escassos os locais onde se podem observar os filões mineralizados à superficie, dado encontrarem-se, no geral, cobertos e obstruídos (Romão, et al., 2010).

Foram tambem identificados e cartografados outros filoes quartzosos, de orientação NE-SW a ENE-WSW e filoes aplito-pegmatíticos, com cassiterite, lepidolite e fosfatos do tipo ambligonite-montebrasite (Romão et al., 2010). Contudo, as reservas de lepidolite não foram quantificadas até ao presente nos corpos filonianos ricos em compostos de lítio (Ramos, 2000). Estas mineralizações integram duas províncias metalogenéticas: Varisca e Alpina (Thadeu, 1951). A mais antiga (Sn-W), está relacionada com a presença de fluidos que circulam ao longo de fraturas tardi-variscas ou em fendas de tração subhorizontais que são consequência do estiramento (Ribeiro & Pereira, 1982). A mais recente (Ba-Pb) é caracterizada por ocorrências metalíferas de baixa temperatura e pressão (jazigos epitermais) (Romão, 2010).

Junto ao Rosmaninhal, ocorrem diversas escombreiras de reduzida dimensão, ligadas à exploração artesanal de um filão de quartzo aurífero (Romão, 2010). Admite-se que esta exploração possa ser da idade romana.

Destacam-se ainda pontualmente, valores anómalos de urânio (U) e tório (Th) junto ao maciço granítico de Segura com valores de 7,6-84 ppm de U e 14,3-41,7 ppm de Th (Inverno, Oliveira, & Rodrigues, 2007).

5 Metodologia

5.1 Amostragem e preparação do material

Foram estudadas quatro amostras dos aplito-pegmatitos da região de Segura denominadas por SEG 1, SEG 2, SEG 3 e SEG 5, cujo local de amostragem se representa no mapa geológico na Fig. 8, e as amostras colhidas se ilustram na Fig. 9, com as respetivas observações registadas na Tabela 6.

Verifica-se que as amostras SEG 1 e SEG 2 foram colhidas em corpos filonianos, no mesmo local, que se encontram cerca de meio quilómetro a sul do maciço de Segura e cuja localização engloba a área das fácies metamórficas da zona da silimanite + cordierite na formação da Malpica do Tejo do Membro superior, que pertence ao Grupo das Beiras. As amostras SEG 3 e SEG 5 foram colhidas, respetivamente, do filão aplito-pegmatítico e da porção pegmatítica mineralizada, encontrando-se próximos um do outro, e se localizam meio quilómetro a norte do maciço de Segura, encontrando-se na formação de Rosmaninhal do Grupo das Beiras, que por sua vez se encontra dentro da auréola de metamorfismo da zona silimanite + cordierite.

As amostras SEG 1 e SEG 3 foram selecionadas para o estudo das inclusões fluidas e as amostras SEG 2 e SEG 5 para o estudo da mineralogia.

Na seleção do material, para o estudo das inclusões fluidas, teve-se em atenção a representatividade das amostras. Escolheram-se as amostras com os cristais grandes, transparentes, facetados e bem desenvolvidos (Fig. 10). Na seleção do material, também, foram evitadas as amostras que se encontram deformadas, devido a perda da parte do conteúdo das inclusões através do fenómeno *leakage*.

Para o estudo das inclusões fluidas selecionou-se na amostra (em retângulos) as áreas potenciais para a análise, com visíveis minerais claros e translúcidos, neste caso quartzo (Figuras 9 e 10). Recorrendo a serra de diamante, recortaram-se as áreas interessantes (selecionadas em retângulos na Fig. 9) em taliscas retangulares (Fig. 11) que, seguidamente, foram enviadas para o Laboratório de Petrologia da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro para serem preparadas as lâminas delgadas para o estudo mineralógico e as lâminas espessas (200 μm) polidas em ambas as faces (Fig. 12) para o

estudo das inclusões fluidas.

Portanto, foram feitas duas lâminas da amostra SEG 1 (SEG 1-1 e SEG 1-2) e duas lâminas da amostra SEG 3 (SEG 3-1 e SEG 3-2). Uma breve síntese quanto ao tipo de lâmina e os objetivos da sua análise encontra-se nas Tabelas 7 e 8.

O estudo das IF começou pela observação petrográfica de lâminas espessas bipolidas em cujas secções se permite fazer uma seleção do material adequado para esse estudo. Através do exame microscópico faz-se o reconhecimento e localização das IF selecionando-as pelo tamanho, origem e composição.

As inclusões fluidas mais representativas foram organizadas em zonas numeradas "z" (Fig. 12) nas quais a lâmina é partida e se fazem as esquirolas para a análise microtermométrica (Fig. 13). Assim, na lâmina SEG1-1 foram feitas duas esquirolas denominadas por z5 e z6; na lâmina SEG1-2 quatro esquirolas nomeadas por z3, z5, z7 e zc1; na lâmina SEG3-1 três esquirolas designadas por z4, z7 e z8 e, finalmente, na lâmina SEG3-2 três esquirolas denominadas por z2, z3 e z5 (Fig. 12).

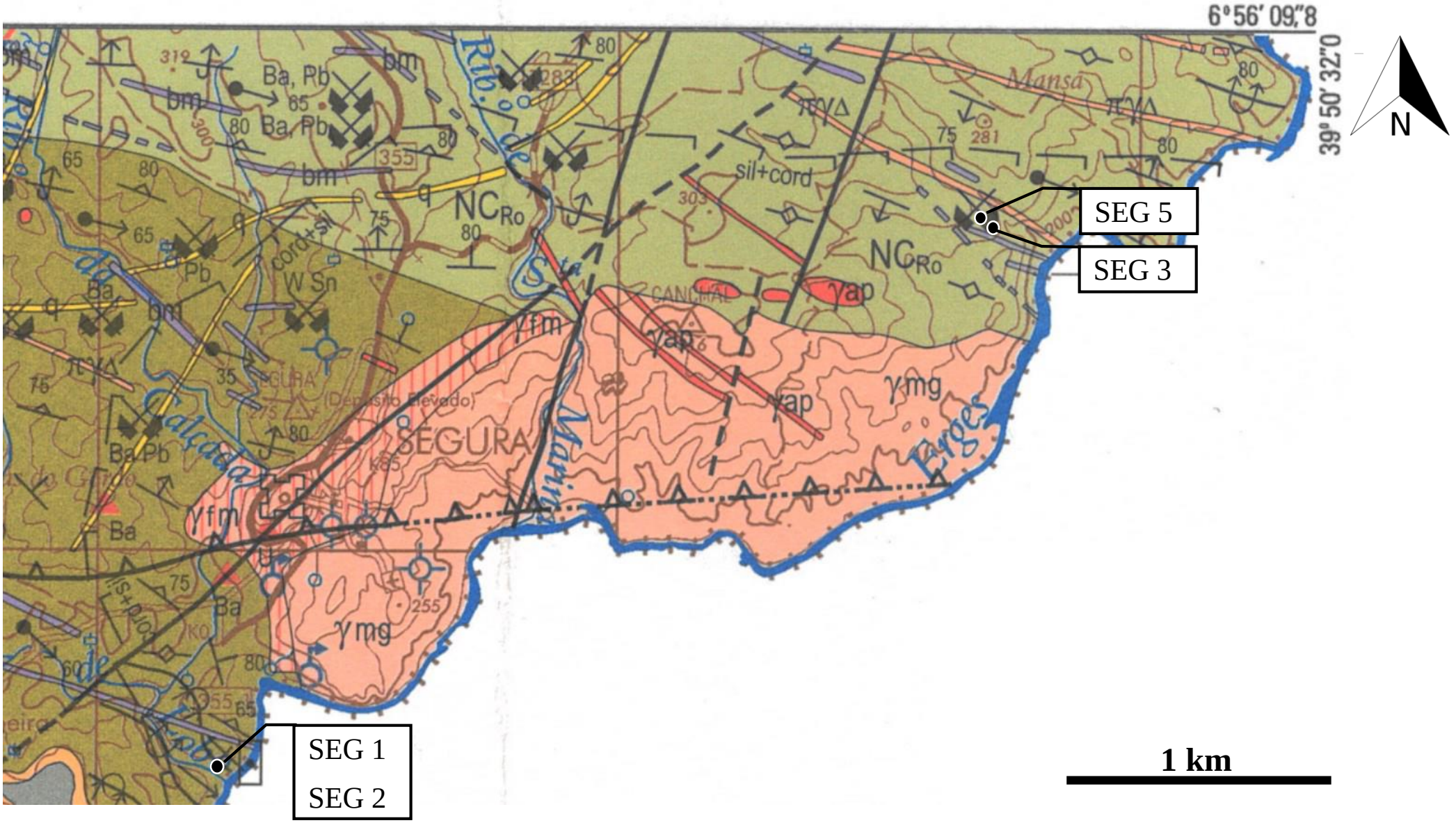


Figura 8 – Excerto da Carta Geológica de Portugal com o destaque na zona em estudo – região de Segura, na escala de 1/ 50 000 da folha 25-D, onde se representa o local da amostragem das amostras SEG1, SEG2, SEG3 e SEG5.



Figura 9 – Conjunto das amostras denominadas por SEG1, SEG2, SEG3 e SEG5 colhidas do aplito-pegmatito na área de Segura, onde em retângulos se representam as seções que foram recortadas para elaborar as lâminas para o estudo petrográfico e de inclusões fluidas.

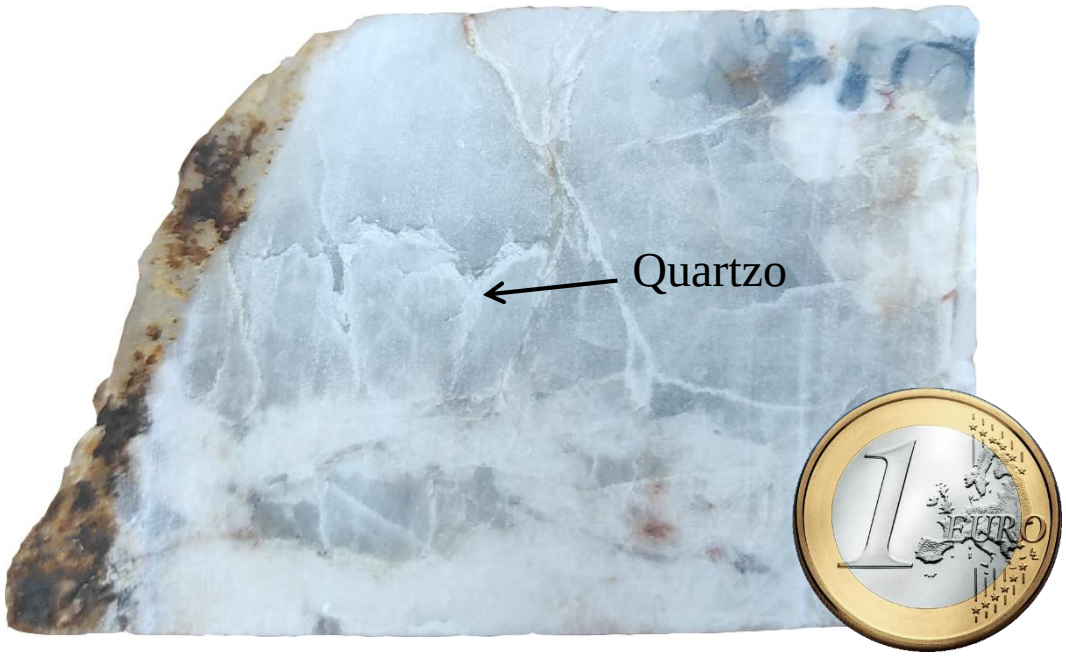


Figura 10 – Uma parte da amostra SEG1-1, onde se visualizam os cristais de quartzo grandes e translúcidos.

Tabela 6 – Detalhe das amostras do aplito-pegmatito colhidas na Segura.

Referência	Número	Observações
SEG	SEG1	Amostras de corpos filonianos colhidas em área não delimitada pelo Serviço Fomento Mineiro como mineralizada
	SEG2	
	SEG3	Amostra 3 é do filão aplito-pegmatítico. Esta amostra é da porção aplítica e do contacto.
	SEG5	Amostra da porção pegmatítica mineralizada

Tabela 7 – Designação das lâminas em estudo de acordo seu número e o respetivo tipo de lâmina.

<table>
<tr><th>Referencia</th><th colspan="2">Número da amostra/ lâmina</th><th>Tipo</th></tr>
<tr><td rowspan="5">SEG</td><td rowspan="2">SEG1</td><td>SEG1-1</td><td rowspan="2">Lâminas espessas (200 µm) bipolidas</td></tr>
<tr><td>SEG1-2</td></tr>
<tr><td colspan="2">SEG2</td><td>Lâmina delgada</td></tr>
<tr><td rowspan="2">SEG3</td><td>SEG3-1</td><td rowspan="2">Lâminas espessas (200 µm) bipolidas</td></tr>
<tr><td>SEG3-2</td></tr>
<tr><td colspan="2">SEG5</td><td>Lâmina delgada</td></tr>
</table>

Tabela 8 – O tipo de lâmina em estudo, os objetivos da sua análise e os respetivos equipamentos utilizados.

Tipo de lâmina	Objetivo	Equipamento a utilizar
Lâmina delgada polida	Petrografia da rocha/ Análise mineral	Microscópio ótico Espectrometria Raman Microscópio Eletrónico de Varrimento (SEM)
Lâminas espessas bipolidas/Esquirolas selecionadas	Petrografia das inclusões fluidas	Microscópio ótico
	➢ Identificar as inclusões fluidas primárias, pseudo-secundárias e secundárias; ➢ Identificar o número de fases presentes; ➢ Identificar os diferentes graus de preenchimento (Flw); ➢ Identificar o sistema químico presente; ➢ Estimar a salinidade; ➢ Identificar a temperatura mínima de aprisionamento.	Microtermometria (criometria e termometria)
Esquírola	➢ Determinar a composição da fase volátil	Espectrometria Raman

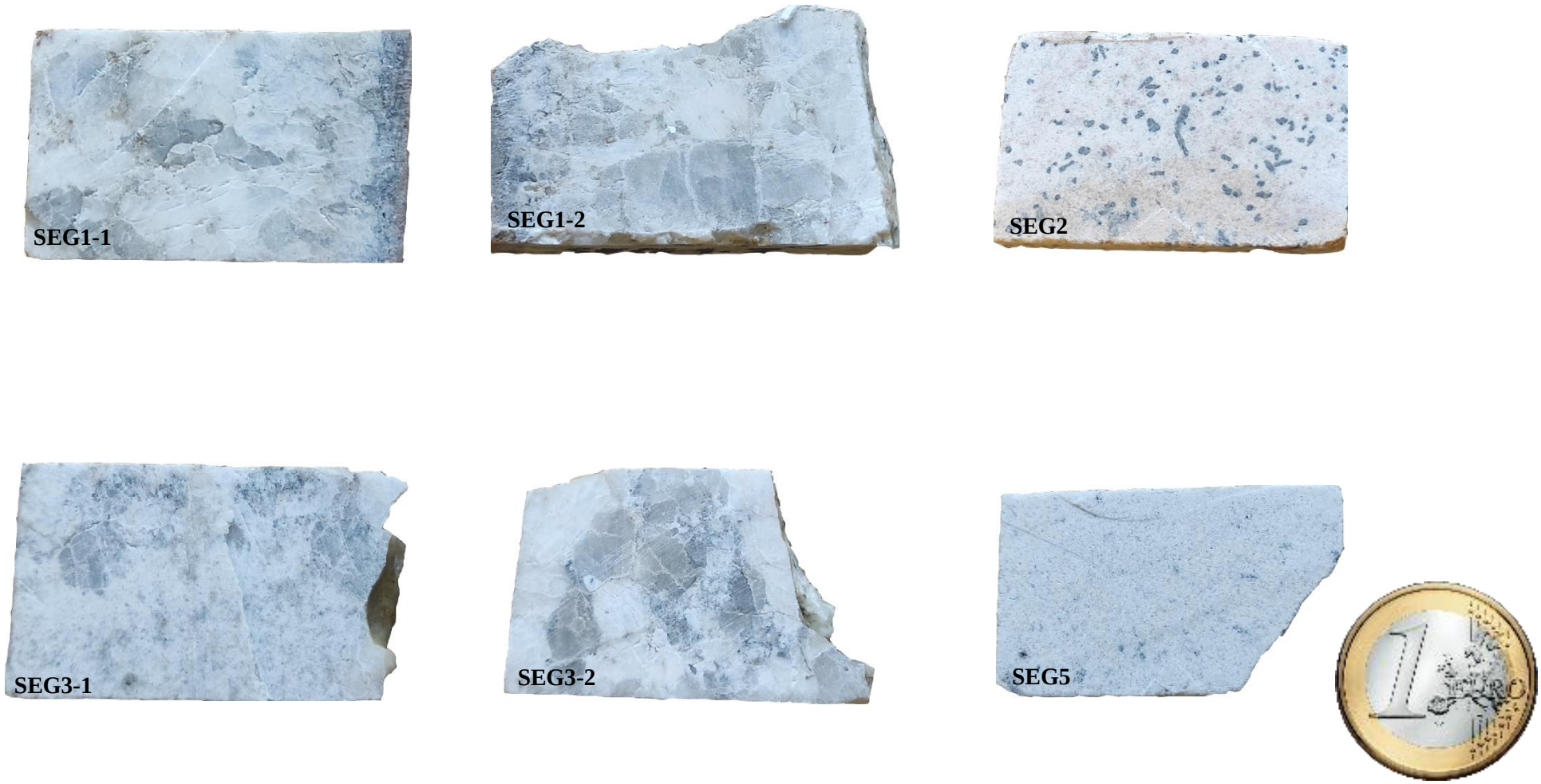
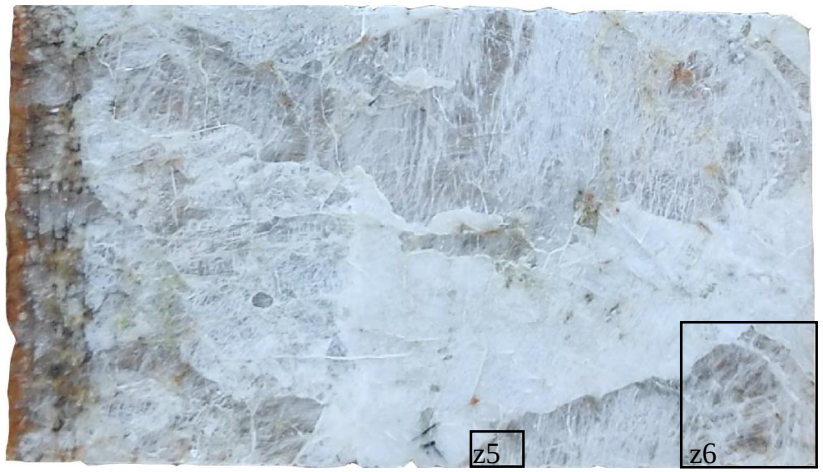
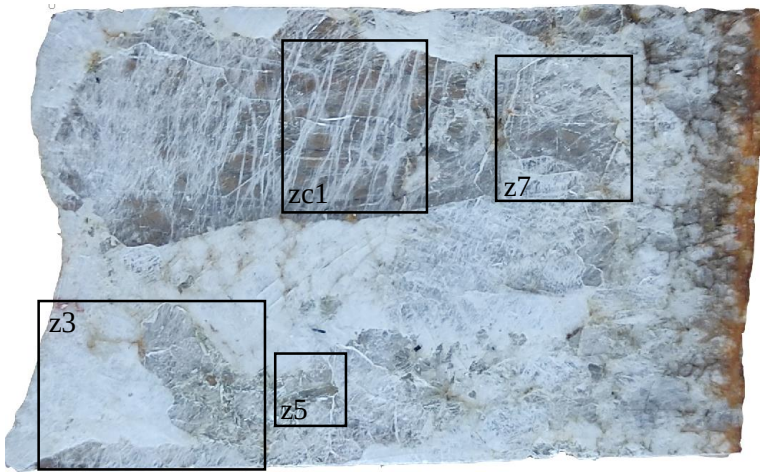


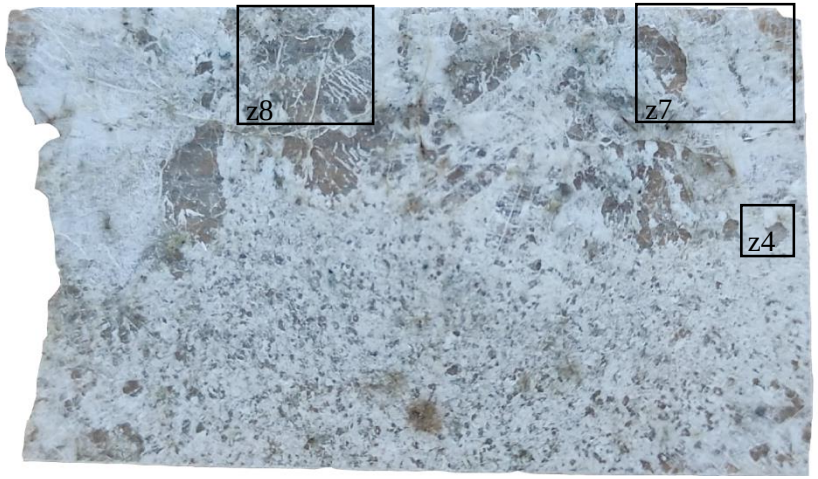
Figura 11 – Taliscas recortadas das amostras do aplito-pegmaito de Segura com respetiva identificação das amostras SEG 1, SEG 2, SEG 3 e SEG 5, a partir das quais foram efetuadas lâminas delgadas polidas e lâminas espessas bipolidas.



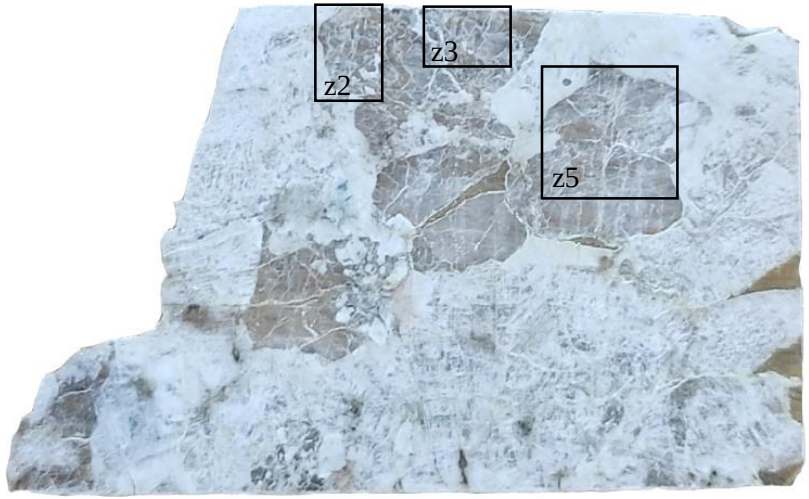
SEG1-1



SEG1-2



SEG3-1



SEG3-2

Figura 12 – Lâminas espessas bipolidas de 200 µm, feitas a partir das amostras SEG1 e SEG3, nas quais se vai aplicar o estudo das inclusões fluidas. Em todas as lâminas se visualizam grandes e translúcidos cristais de quartzo que vão ser a área de interesse para análise das inclusões fluidas. Nos quadrados estão selecionadas as zonas dos quartzos com as inclusões fluidas mais representativas, a partir das quais foram feitas as esquirolas, denominadas por z5 e z6 na SEG 1-1; zc1, z3, z5 e z7 na SEG 1-2; z4, z7 e z8 na SEG 3-1 e z2, z3 e z5 na SEG 3-2.



Figura 13 – Exemplo de como foram partidas as lâminas bipolidas espessas SEG 3-2 e SEG 3-1 em esquirolas, prontas para a análise microtermométrica.

O estudo das inclusões fluidas pode efetuar-se por vários métodos que têm em atenção a caracterização completa dos fluidos contidos nas inclusões. Habitualmente, são classificados em duas categorias: métodos não destrutivos e métodos destrutivos: isto porque podem permitir ou não a repetir várias vezes o estudo sobre as mesmas amostras (Noronha, 1998). Dos vários métodos deve referir-se, em particular, a microtermometria e a espectrometria Raman como métodos não destrutivos (Noronha, 1998) e que vão ser aplicados neste presente estudo.

5.2 Microtermometria

A microtermometria consiste na observação microscópica de mudanças das fases que ocorrem em inclusões fluidas sob mudança de temperatura no intervalo -180 ºC a 600 ºC para inclusões fluidas e acima de 1100 ºC para inclusões *melt* (Boiron & Dubessy, 1998). As temperaturas são medidas quando se observam as mudanças no estado das fases fluidas quando se fazem mudar as condições de temperatura (Noronha, 1998). As observações são realizadas em cada inclusão individual com um microscópio ótico equipado com uma etapa de congelamento (criometria) e aquecimento (termometria). A interpretação da temperatura de transição de fase é baseada na suposição de que as inclusões fluidas se comportam como sistemas de massa e volume constantes durante o estudo microtermométrico. A primeira etapa na microtermometria de inclusões fluidas consiste na determinação dos componentes químicos predominantes usando transições de fase relevantes.

Segundo Noronha (1998), de entre as temperaturas que podem ser registadas têm especial importância as temperaturas de fusão (Tm) e as temperaturas de homogeneização (TH). Em que a Tm observa-se, normalmente, após se ter efetuado um arrefecimento e verifica-se a solidificação da fase ou fases líquidas presentes; depois por aquecimento gradual até à temperatura ambiente vão registar-se as temperaturas de passagem da fase sólida a líquida. As medidas de fusão (Tm), que devem tentar observar-se, são geralmente as seguintes: a temperatura de fusão do gelo (TmI); a temperatura de fusão do CO_2 ($TmCO_2$) e a temperatura de fusão dos clatratos de CO_2 (TmCl).

Assim, quando coexistem três fases (sólida, líquida e gasosa) de um determinado componente, a Tm deve corresponder ao ponto triplo do sistema relativo a esse componente. As temperaturas de fusão no ponto triplo dão indicações muito úteis àcerca da composição do fluido (Noronha, 1998).

A temperatura de homogenização global (TH), determina-se na termometria e consiste em temperatura de mudança de fase que fornece uma estimativa da temperatura de aprisionamento da inclusão (Goldstein & Reynolds, 1994). O método de homogeneização é baseado no princípio de que o conteúdo heterogéneo de uma inclusão foi homogéneo no momento de aprisionamento.

Na microtermometria, primeiramente, sugere-se utilizar o metodo da criometria e

só depois a termometria, devido a mudanças irreversiveis que possam surgir nas inclusões (Shepherd et al., 1985).

5.2.1 Criometria

Procedimento onde a inclusão vai estar submetida a um progressivo arrefecimento (temperaturas abaixo da temperatura ambiente) com objetivo de observar a transformação liquido → solido da inclusão, ou seja, o fenómeno de solidificação (Shepherd et al., 1985). Os dados que se obtêm durante este estudo, primeiramente, permitem definir a composição e densidade das inclusões fluidas.

A criometria será realizada recorrendo ao microscópio ótico Nikon com objetivas de 32X e 80X, oculares de 17X e equipado com uma platina Chaixmeca (Poty et al., 1976) (Fig. 14) onde se dá o arrefecimento, por circulação de azoto.

Neste procedimento, as inclusões fluidas são sujeitas a temperaturas compreendidas entre -180 °C e +30 °C.

Antes de aplicar a técnica da criometria, é essencial realizar uma calibração do equipamento, visto que o sensor da temperatura se encontra a alguma distância da inclusão que está a ser medida e, portanto, a sua temperatura pode ser maior ou menor do que a temperatura da inclusão (Shepherd et al., 1985). Para isso, são medidas as temperaturas de fusão em padrões de alta pureza.

Na calibração do equipamento utilizámos os padrões de inclusões naturais aquosas (H_2O não pura), com temperatura de fusão do gelo (TmI) aos -0,4 °C; um padrão de inclusões naturais aquo-carbónicas dos Alpes contendo CO_2 puro, cujo ponto de fusão ($TmCO_2$) ocorre aos -56,6 °C; dois padrões de inclusões sintéticas da Syn Flinc, um pertencente ao sistema H_2O-NaCl (23,2 m% eq. NaCl) em que a temperatura do eutéctico ocorre aos -21,2 °C e outro pertencente ao sistema H_2O-KCl com temperatura de fusão do gelo (TmI) aos -10,7 °C.

Durante a criometria foram observadas as seguintes mudanças de fase:

$ThCH_4$ (temperatura de homogeneização do CH_4) ocorre aos -82,1 ºC (ponto crítico) no caso de CH_4 puro (Shepherd et al., 1985). A sua homogeneização pode ocorrer em vapor (V), líquido (L) ou crítico (C), isto é, por desaparecimento gradual do menisco que separa a fase líquida da fase vapor. Para conseguir ver o $ThCH_4$ foi necessário arrefecer o sistema até -180 ºC ;

$TmCO_2$ (temperatura de fusão de CO_2) ocorre aos -56,6 ºC no caso do CO_2 puro. A introdução de outras espécies voláteis como CH_4, N_2, H_2S ou SO_2 baixam o ponto de fusão. Esta temperatura permite estimar a composição da fase volátil (Shepherd et al., 1985);

$ThCO_2$ (temperatura da homogeneização de CO_2) segundo Shepherd et al. 1985 ocorre a +31,1 ºC mas devido a presença das outras misturas de gases (por exemplo CH_4) a $ThCO_2$ sempre se observa em temperaturas inferiores. A sua homogeneização pode ocorrer em vapor (V), líquido (L) ou crítico (C). Para conseguir ver o $ThCO_2$ foi necessário arrefecer o sistema até -120 ºC;

TmI (temperatura de fusão do gelo) que ocorre a temperaturas inferiores a 0,0 °C devido à presença de sais como o NaCl, que baixam o ponto de fusão. A TmI permite estimar a salinidade da solução;

TmCl (temperatura de fusão dos clatratos) que permite calcular a salinidade da fase aquosa e estimar a composição do gás hidratado. Como o NaCl é o principal soluto na maioria das inclusões, a salinidade exprime-se em "% equivalente em peso de NaCl" (eq.% NaCl) (Noronha, 1998).

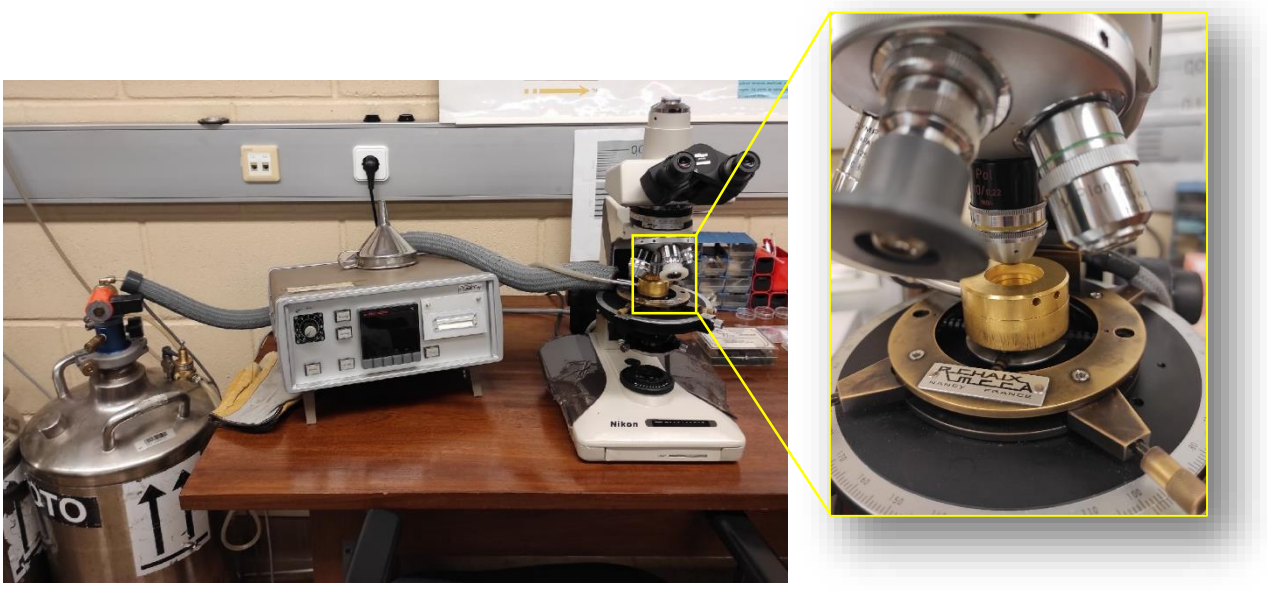


Figura 14 – Equipamento para o estudo da criometria que inclui o microscópio ótico Nikon equipado com uma platina Chaixmeca (Poty et al., 1976) (selecionada em destaque) onde se dá o arrefecimento, por circulação de azoto.

5.2.2 Termometria

A termometria faz-se através do equipamento LINKAM PR600 (Fig. 15) conectado a água pura.

Antes de fazer o estudo, é necessário calibrar o equipamento utilizando padrão de inclusões aquosas sintéticas da Syn Flinc contendo água pura, com temperatura de homogenização global (TH) aos 374 ºC.

Em comparação com os estudos de baixa temperatura, as mudanças de fases observadas em temperaturas mais altas (acima da temperatura ambiente) são relativamente mais simples. O objetivo final do estudo utilizando a técnica da termometria, é medir a temperatura final da homogeneização (TH), isto é, a temperatura em qual a inclusão torna-se um sistema monofásico (Shepherd et al., 1985). Normalmente, é a temperatura de homogeneização total em líquido ou vapor. A temperatura de homogeneização global (TH) refere-se à temperatura em qual o CO_2 líquido e fases líquido-aquosas tornam-se completamente miscíveis (Shepherd et al., 1985).

Em conjunto com os dados obtidos na criometria, a TH pode ser usada para calcular a densidade aparente do fluido. Aplicando os princípios da projeção da isócora, a informação pode ser utilizada para estimar as condições PT no momento do aprisionamento (Shepherd et al., 1985).



Figura 15 – Equipamento LINKAM PR600 (em destaque), conectado a água desionizada, através do qual faz-se o estudo da termometria.

5.3 Micro-espectrometria Raman

A micro-espectrometria Raman tem sido uma técnica química reconhecida há algum tempo e, com o desenvolvimento de lasers, tem agora uma perspetiva considerável na análise de inclusões fluidas. A teoria da espectroscopia Raman diz respeito à vibração das ligações entre átomos em diferentes frequências, dependendo dos átomos envolvidos. Na técnica de excitação por laser, uma fonte de luz laser intensa é focada dentro de uma amostra e a radiação dispersa resultante é analisada. O equipamento (Fig. 16) que incorpora um microscópio ótico normal permite a análise de inclusões selecionadas em minerais transparentes (Shepherd et al., 1985) e permite identificar os modos de vibração de espécies poliatómicas como SO_4, CO_2, CH_4 e N_2. A excitação da amostra vai produzir a radiação com as frequências caraterísticas das ligações poliatómicas que ali estão presentes. O espectro pode ser utilizado para identificar as fases presentes ou para obter proporções dos componentes (Prieto et al., 2012).

Através do equipamento Raman foi analisada a composição da fase volátil presente nos fluidos das lâminas bipolidas espessas SEG 1-1, SEG 1-2 e SEG 3-1, SEG 3-2 e a identificação mineral das lâminas delgadas SEG 2 e SEG 5. A análise decorreu no programa NGSLabSpec que está associado ao equipamento Raman. No final o programa produz um espectro, através do qual foi possível identificar os compostos presentes pela posição dos picos que ocorrem no espectro e, no caso do estudo das inclusões fluidas, os compostos foram quantificados através do cálculo da área dos respetivos picos.

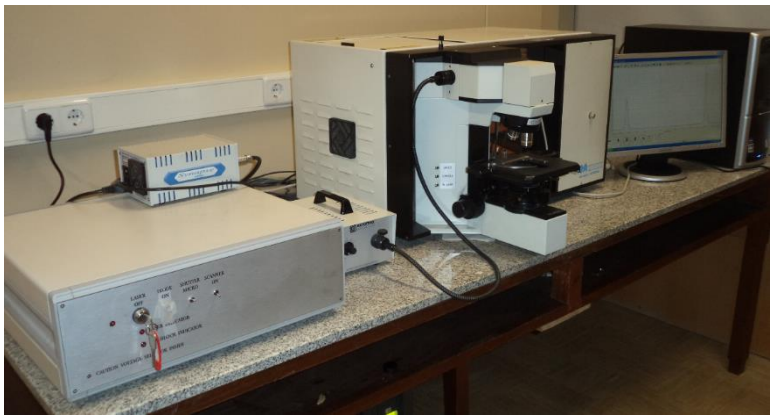


Figura 16 – Equipamento Raman.

5.4 Microscopia Eletrónica de Varrimento (SEM)

No estudo dos minerais que constituem as amostras dos aplito-pegmatitos SEG 2 e SEG 5 recorreu-se ao Microscópio Eletrónico de Varrimento (SEM) situado na CEMUP (Centro de Materiais da Universidade do Porto).

Antes da análise, as lâminas delgadas foram revestidas com carbono.

A imagem que se obtém a partir do SEM por eletrões retrodifundidos é uma imagem de gama de tonalidades que varia entre cinzentos a brancos que nos dá uma informação qualitativa a cerca da densidade, ou seja, cores mais brancas correspondem aos elementos mais densos e cores cinzentas correspondem aos elementos de densidade mais baixa.

O funcionamento deste equipamento consiste na emissão do feixe de eletrões que excita a superfície do mineral da amostra em análise fazendo com que haja a emissão dos raios X da sua superfície. Deste procedimento obtém-se um espectro, onde a energia dos picos emitida por raios X é característica dos átomos dos elementos que compõem o mineral analisado.

5.5 Definição duma isócora

Segundo Noronha (1998), um fluido homogéneo com uma dada composição possui determinada densidade para uma dada temperatura e pressão. Se o fluido for aprisionado numa inclusão, o seu volume e massa permanecerão sempre constantes, o mesmo acontecerá à sua densidade, que manterá, assim, o seu valor original. Se o fluido permanecer homogéneo, qualquer evolução posterior ao seu aprisionamento far-se-á com densidade constante, num plano PT do diagrama PVT e ao longo de uma linha, a isócora (Noronha, 1998).

O valor de TH representa a temperatura a partir da qual o sistema evolui em isócora. Antes da homogeneização o ponto representativo do fluido está na curva de equilíbrio das duas fases, que começa no ponto triplo e termina no ponto crítico (Noronha,

1998). A homogeneização ocorre na intersecção da curva do equilíbrio com a isócora correspondente à densidade do fluido. As condições termobarométricas de aprisionamento do fluido (Ta, Pa) estão situadas num ponto desconhecido da isócora (Noronha, 1998). A temperatura da homogenização dá a temperatura mínima de aprisionamento, isto é, uma vez medido o valor de TH, a temperatura de aprisionamento Ta será igual a TH + dT, onde dT é a correção da temperatura devida à pressão que existia no momento do aprisionamento. O cálculo de dT pode ser feito se conhecer um dos valores de Pa ou Ta deduzidos a partir de critérios petrográficos, físico-químicos ou geológicos (Noronha, 1998).

5.6 Cálculo a partir dos programas de R. Bakker

5.6.1 Composição global das inclusões fluidas

Os programas utilizados para a determinação da composição global das inclusões fluidas e da sua densidade, parâmetros essenciais na etapa da elaboração das isócoras, foram os programas computacionais *FLUIDS* e *CLATHRATES* desenvolvidas por Ronald J. Bakker.

O pacote computacional *FLUIDS* (Bakker, 2003) contém programas para o cálculo das propriedades dos fluidos. Atualmente, o pacote *FLUIDS* examina os componentes de fluido como H_2O, CO_2, CH_4, N_2, C_2H_6, H_2S, NH_3, H_2, O_2, CO e os componentes de sais NaCl, KCl, $CaCl_2$, $MgCl_2$. Os sais dissolvidos em água podem ser definidos como aniões e catiões, ou seja, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} e Cl^-.

Dentro do pacote *FLUIDS* tem se o programa *BULK* que usa dados microtermométricos, dados espectroscópicos Raman e estimativas de grau de preenchimento (Flw) (Fig. 17) para o cálculo da densidade, do volume molar e da

composição global das inclusões fluidas. O programa oferece uma ampla variedade de equações de estado, que são selecionadas de acordo com o sistema de fluido ou as condições de temperatura e pressão de interesse. A composição e a densidade hipotéticas do vapor podem ser introduzidas no programa se esses dados estiverem ausentes.

Nesse estudo, o programa *BULK* foi utilizado, essencialmente, nas inclusões fluidas onde não foi possível visualizar a temperatura de fusão de clatratos, ou seja, nas inclusões carbónicas e aquo-carbónicas de grau de preenchimento da fase aquosa reduzido.

No caso das inclusões carbónicas foi necessário introduzir os dados da composição da fase volátil obtidas através análise Raman e os dados obtidos na microtermometria na parte da criometria como a $ThCO_2$ (no caso dos fluidos do sistema CO_2-CH_4-N_2) e a $ThCH_4$ (nos fluidos do sistema CH_4-N_2) indicando o seu modo de ocorrência (em líquido, vapor ou crítico).

Seguidamente, é solicitada a escolha duma equação de estado para as condições de homogeneização das fases não aquosas. Para os fluidos carbónicos do sistema CO_2-CH_4-N_2 foi utilizada a equação do estado de Thiery et al. (1994) e Soave (1972) e para os fluidos carbónicos do sistema CH_4-N_2 foi utilizada a equação do estado de Bowers & Helgeson (1983) e Bakker (1999) para qualquer mistura de gás.

Para os fluidos aquo-carbónicos os dados introduzidos no programa *BULK* foram a composição da fase volátil, a $ThCO_2$ e o seu modo de ocorrência (L,V ou C), a TmI, a composição do sal, caso estiver presente e o Flw, no caso do sistema (H_2O)-CO_2-CH_4-N_2-(NaCl) segundo a equação do estado de Duan et al. (1996) para os fluidos do sistema H_2O-CO_2-CH_4-N_2-C_2H_6-H_2S-H_2-O_2-CO. Para os fluidos aquo-carbónicos do sistema (H_2O)-CH_4-N_2 introduziram-se os dados quanto a sua $ThCH_4$ mencionando o seu modo de ocorrência, o Flw e foi escolhida equação de estado de Bowers & Helgeson (1983) e Bakker (1999) para qualquer mistura de gás.

A composição global e a densidade das inclusões fluidas onde foi possível a observação da temperatura de fusão dos clatratos foi calculada através do programa computacional *ICE* do pacote *CLATHRATES* (Bakker, 2003), onde foi necessário a introdução dos dados da composição da fase volátil das inclusões, a TmCl, a TmI, a composição do sal analisado e o Flw.

A equação de estado para calcular fugacidades em equilíbrio de clatratos foi de Duan et al. (1996): H_2O-CO_2-CH_4-N_2 para os tipos de fluidos que apresentaram os clatratos (fluidos aquosos do sistema H_2O-(CO_2-CH_4-N_2-NaCl), fluidos aquosos do

sistema H_2O-(CH_4-N_2-NaCl) e fluidos aquo-carbónicos do sistema H_2O-CO_2-(CH_4-N_2-NaCl).

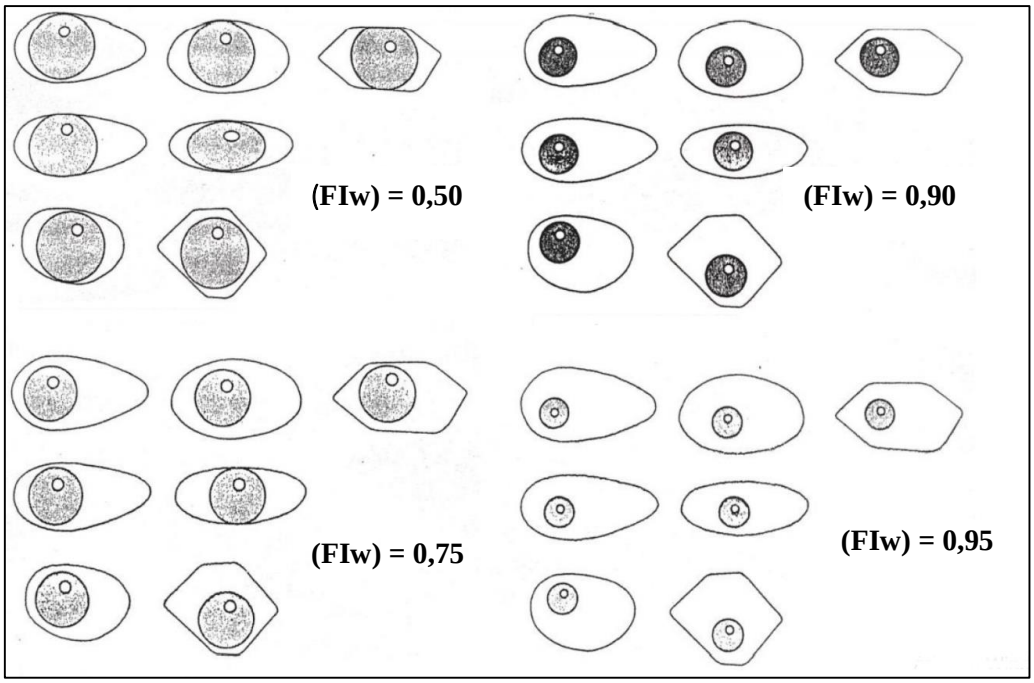


Figura 17 – Estimativa visual do grau de preenchimento da fase aquosa (Flw) nas inclusões fluidas (adaptado de Shepherd et al., 1985).

5.6.2 Cálculo das isócoras

As informações obtidas a partir do programa *BULK* e *ICE*, a hipotética composição e densidade, são inseridas no programa *ISOC* (Bakker, 2003) para calcular as isócoras correspondentes. Na determinação das isócoras também foi essencial a temperatura da homogeneização global (TH) que se obteve através da microtermometria na parte da termometria e que consiste na temperatura mínima no momento do aprisionamento do fluido. Este programa inclui muitos tipos diferentes de EoSs, e as equações relevantes são selecionadas automaticamente de acordo com a composição do fluido.

A equação de estado para o cálculo das isócoras para os fluidos aquosos do sistema

H_2O-(CO_2-CH_4-N_2-NaCl), fluidos aquosos do sistema H_2O-(CH_4-N_2-NaCl) e fluidos aquo-carbónicos do sistema H_2O-CO_2-(CH_4-N_2-NaCl) e (H_2O)-CO_2-CH_4-N_2-(NaCl)) foi de Bakker (1999) : any gas-mixture + NaCl.

Nas inclusões fluidas aquo-carbónicas onde não foi possível determinar a salinidade, devido ao Flw reduzido, usou-se a equação do estado segundo Duan et al. (1992, 1996) : H_2O-CO_2-CH_4-N_2-CO-H_2-O_2-H_2S.

A equação de estado para os fluidos carbónicos do sistema CO_2-CH_4-N_2 e CH_4-N_2 e aquo-carbónicos do sistema (H_2O)-CH_4-N_2 foi segundo Holloway (1977) e Flowers (1979) : any gas-mixture.

6 Resultados

6.1 Mineralogia

6.1.1 Determinação da mineralogia através análise por microscopia ótica, SEM e Raman

Com o auxílio do microscópio ótico, espectrometria Raman e Microscópio Eletrónico de Varrimento (SEM) foram estudadas as lâminas delgadas SEG 2 e SEG 5 com o objetivo de determinar a mineralogia das amostras.

A amostra SEG 2, de grão fino, é constituída essencialmente por plagioclases, identificados pela presença da macla polissintética (18-A), que constituem o mineral albite, identificado através da técnica SEM (18-B, H) e através o espectro obtido na microespectroscopia Raman (Fig. 18-K). Outros minerais que se podem observar são quartzo, moscovite, minerais de feldspato potássico como ortóclase e microclina identificadas, respetivamente, por macla de Carlsbad e macla de Xadrez em luz polarizada. No quartzo também se conseguem observar algumas inclusões fluidas.

De acordo com a observação petrográfica e a análise através o equipamento SEM, verifica-se o fenómeno da albitização nos cristais de feldspato K com o tamanho cerca de 2 mm (Fig. 18-A, B, G, H). Verificou-se também que há deposição do feldspato K (Fig. 18-B, D, E, G) e da fluorapatite (Fig. 18-B, C, D, F, I) na matriz da albite, sobre a forma de cristais submicrométricos e a preencher os espaços em fendas. Foram observados e identificados, através microespectroscopia Raman, frequentes minerais da fluorapatite (Fig. 18-J; Fig.19), topázio (Fig. 19; Fig. 21) e turmalina (Fig. 19) com textura poicilítica de tamanho aproximado de 2 mm. Para identificar a variedade da turmalina foi realizada a comparação do espectro da turmalina obtido através equipamento Raman com os espectros das várias variedades das turmalinas existentes na base de dados RRUFF (base de dados de espectros Raman, difração de raios-X e dados químicos para minerias) (Fig. 20-A) e segundo Kloprogge (2017) (Fig. 20-B). Segundo esta comparação a variedade da turmalina presenta na amostra é schorl. Os diferentes aspetos microscópicos observados para a fluorapatite, podem estar relacionados com diferentes gerações deste mineral.

Na amostra SEG 5 observa-se, predominantemente, a plagioclase com a macla

polissintética (Fig. 22-B) que, através do equipamento SEM foi classificada como albite (Fig. 22-F, G). Observam-se também as micas, o feldspato potássico e também quartzo com visíveis inclusões fluidas no seu interior.

Foram identificados os minerais portadores de fósforo como apatite; fosfatos de alumínio de ferro e de manganês identificados através da análise elementar no SEM, onde se obteve a sua composição em elementos de Al, Fe, O, P, Fe e Mn, oticamente com um relevo e birrefringência elevados; minerais da série souzalite-gormanite com forte pleocroísmo (Fig. 22-A, J) analisados no SEM e na espectroscópia Raman (Fig. 22-F, H, J) comparando também com o espectro da gormanite da base dos dados RRUFF (Fig. 22-J). Através da espectroscopia Raman e SEM foram identificados outros fosfatos da série ambligonite-montebrasite, onde nos minerais oticamente mais alterados, através o equipamento SEM foi detetado a presença de sódio, que segundo Antunes et al. (2010) corresponde as zonas com lacroixite secundária ($NaAl(PO_4)F$) (Fig. 23- C). A presença da lacroixite da série ambligonite-montebrasite correlaciona-se positivamente com o conteúdo de flúor da série ambligonite-montebrasite (Shirose & Uehara, 2018), o que também foi confirmado na presente análise da lacroixite que apresenta flúor.

Foi tambem identificado, através do SEM, pelo seu número atómico superior (Fig. 22-F, I), o mineral da série columbo-tantalite que aparece opaco na observação microscópica (Fig. 22-A).

Segundo Černý and Ercit (2005), a série ambligonite-montebrasite é considerada como fosfatos primários que ocorrem em pegmatitos enriquecidos com Li-Cs-Ta (LCT). As composições químicas correspondem a uma solução sólida $LiAl(PO_4)F$ (ambligonite) e $LiAl(PO_4)(OH)$ (montebrasite).

Não foi possível confirmar a ocorrência de lepidolite em ambas amostras SEG 2 e SEG 5 devido a similaridade do espectro Raman da lepidolite com o espectro Raman da moscovite e suas idênticas propriedades óticas na observação microscópica (Fig. 24-A, B, C). Segundo Antunes et al. 2010, a lepidolite é mais tardia do que a moscovite. A moscovite e lepidolite magmáticas não estão relacionadas e a lepidolite substitui a moscovite.

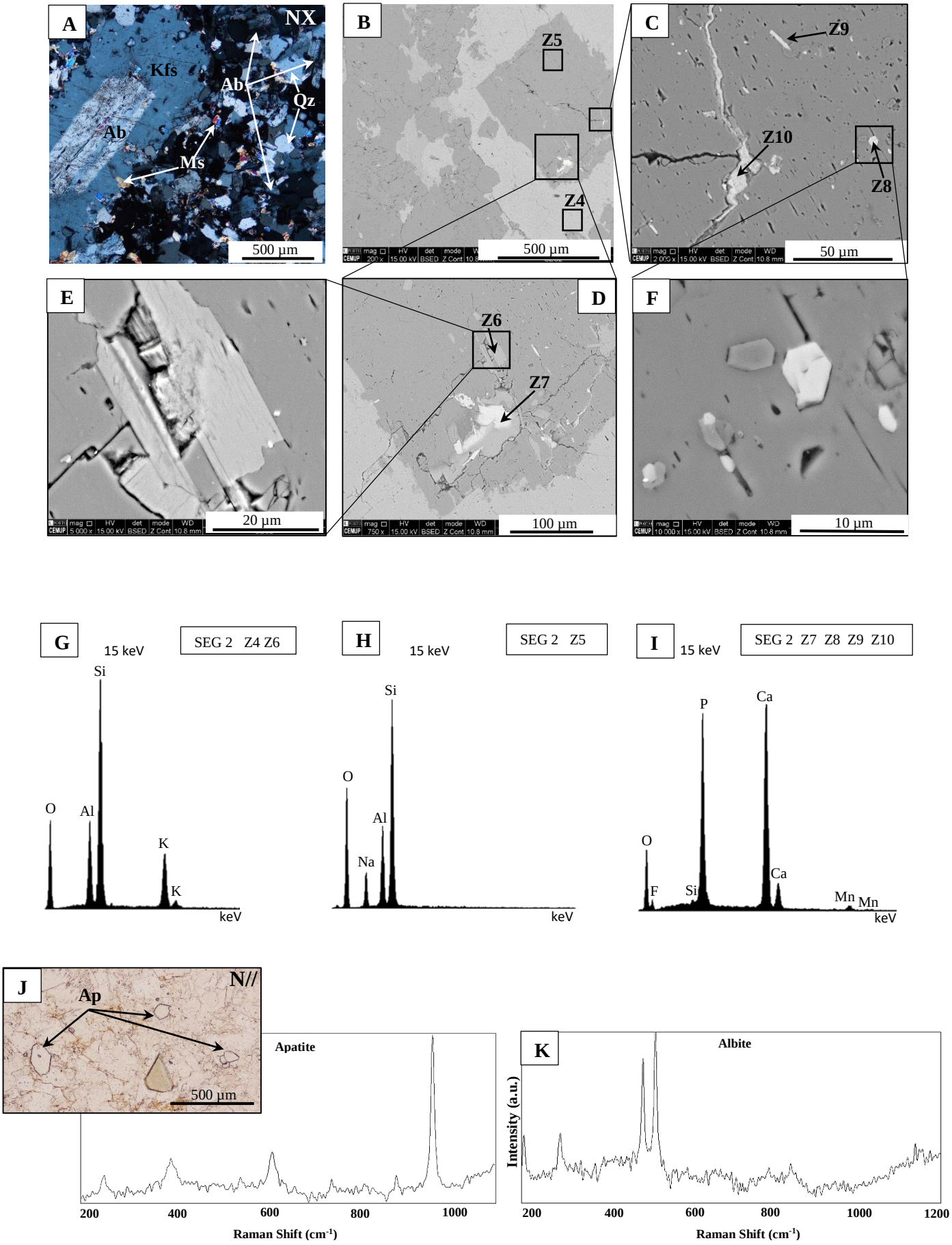


Figura 18 – Análise da mineralogia da amostra SEG 2, onde através do estudo por microscopia ótica (A), espectroscopia Raman (K) e análise SEM (B), onde se observa a diferença entre números atómicos através da escala dos cinzentos, verifica-se a sua composição constituída essencialmente por albite (Ab). Observam-se ainda o feldspato potássico (Kfs), quartzo (Qz) e a moscovite (Ms). Verificou-se também o fenómeno de albitização dos feldspatos (A, B, G, H) e a deposição do feldspato (B, D, E, G) e da fluorapatite (Ap) na matriz da albite, sobre a forma de cristais submicrométricos e a preencher os espaços em fendas (B, C, D, E, F, I). Obteve-se também o espectro dos minerais observados com o relevo proeminente que constituem a fluorapatite (J).

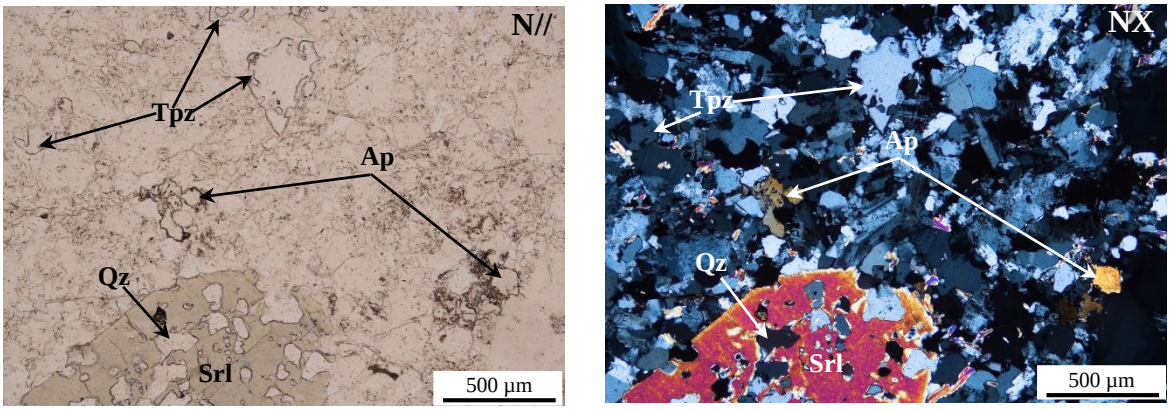


Figura 19 – Observação microscópica da amostra SEG 2 em luz transmitida (N//) e luz polarizada (NX) onde se observam minerais da turmalina poicilítica da variedade schorl (Srl), topázio (Tpz) e apatites (Ap).

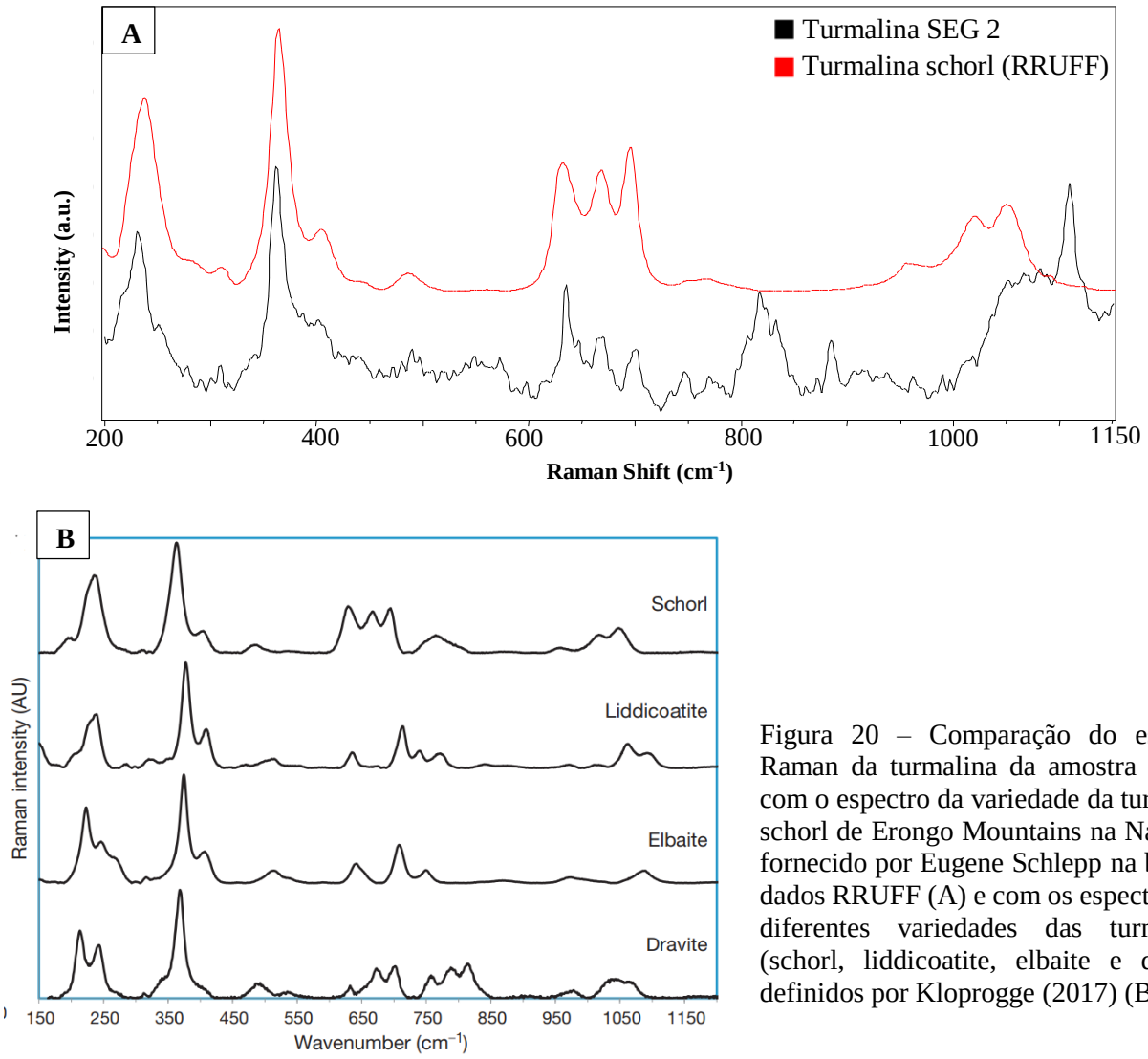


Figura 20 – Comparação do espectro Raman da turmalina da amostra SEG 2 com o espectro da variedade da turmalina schorl de Erongo Mountains na Namibia, fornecido por Eugene Schlepp na base de dados RRUFF (A) e com os espectros das diferentes variedades das turmalinas (schorl, liddicoatite, elbaite e dravite) definidos por Kloprogge (2017) (B).

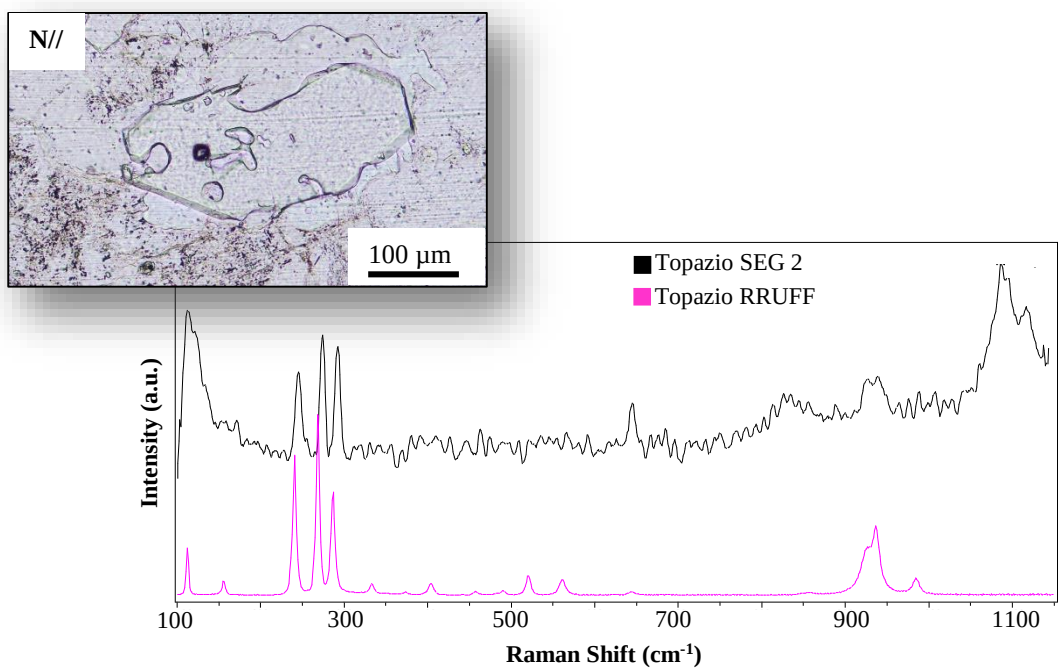


Figura 21 – Comparação do espectro Raman do topázio da amostra SEG 2 com o espectro Raman do topázio proveniente do Jos Plateau na Nigeria e fornecido por Marcus Origlieri na base de dados RRUFF.

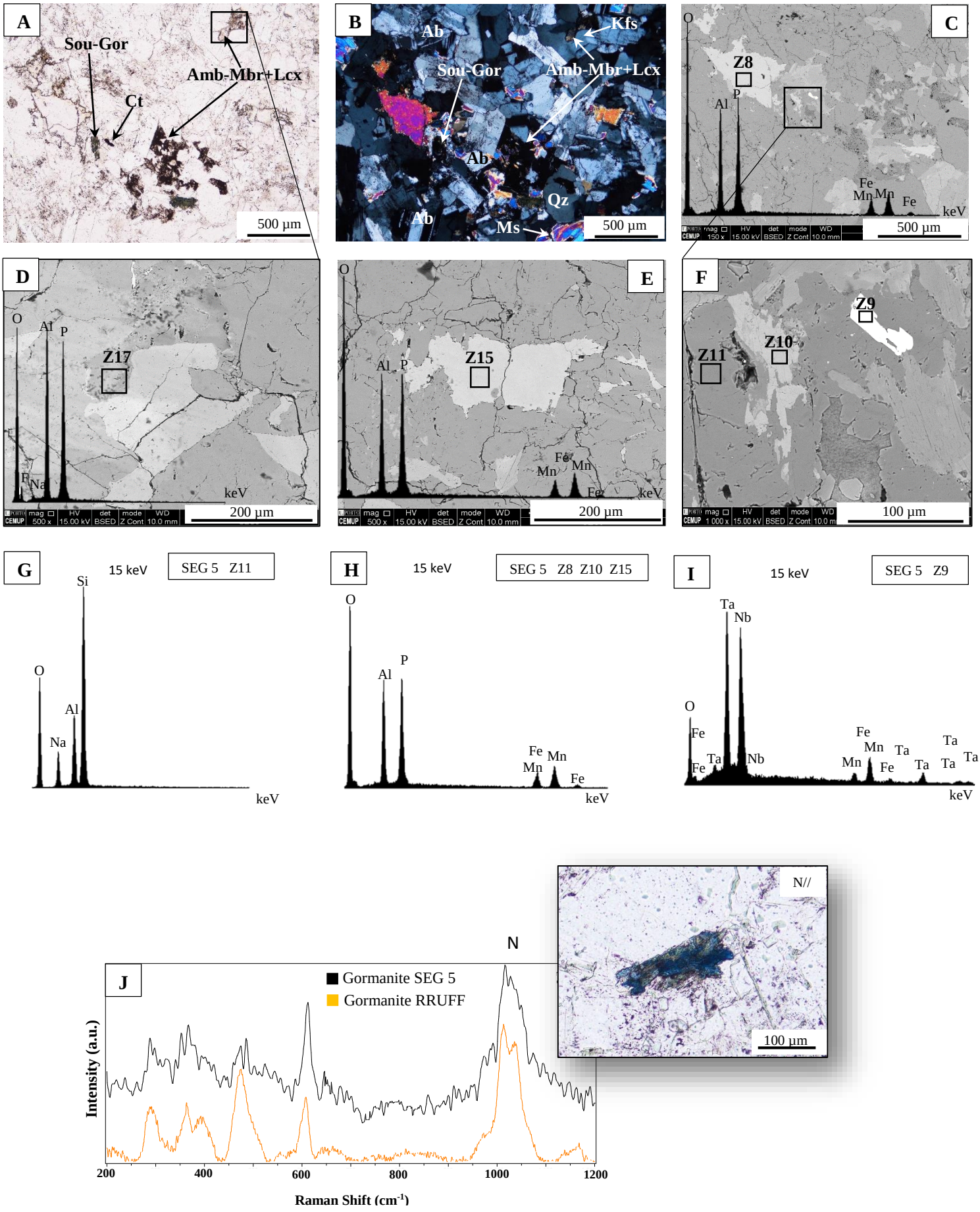


Figura 22 – Análise da mineralogia da amostra SEG 5, onde através do microscópico ótico (B) e análise SEM (C, G), verifica-se a composição constituída essencialmente por albite (Ab). Observam-se ainda o feldspato potássico (Kfs), quartzo (Qz) e a moscovite (Ms). Foram identificados, através do seu relevo e birrefringência elevados e análise elementar, minerais que pertencem ao grupo dos fosfatos de alumínio de ferro e de manganês (A, B, C); minerais da série souzalite-gormanite, através da análise ótica (A), análise elementar (F, H) e análise do espectro obtido através da microespectroscópia Raman que foi comparado com o espectro da gormanite do Linopolis, Minas Gerais, Brazil fornecido por Michael Scott na base de dados RRUFF (J). Outro mineral identificado pelo número atómico superior (A, F, I), a columbo-tantalite. Também foi visto o fosfato da série ambligonite-montebrasite com a presença da lacroixite na sua estrutura (A, B, D).

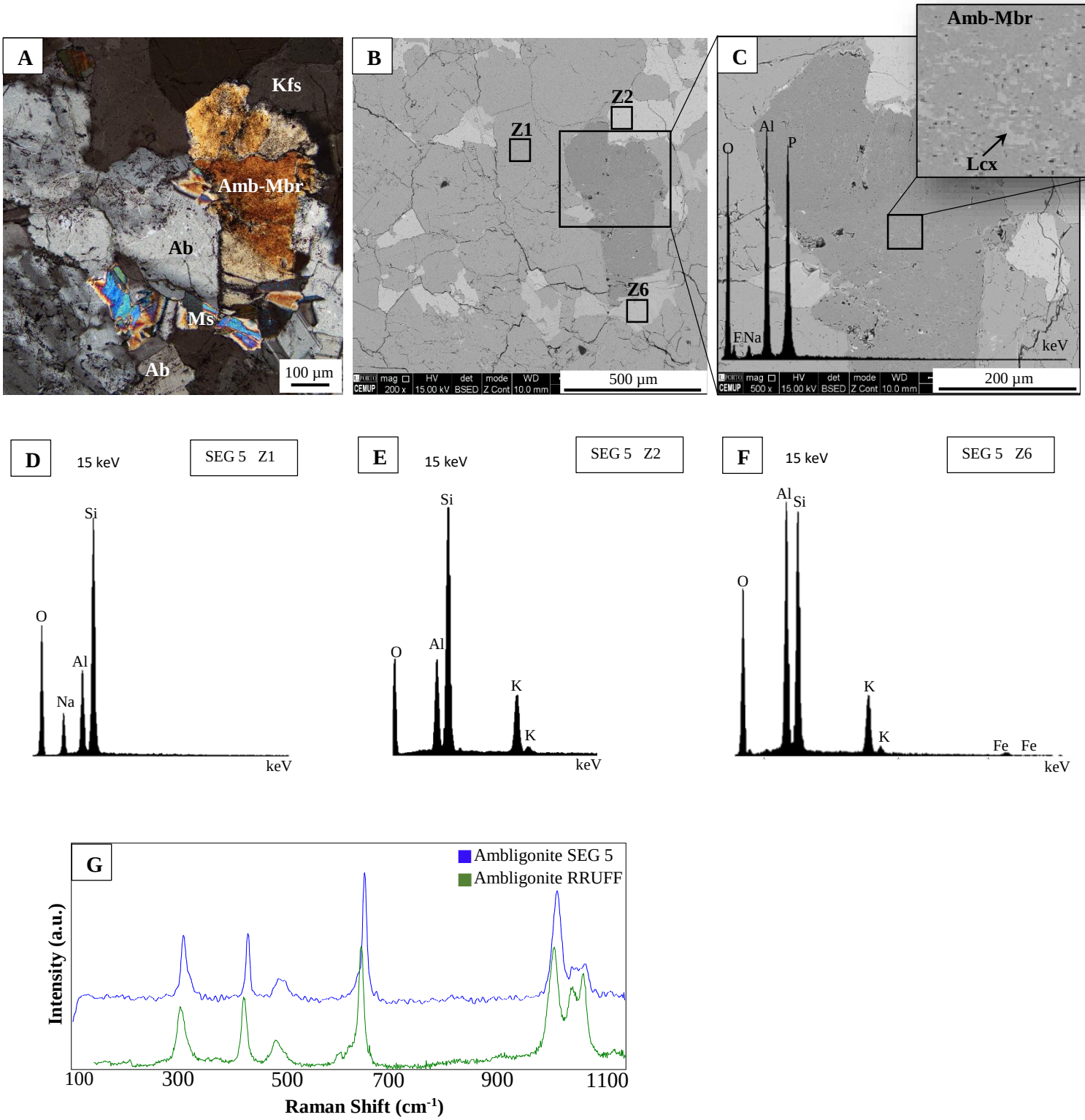
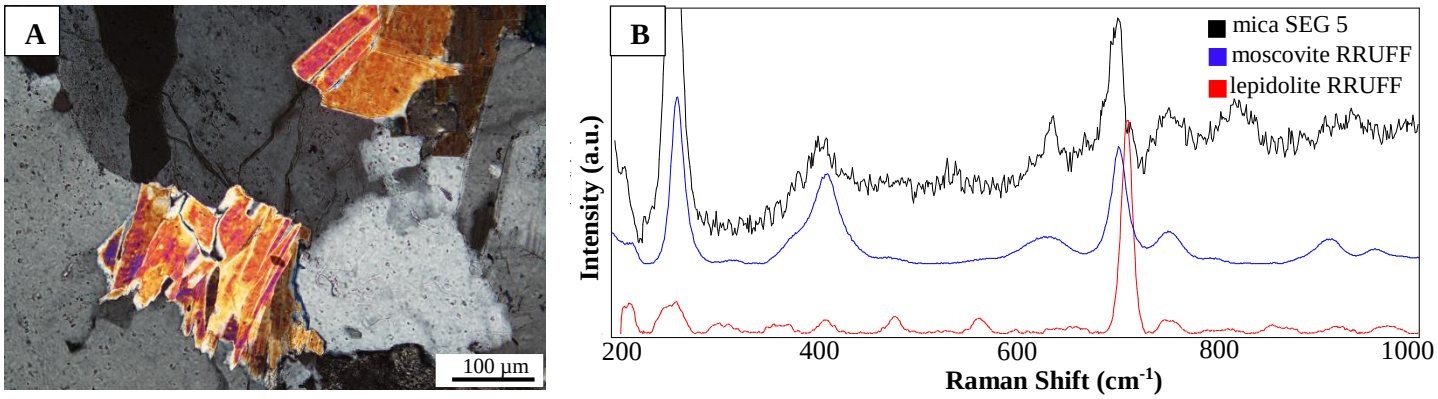


Figura 23 – Análise dos minerais da série ambligonite-montebrasite, presentes na amostra SEG 5, ao microscópio ótico (A) e análise SEM (C), onde se observam as zonas ricas em Na (zonas com manchas mais claras, relativamente aos minerais da série ambligonite-montebrasite), que correspondem aos finos intercrescimentos da lacroixite. O espectro obtido através Raman (G), comparado com o espectro da ambligonite de Pala, San Diego Country, California fornecido pela base de dados RRUFF. Na composição da matriz também foram identificados feldspatos K (A, B, E) e moscovites (A, B, F).



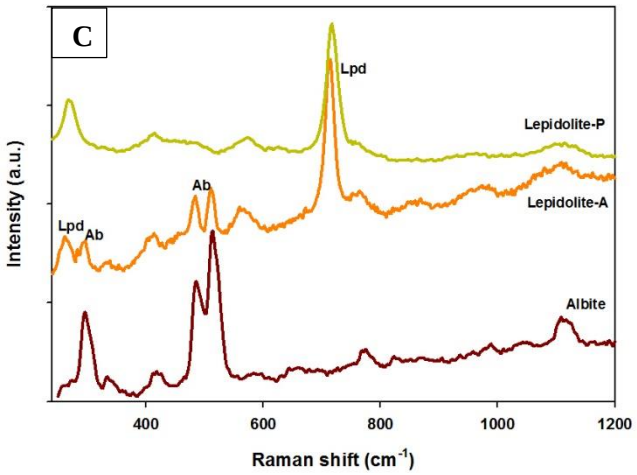


Figura 24 – (A) Micas com hábito tabular visualizadas na amostra SEG 5, cujo espectro foi comparado com os espectros Raman da moscovite e lepidolite obtidos na base de dados RRUFF (B) e também com o espectro de lepidolite da fácies pegmatítica (Lepidolite-P) do Gonçalo (Sousa et al., 2019) (C).

6.2 Petrografia das lâminas bipolidas espessas

6.2.1 Tipologia dos quartzos

Nas 4 lâminas bipolidas analisadas SEG 1-1 (Fig. 25), SEG 1-2 (Fig. 26) e SEG 3-1 (Fig. 28), SEG 3-2 (Fig. 30; Fig. 31), observaram-se 3 aspetos diferentes de quartzo:

Q1A – quartzo hialino de grande dimensão, muito fraturado (Fig. 25-A, B; Fig. 26-A, B). Este tipo de quartzo observa-se nas lâminas SEG 1-1 e também na SEG 1-2.

Q1B - cristais de quartzo hialino em mosaico, de forma subédrica, com fraca recristalização intergranular dos bordos e com muitas inclusões fluidas no seu interior. Este tipo de quartzo observa-se só na lâmina SEG 1-2 (Fig. 26-A, D).

Q2 – cristais de quartzo hialino xenomórficos, relativamente límpidos e com a recristalização de bordos. Representam fraca extinção ondulante. Este tipo de quartzo observa-se na lâmina SEG 3-1 (Fig. 28-A, B, C, D, G, H, I) e na lâmina SEG 3-2 (Fig. 30-A, B; Fig. 31-A).

6.2.2 Petrografia das inclusões fluidas

A nomenclatura utilizada baseia-se na conjugação do tipo de homogeneização global com a presença das espécies C-O-H-N-S detetadas quer pela microtermometria, quer pela micro-espectroscopia Raman (Boiron et al., 1992; Cathelineau et al., 1993 b).

No quartzo Q1A observam-se três tipos das inclusões fluidas: monofásicas com vapor do tipo Vc; bifásicas ricas em vapor do tipo Vc-w e bifásicas ricas em líquido do tipo Lc-w e Lw-c. As inclusões fluidas monofásicas do tipo Vc preenchem abundantemente os cristais de quartzo analisados e encontram-se distribuídos em grupos (com a distribuição aleatória ou alinhada) (Fig. 25-C, Fig. 27-A) ou distribuem-se segundo fraturas transgranulares e intragranulares (Fig. 25-C, D). Apresentam formas sub-esféricas, irregulares e angulosas e de tamanhos, maioritariamente, entre 10 a 20 μm.

As inclusões fluidas bifásicas são distribuídas em grupos ou isoladas possuindo

graus de preenchimento (Flw) diferentes (Fig. 25-E, F; Fig. 27-C). As Inclusões fluidas do tipo Lw-c e Lc-w apresentam o preenchimento da fase aquosa de 70%, encontram-se distribuídas em pequenos agrupamentos e geralmente possuem um tamanho entre 5 a ~ 8 µm (Fig. 25-F, Fig. 27-C). Apresentam-se em formas hexagonais, sub-angulares e sub-esféricas. As inclusões bifásicas ricas em vapor (Vc-w), com um grau de preenchimento de água de 20 e 50%, ocorrem isoladas ou em agrupamentos aleatórios com o tamanho aproximado de 6-20 µm e de formas sub-esféricas ou irregulares (Fig. 25-E; Fig. 27-A). Ainda se visualizam inclusões fluidas bifásicas com um Flw de 0,95, distribuídas segundo as fraturas, que definem a sua natureza secundária (Fig. 27-D, E). Possuem formas irregulares quando são maiores, podendo chegar a tamanhos superiores a 30 µm.

As IF monofásicas distribuídas em fraturas cortam as fraturas preenchidas por IF bifásicas e essas cortam os agrupamentos presentes.

No quartzo Q1B foram observadas inclusões do tipo Vc e Vc-w com as mesmas caraterísticas visualizadas no quartzo Q1A para este tipo das inclusões (Fig. 26-E; Fig. 27-B).

No quartzo Q2 observam-se três tipos das inclusões fluidas: monofásicas com vapor (Vm); bifásicas ricas em vapor (Vm-w) e bifásicas ricas em líquido (Lw-c e Lw-m). As inclusões fluidas do tipo Vm distribuem-se segundo as fraturas transgranulares ou segundo os planos das inclusões fluidas (PIFs) (Fig. 29-A, B; Fig. 30-D). Apresentam formas alongadas e sub-angulares e tamanhos geralmente > 10 µm (Fig. 29-C).

As inclusões fluidas Vm-w apresentam um Flw de 0,3 e observam-se em grupos ou em PIFs, de formas alongadas e angulosas, com tamanhos > 10µm.

As inclusões fluidas bifásicas do tipo Lw-c e Lw-m possuem um grau de preenchimento de água de 70%, ocorrem em grupos ou isoladas, de formas sub-esféricas, sub-angulosas e hexagonais, de tamanhos entre 6-10 µm nas inclusões mais pequenas e maiores com 13-20 µm (Fig. 28-F, E; Fig. 29-D, E, F; Fig. 30-C, E, F; Fig. 31-B).

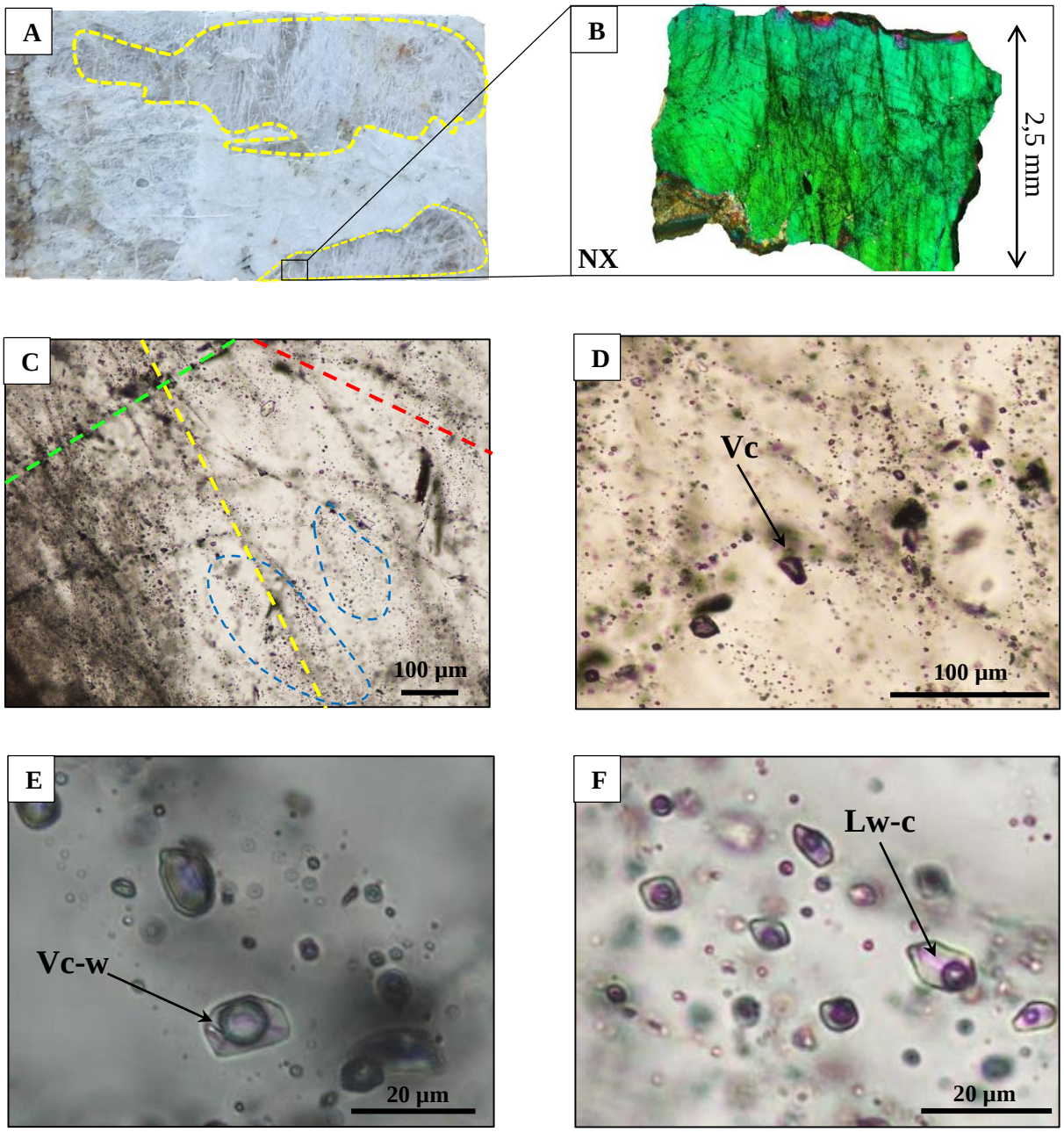


Figura 25 – (A) Análise do quartzo da lâmina bipolida espessa SEG 1-1 onde a tracejado amarelo é selecionada a igual tipologia do quartzo hialino (Q1A). Em destaque (B) observa-se em NX a esquirola da zona z5, onde foram selecionadas as inclusões fluidas distribuídas em fraturas (tracejado a amarelo, vermelho e verde), em grupos (tracejado a azul) e isoladas (C). São observadas as inclusões fluidas monofásicas do tipo Vc (D), bifásicas do tipo Vc-w (E) e do tipo Lw-c (F).

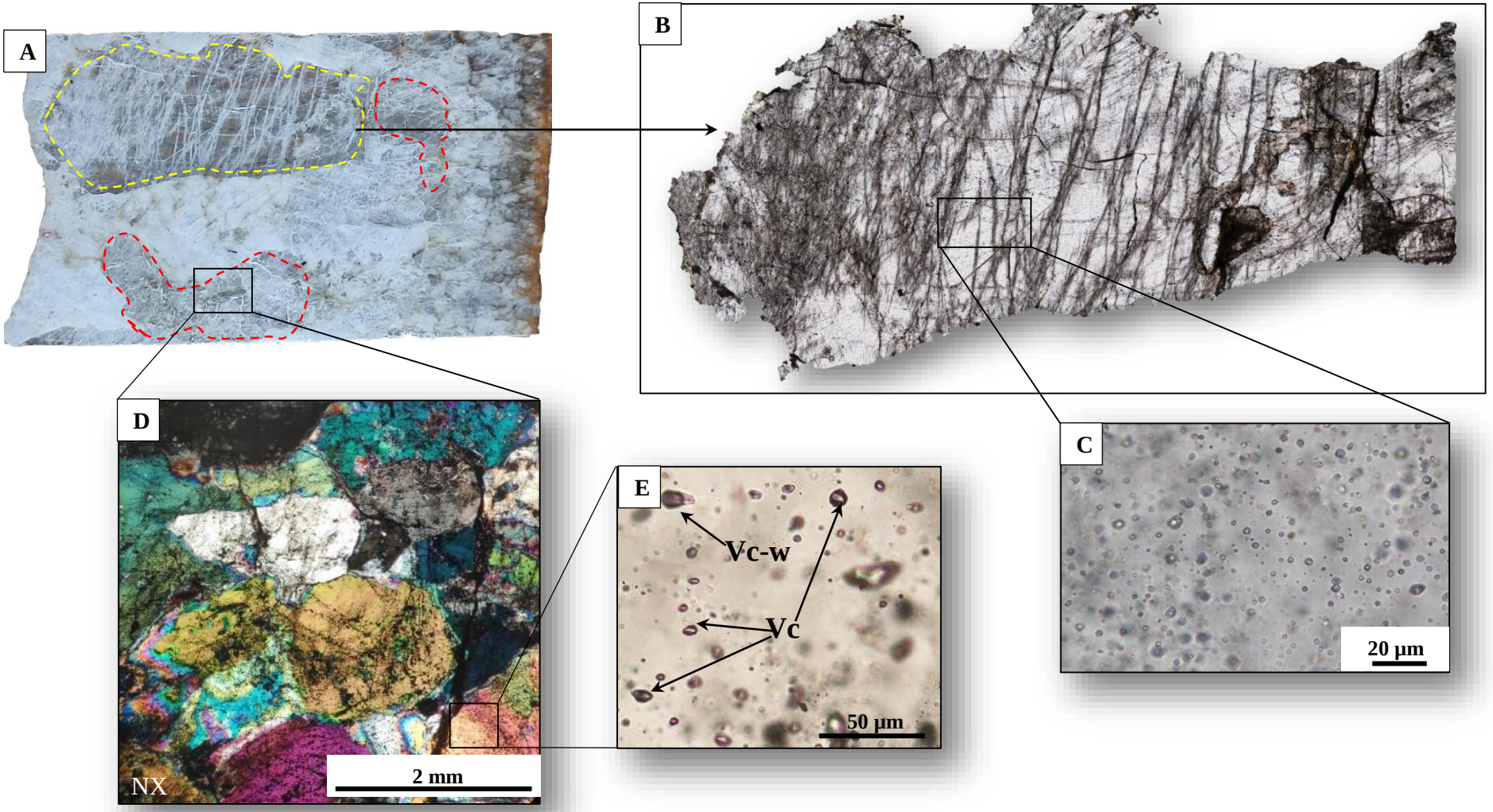


Figura 26 – (A) Análise do quartzo da lâmina bipolida espessa SEG 1-2, onde a tracejado amarelo é selecionada a tipologia do quartzo hialino (Q1A), onde em destaque (B) observa-se o cristal de quartzo inteiro, muito fraturado e preenchido por inclusões fluidas (C) de tamanho até 5 µm. A tracejado vermelho (A) destaca-se quartzo hialino subgranulado (Q1B) com textura em mosaico e fraca recristalização dos bordos (D) com as respetivas inclusões fluidas do tipo Vc e Vc-w nele encontradas (E).

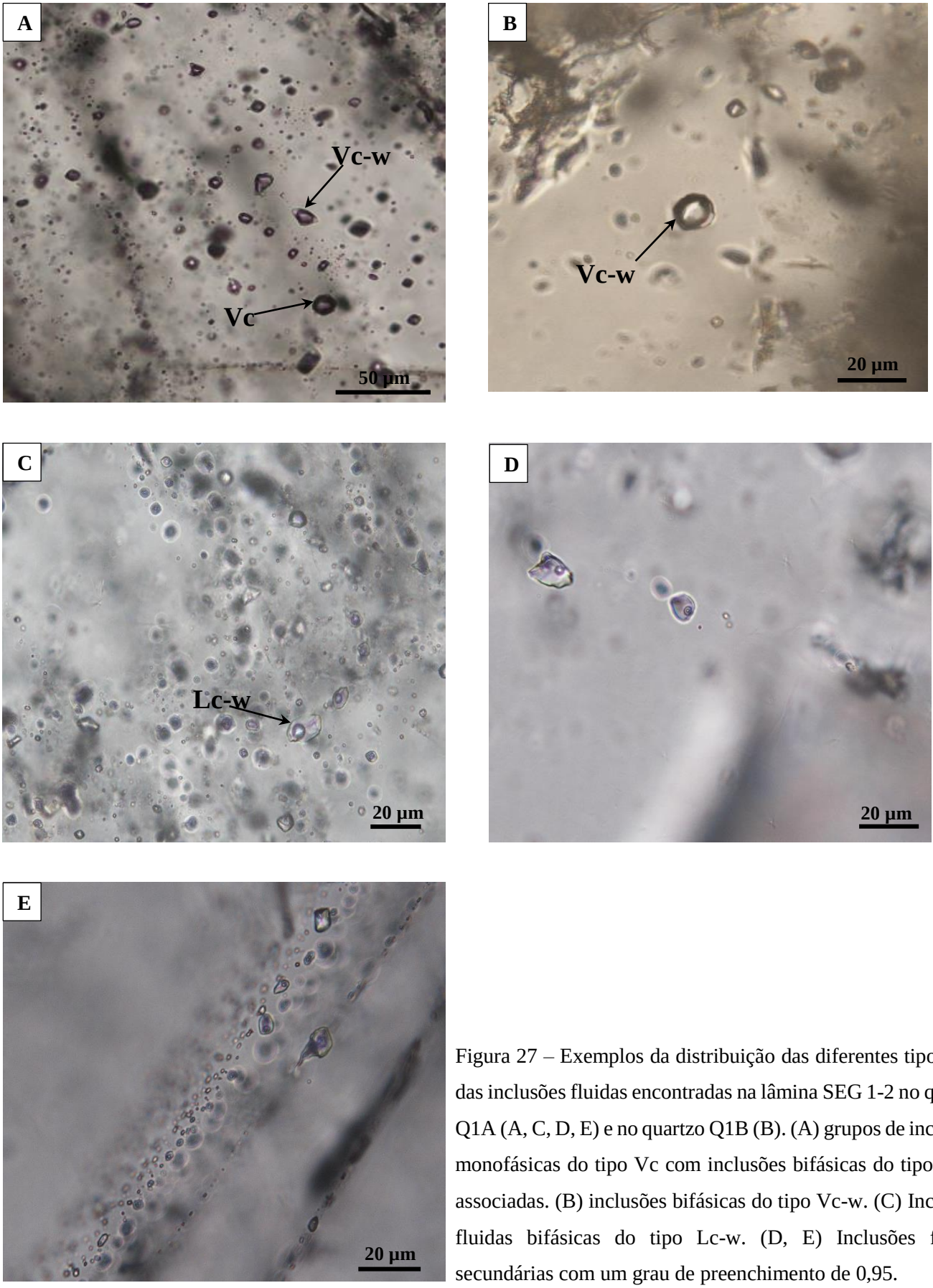


Figura 27 – Exemplos da distribuição das diferentes tipologias das inclusões fluidas encontradas na lâmina SEG 1-2 no quartzo Q1A (A, C, D, E) e no quartzo Q1B (B). (A) grupos de inclusões monofásicas do tipo Vc com inclusões bifásicas do tipo Vc-w associadas. (B) inclusões bifásicas do tipo Vc-w. (C) Inclusões fluidas bifásicas do tipo Lc-w. (D, E) Inclusões fluidas secundárias com um grau de preenchimento de 0,95.

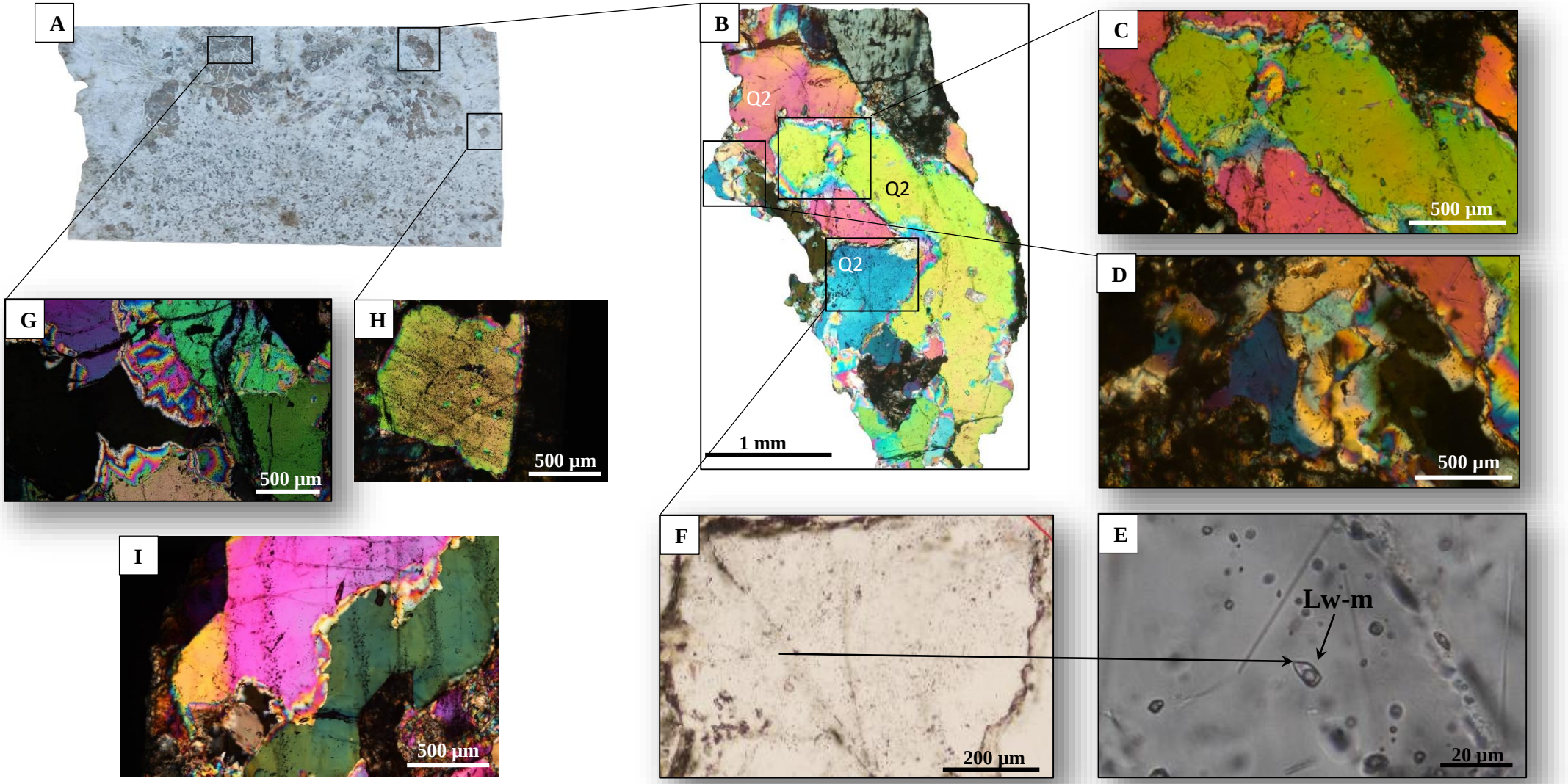


Figura 28 – (A) Análise do quartzo Q2 da lâmina bipolida espessa SEG 3-1. Observam-se as formas xenomórficas de quartzo hialino (B, C, G, I) com fraca extinção ondulante (G). Os cristais de quartzo possuem a recristalização dos bordos e também a recristalização de quartzo em cristais mais pequenos (C, D). Observam-se as inclusões fluidas monofásicas do tipo Vm distribuídas em fraturas transgranulares (I) e bifásicas do tipo Lw-m em grupos (F) com algumas delas isoladas (E). Na imagem H observa-se quartzo abundantemente preenchido por inclusões com algum alinhamento.

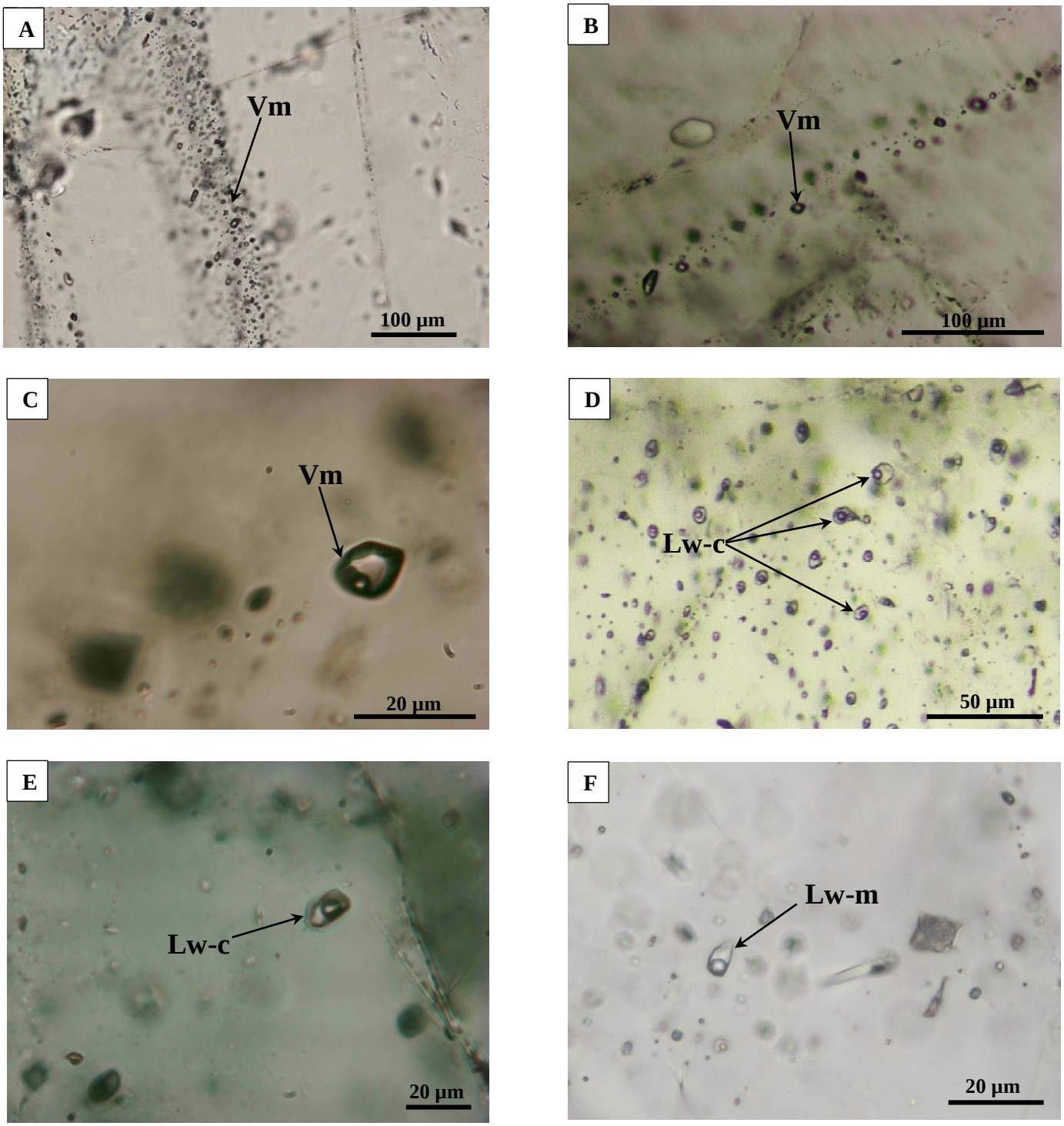


Figura 29 – (A, B e C) inclusões fluidas do tipo Vm, observadas na lâmina 3-1, a preencher as fraturas transgranulares; (D, E, F) inclusões fluidas bifásicas do tipo Lw-c e Lw-m distribuídas como em grupos (D) como isoladas (E e F).

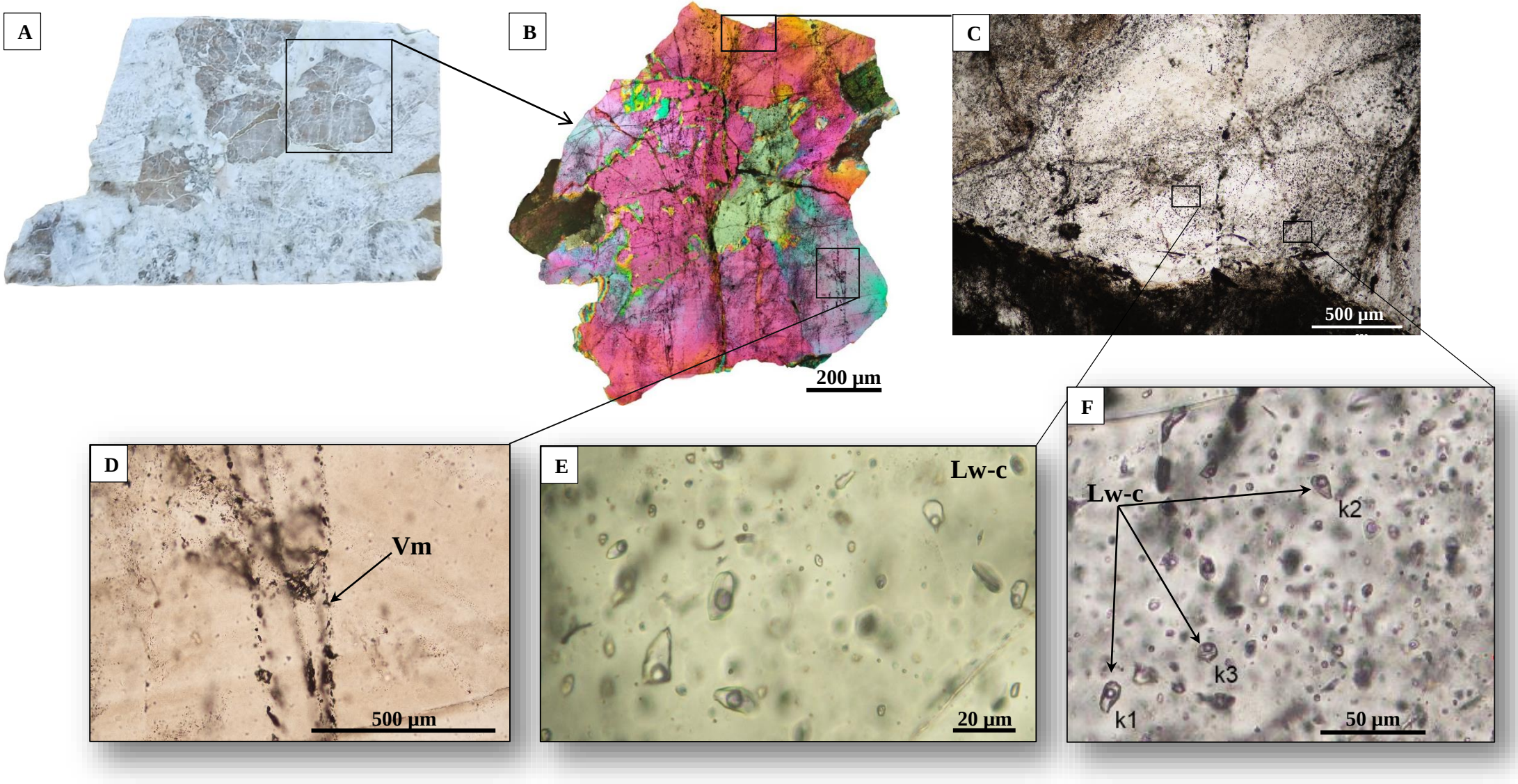


Figura 30 – (A) Lâmina bipolida espessa SEG 3-2 com o destaque na esquirola z5 (B) onde se observa quartzo hialino Q2 com zonas de alteração. Observam-se as inclusões fluidas do tipo Lw-c numa “nuvem” das inclusões (C) distribuídas em grupos (E, F) e também as inclusões do tipo Vm a preencher fraturas transgranulares (D).

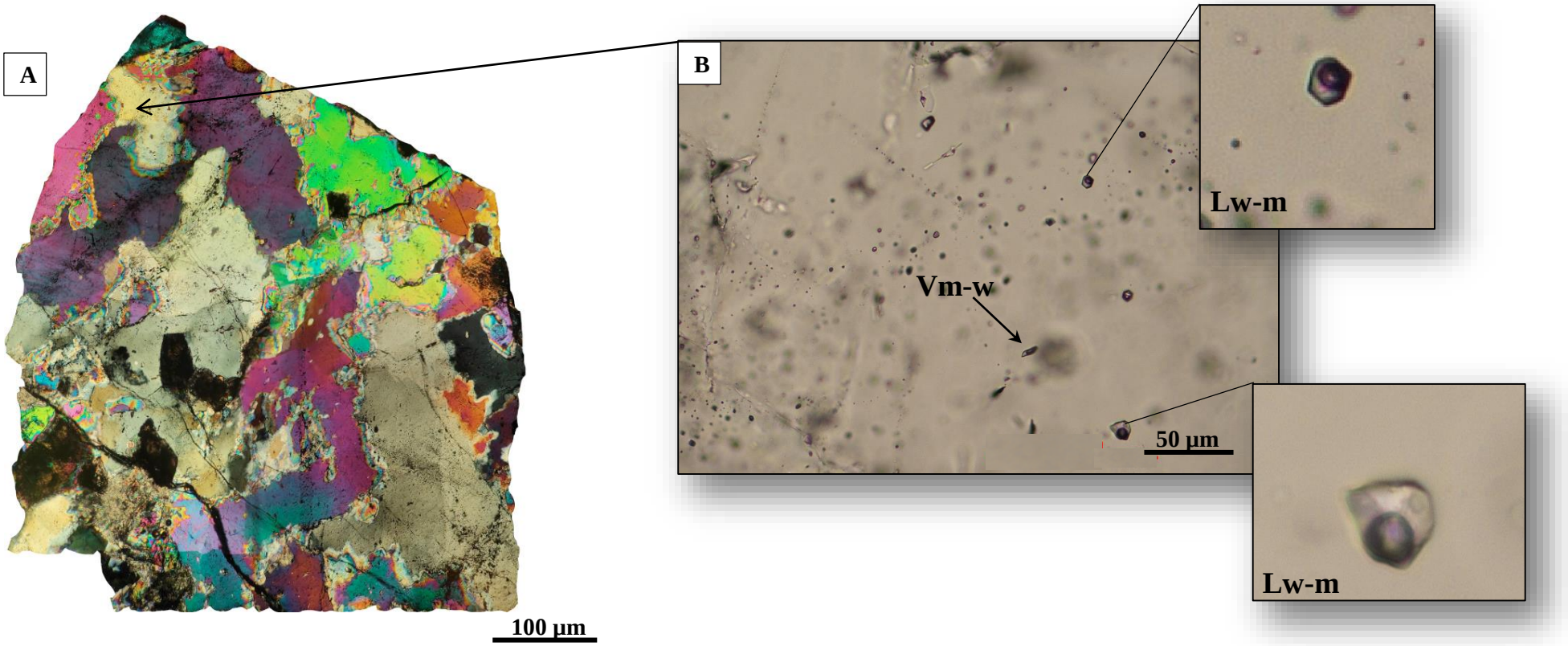


Figura 31 – (A) representação da esquirola z2 da lâmina bipolida espessa SEG 3-2 em NX, onde observam-se cristais de quartzo hialinos xenomórficos e com os bordos de recristalização (Q2). Na imagem B visualizam-se as inclusões fluidas isoladas, do tipo Lw-m e Vm-w.

6.3 Caracteristicas microtermométricas das inclusões fluidas

De acordo com as análises microtermométricas foram identificados os seguintes tipos de fluidos:

- Amostra SEG1-1 e SEG1-2 com fluidos aquosos do tipo Lw-c; aquo-carbónicos do tipo Lc-w e Vc-w e carbónicos do tipo Vc.
- Amostra SEG3-1 e SEG3-2 com fluidos aquosos do tipo Lw-c e Lw-m; fluidos aquo-carbónicos do tipo Vm-w e cabónicos do tipo Vm.

A síntese dos resultados do estudo microtermométrico encontra-se descrito nos capítulos abaixo, nas Tabelas 9 e 10 e nos histogramas presentes nas Figuras 38-41. Os dados mais pormenorizados encontram-se presentes em anexo. Alguns exemplos do processo das mudanças de fases observadas ilustram-se nas Figuras 32-36.

6.3.1 SEG 1-1 e SEG 1-2

Inclusões do tipo **Lw-c** com fluidos aquosos ocorrem como inclusões bifásicas em grupos ou raramente isoladas no quartzo Q1A apresentando o grau de preenchimento de 0,7. A TmI foi observada entre -2,8 e -4,2 ºC e a TmCl apresenta valores entre 10,1 e 10,8 ºC. As temperaturas de homogeneização global variam entre 310 e 330 ºC em líquido.

Inclusões **Lc-w** com fluidos aquo-carbónicos constituem as inclusões bifásicas, distribuídas em grupos ou isoladas no quartzo Q1A, apresentando o grau de preenchimento de 0,7. Foram observadas a $TmCO_2$ de entre -61 e -60,3 ºC e a $ThCO_2$ de entre -30 e -28,5 ºC que se deu em vapor. A TmI foi visualizada de entre -2,8 e -1,5 ºC e a TmCl entre 10 e 10,8 ºC. As temperaturas de homogeneização global (TH) visualizam-se entre 310 e 320 ºC em líquido.

Inclusões **Vc-w** com fluidos aquo-carbónicos apresentam-se como inclusões fluidas bifásicas que se distribuem isoladas ou em grupos no quartzo Q1A e Q1B. Esse tipo das inclusões possui um Flw que varia entre 0,2 e 0,5. Na maioria das inclusões desse tipo analisadas, não foi possível determinar o TmI, devido ao reduzido volume da fase

aquosa.

No quartzo Q1A a TmCl foi observada entre 3,2 e 13,7 ºC. A $TmCO_2$ visualizou-se entre -62,6 e -61,3ºC e a $ThCO_2$ entre -30,3 e -25,1 ºC que se deu em vapor. A temperatura da homogeneização global varia entre 370 e 415 ºC e ocorre em vapor.

No quartzo Q1B igualmente foram observadas inclusões com Flw entre 0,2 e 0,5. A TmI e TH foi analisada somente em única inclusão deste tipo, cujas temperaturas consistiram em -6,8 ºC e 475 (em vapor), respetivamente. Não foi observada a temperatura da fusão dos clatratos. A $TmCO_2$ foi visualizada entre -63 e -62,7 ºC e a $ThCO_2$ entre -27,5 e -25,2 em vapor.

Nas inclusões do tipo **Vc-w**, a TH foi analisada somente nas inclusões com Flw de 0,5 devido a dificuldade na observação do fenómeno da homogeneização global nas inclusões com Flw de 0,2, que apresentam reduzido volume da fase aquosa.

Inclusões **Vc** com fluidos carbónicos consistem em inclusões monofásicas apresentando um Flw nulo e ocorrem em grupos ou segundo as fraturas no quartzo Q1A e Q1B. Assim, o Q1A apresenta as inclusões com a $TmCO_2$ que varia entre -63,8 e -61,3 ºC e a ThCO2 de entre -45 e -20,6 ºC que ocorreu em vapor. No quartzo Q1B a $TmCO_2$ foi observada entre -63 e -62,7 ºC e a $ThCO_2$ entre 32,5 -22,4 ºC em vapor.

Acredita-se que, os fluidos anteriormente descritos, dadas as semelhanças microtermométricas registadas, sofreram um aprisionamento heterogéneo com as variações em conteúdo em água. A representação esquemática desse fenómeno com os dados microtermométricos associados encontra-se apresentada na Figura 37.

6.3.2 SEG 3-1 e SEG 3-2

Inclusões **Lw-c** com fluidos aquosos ocorrem como inclusões bifásicas em grupos ou raramente isoladas no quartzo Q2 caracterizadas por um volume de fase aquosa de 70%. A TmI foi observada entre -3,3 e -2,2 ºC e a TmCl apresenta valores entre 9,2 e 15,2 ºC. As temperaturas de homogeneização global (TH) ocorrem entre 275 e 320 ºC em líquido.

Inclusões **Lw-m** com fluidos aquosos apresentam-se como inclusões fluidas bifásicas distribuídas em grupos ou isoladas no quartzo Q2 com o Flw de 0,7. A fusão de

gelo ocorre entre -3,3 e -2 ºC e a fusão de clatratos entre 9,6 e 14,3. As temperaturas de homogeneização global (TH) foram observadas entre 305 e 387 ºC em líquido.

Inclusões **Vm-w** com fluidos aquo-carbónicos constituem as inclusões fluidas bifásicas distribuídas segundo PIFs ou fraturas no quartzo Q2 e caracterizadas por um volume de fase aquosa de 30%. Observou-se a temperatura da homogeneização de CH_4 ($ThCH_4$) que ocorreu em vapor em -94,8 ºC e a temperatura da homogeneização global (TH) que ocorreu em 340 ºC em vapor. Não foi possível determinar o TmI devido ao reduzido volume da fase aquosa.

Inclusões **Vm** com fluidos carbónicos ocorrem nas inclusões fluidas monofásicas, distribuídas segundo PIFs ou fraturas no quartzo Q2 e apresentam um volume de fase aquosa nulo. Neste tipo de inclusão só foi possível a observação da $ThCH_4$ entre -94,9 ºC e -81.5 ºC.

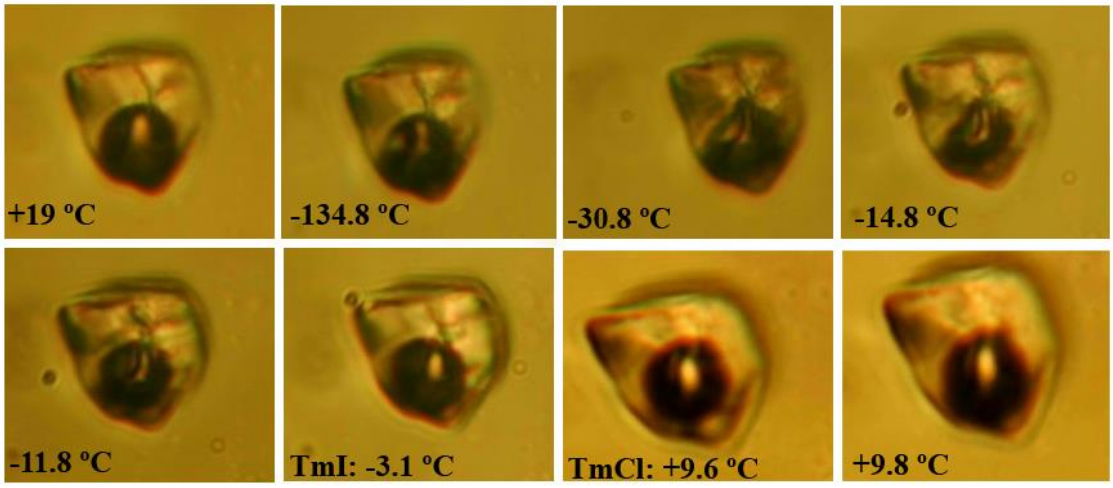


Figura 32 – As transformações durante o processo da criometria na inclusão fluida do tipo Lw-m localizada no quartzo Q2, onde se observa o congelamento da fase aquosa com a diminuição da temperatura, a fusão de gelo (TmI) e a fusão dos clatratos (TmCl).

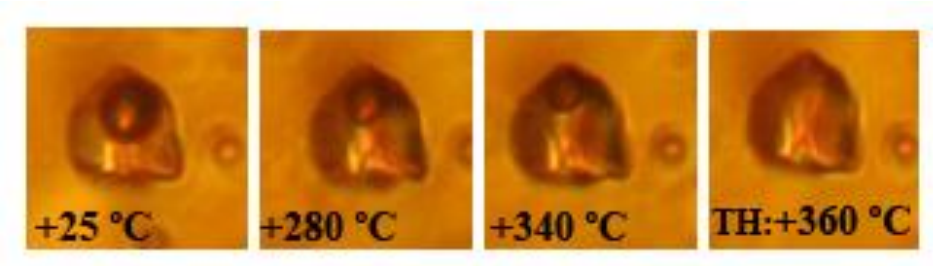


Figura 33 – As transformações durante o processo da termometria na inclusão fluida do tipo Lw-m localizada no quartzo Q2, onde se observa a diminuição do tamanho da fase vapor com o aumento da temperatura, homogenizando-se em líquido quando desaparece totalmente, assim definindo a temperatura da homogeização global (TH) da inclusão.

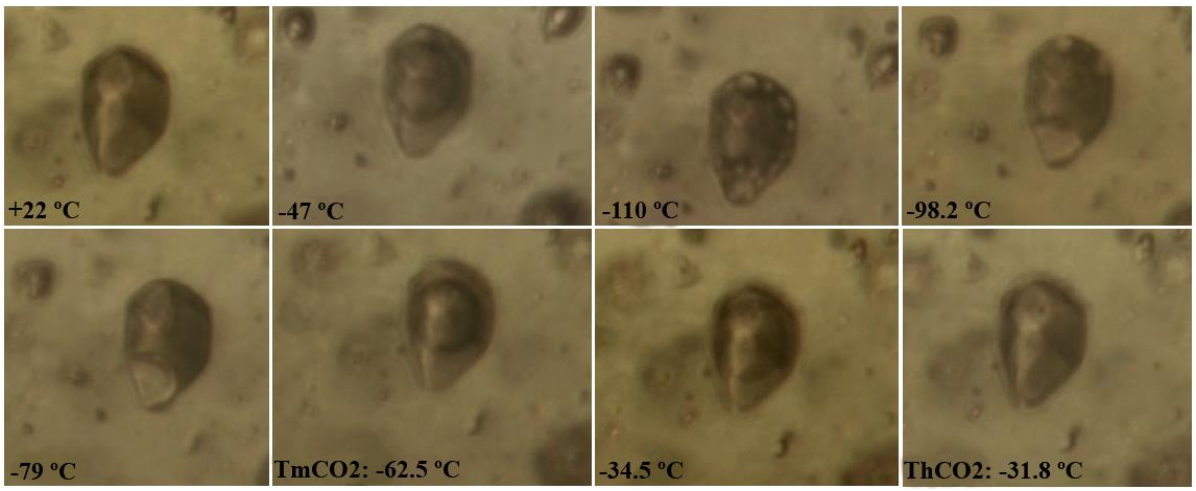


Figura 34 – As mudanças das fases que ocorrem numa inclusão do tipo Vc, onde se observa a inclusão monofásica a temperatura ambiente; o congelamento; a formação da "meia lua" na fase vapor, antes do momento da fusão de CO_2; fusão de CO_2 aos -62,5 ºC e a temperatura de homogenização do CO_2 aos -31,8 ºC que ocorre no momento do desaparecimento do menisco.

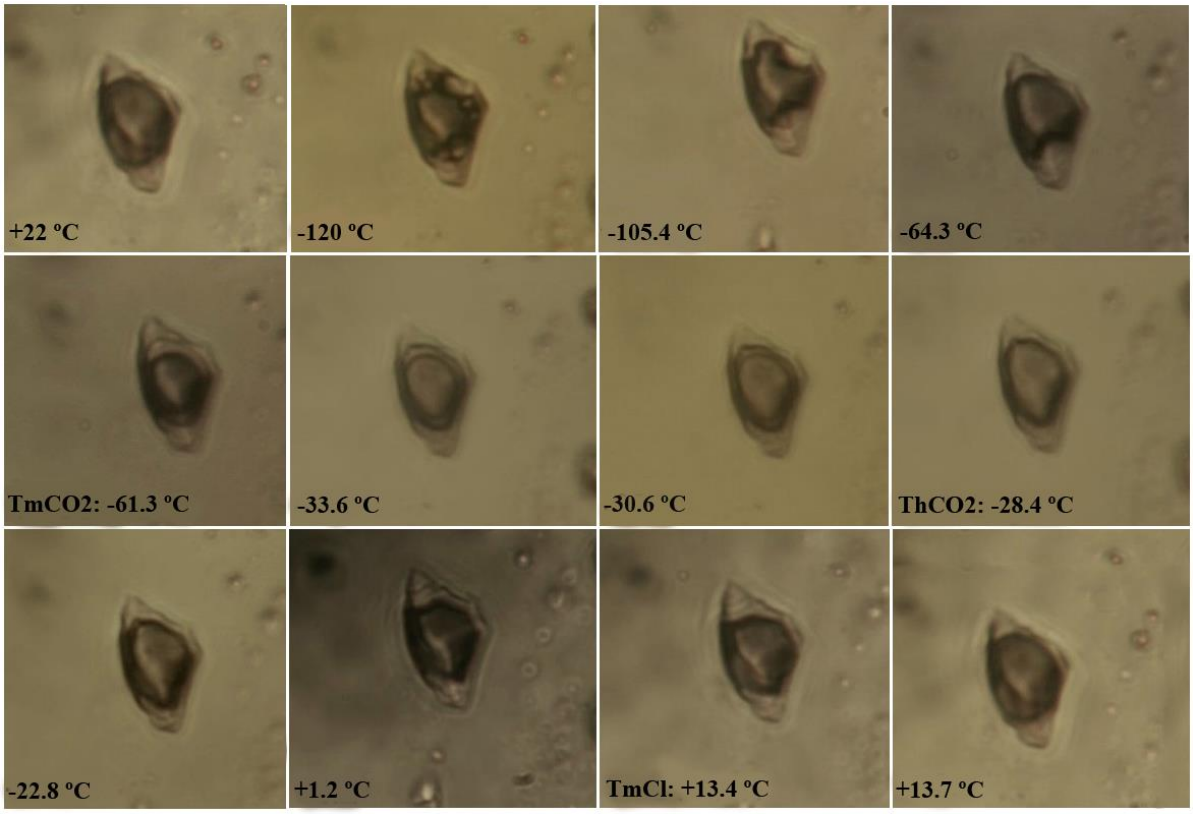


Figura 35 – As mudanças das fases que ocorrem numa inclusão do tipo Vc-w, onde se observa a inclusão bifásica a temperatura ambiente; o congelamento total; sucessivo descongelamento com o aumento da temperatura e a formação aos -64,3 ºC da "meia lua" na fase vapor próximo do momento da fusão de CO_2; fusão de CO_2 aos -61,3 ºC e a formação do menisco que separa a fase vapor da fase aquosa na inclusão e que vai avançar até desaparecer, aos -28,4 ºC, quando ocorre a homogeneização de CO_2; por fim, a fusão de clatratos (aos 13,4 ºC) que ocorre quando a fase vapor fica com os seus bordos mais regulares devido a libertação do gás hidratado.

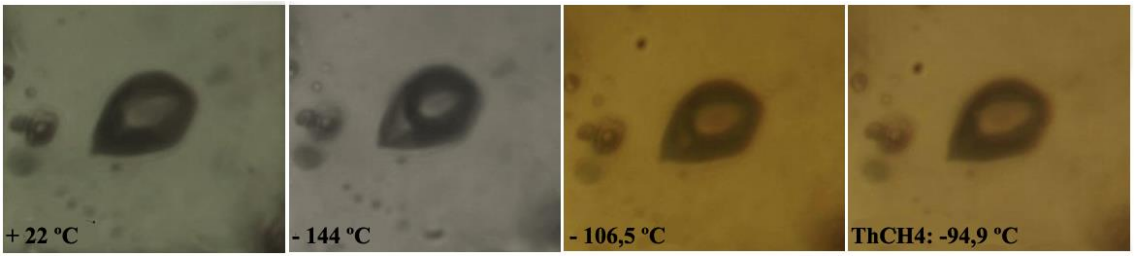


Figura 36 – As mudanças das fases que ocorrem numa inclusão do tipo Vm, onde se observa a inclusão monofásica a temperatura ambiente; o aparecimento da fase líquida aos -144 ºC e a temperatura de homogenização de CH_4 aos -94,9 ºC que ocorre no momento do desaparecimento do menisco.

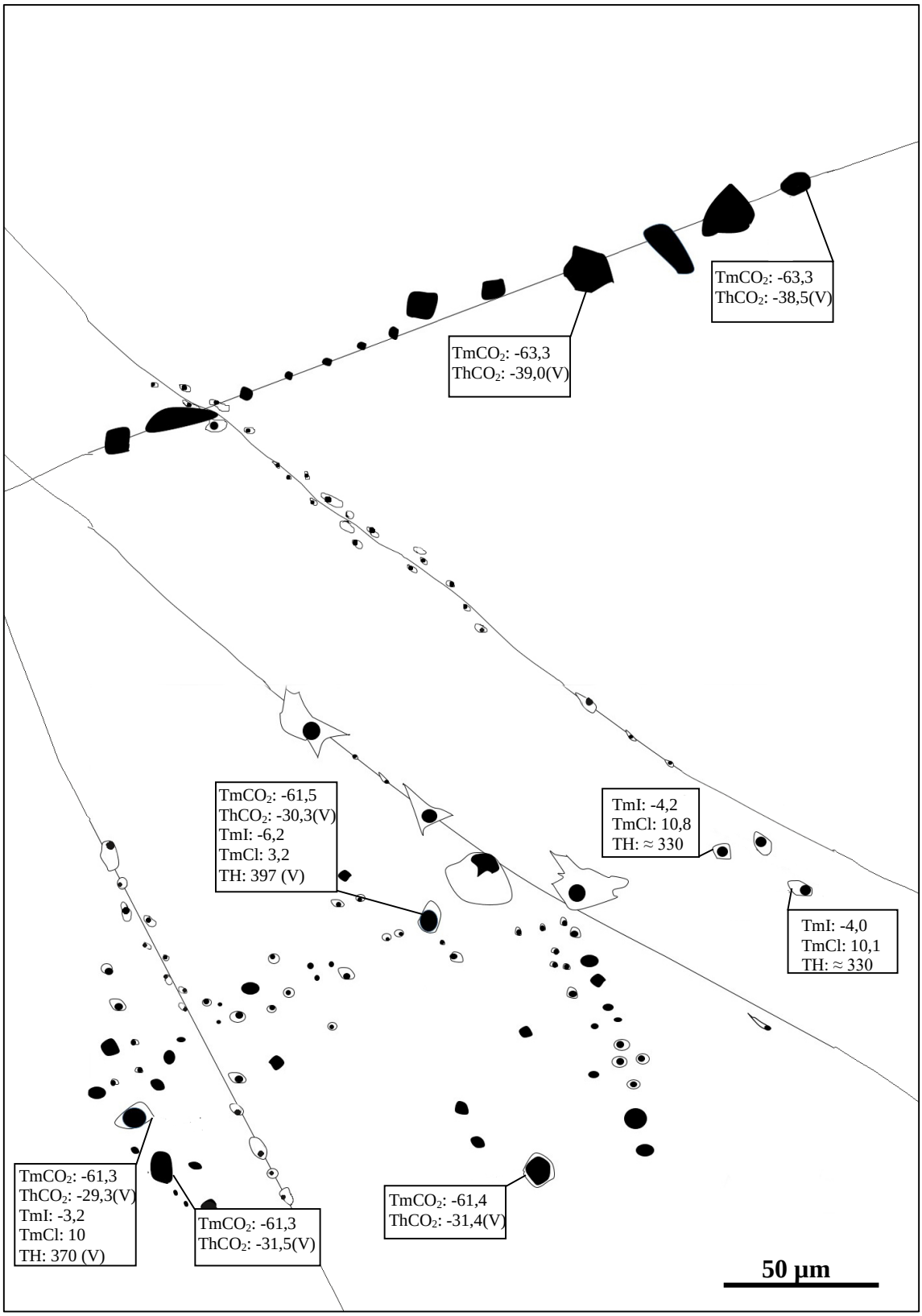


Figura 37 – Esquema do aprisionamento heterógeno dum fluido precoce no quartzo Q1A na amostra SEG 1. Observam-se inclusões fluidas com diferentes graus de preenchimento em água com os respetivos dados microtermométricos idênticos. Algumas das fraturas estão preenchidas por inclusões com o Flw elevado, cujas propriedades não foi possível avaliar.

Tabela 9 – Síntese da análise microtermométrica realizada nas amostras SEG 1-1 e SEG 1-2, onde representam-se os resultados obtidos quanto a temperatura de fusão de CO_2 ($TmCO_2$), temperatura de fusão de gelo (TmI), temperatura de fusão de clatratos (TmCl), temperatura de homogeneização de CO_2 ($ThCO_2$) e temperatura da homogeneização global (TH), junto com os dados obtidos na análise petrográfica quanto ao tipo de quartzo hospedeiro, a ocorrência das inclusões fluidas e o seu Flw.

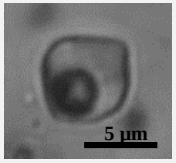
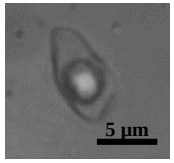
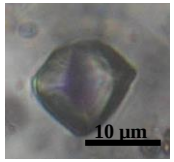
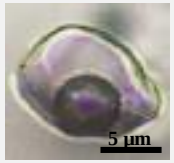
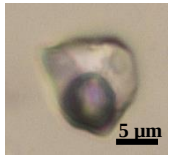
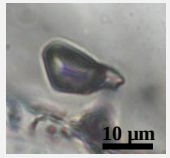
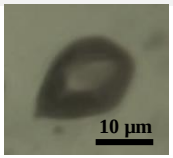
Tipo da IF		Tipo de quartzo	Ocorrência	Flw	$ThCH_4$	$TmCO_2$	TmI	TmCl	$ThCO_2$	TH
Lw-c		Q1A	Grupo/Isolada	0,7	—	—	-4,2/-2,8	10,1/10,8	—	310/330 (L)
Lc-w		Q1A	Grupo/Isolada	0,7	—	-61/-60,3	-2,8/-1,5	10/10,8	-30/-28,5 (V)	310/320 (L)
Vc-w		Q1A Q1B	Grupo/Isolada Grupo/Isolada	0,2 / 0,5 0,2 / 0,5	— —	-62,6/-61,3 -63 / -62,7	— -6,8	3,2/13,7 —	-30,3/-25,1 (V) -27,5 / -25,2 (V)	370/415 (V) 475 (V)
Vc		Q1A Q1B	Grupo/PIF Grupo/PIF	0 0	— —	-63,8/-61,3 -63/-62,7	— —	— —	-45/-20,6 (V) -32,5/-22,4 (V)	— —

Tabela 10 – Síntese da análise microtermométrica realizada nas amostras SEG 3-1 e SEG 3-2, onde representam-se os resultados obtidos quanto a temperatura de homogenização de CH_4 ($ThCH_4$), temperatura de fusão de gelo (TmI), temperatura de fusão de clatratos (TmCl) e temperatura da homogeneização global (TH), junto com os dados obtidos na análise petrográfica quanto ao tipo de quartzo hospedeiro, a ocorrência das inclusões fluidas e o seu Flw.

Tipo da IF		Tipo de quartzo	Ocorrência	Flw	$ThCH_4$	$TmCO_2$	TmI	TmCl	$ThCO_2$	TH
Lw-c		Q2	Grupo/Isolada	0,7	—	—	-3,3/-2,2	9,2/15,2	—	275/320 (L)
Lw-m		Q2	Grupo/Isolada	0,7	—	—	-3,3/-2	9,6/14,3	—	305/387 (L)
Vm-w		Q2	PIF/fraturas	0,3	-94,8 (V)	—	—	—	—	340 (V)
Vm		Q2	PIF/fraturas	0	-94,9/-81,5 (V)	—	—	—	—	—

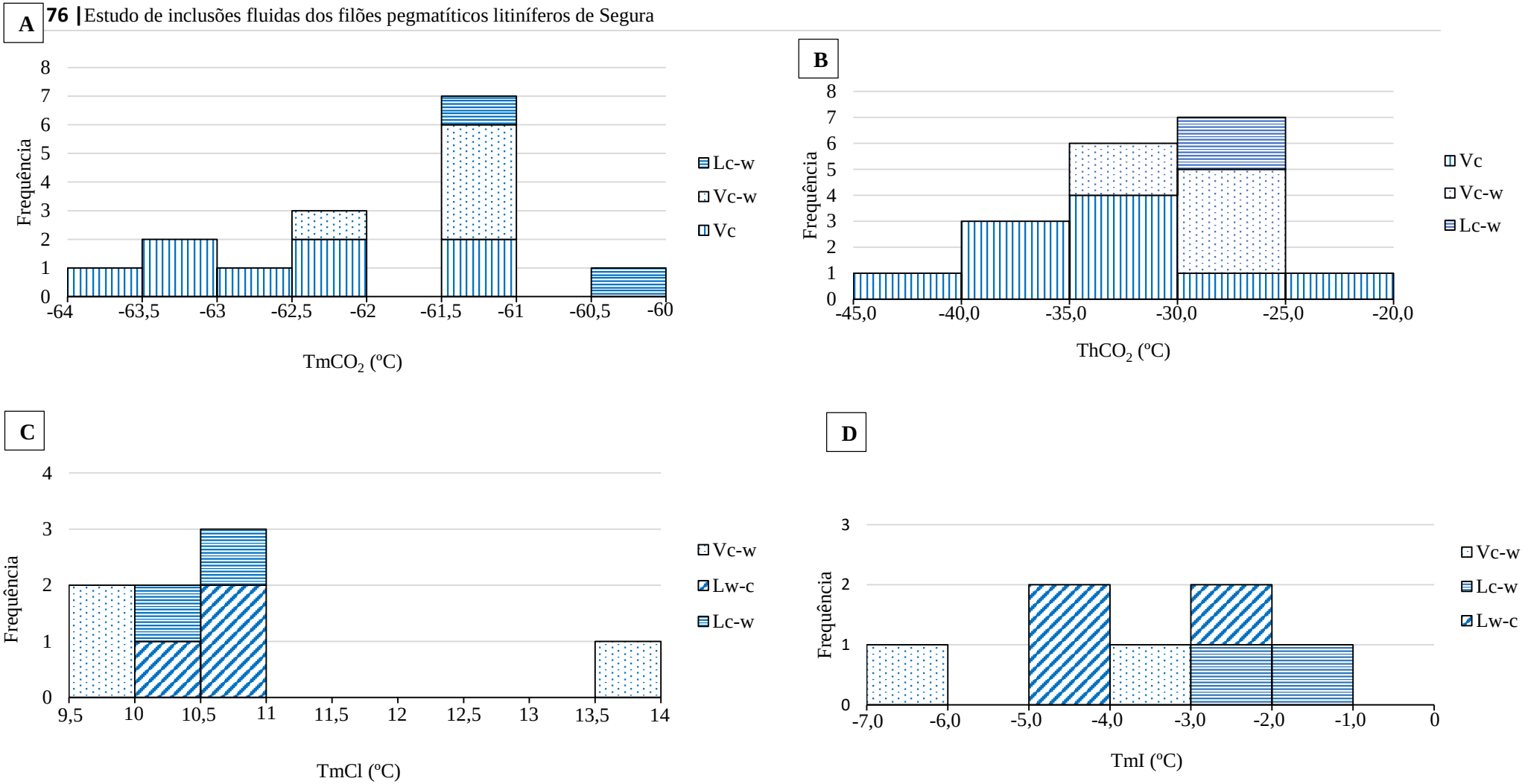


Figura 38 – Histogramas que demostram a distribuição da (A) $TmCO_2$, (B) $ThCO_2$, (C) TmCl e (D) TmI por tipologia de fluido, no quartzo Q1A.

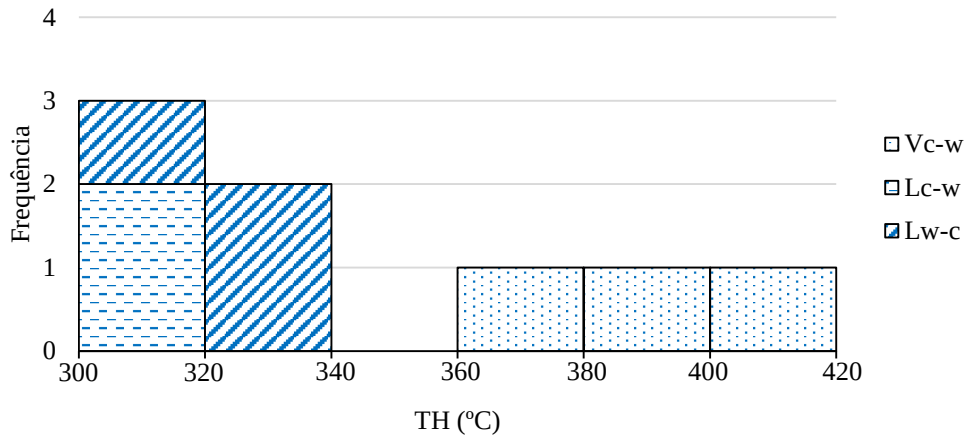


Figura 39 – Histograma com a distribuição da TH por tipologia de fluido, no quartzo Q1A.

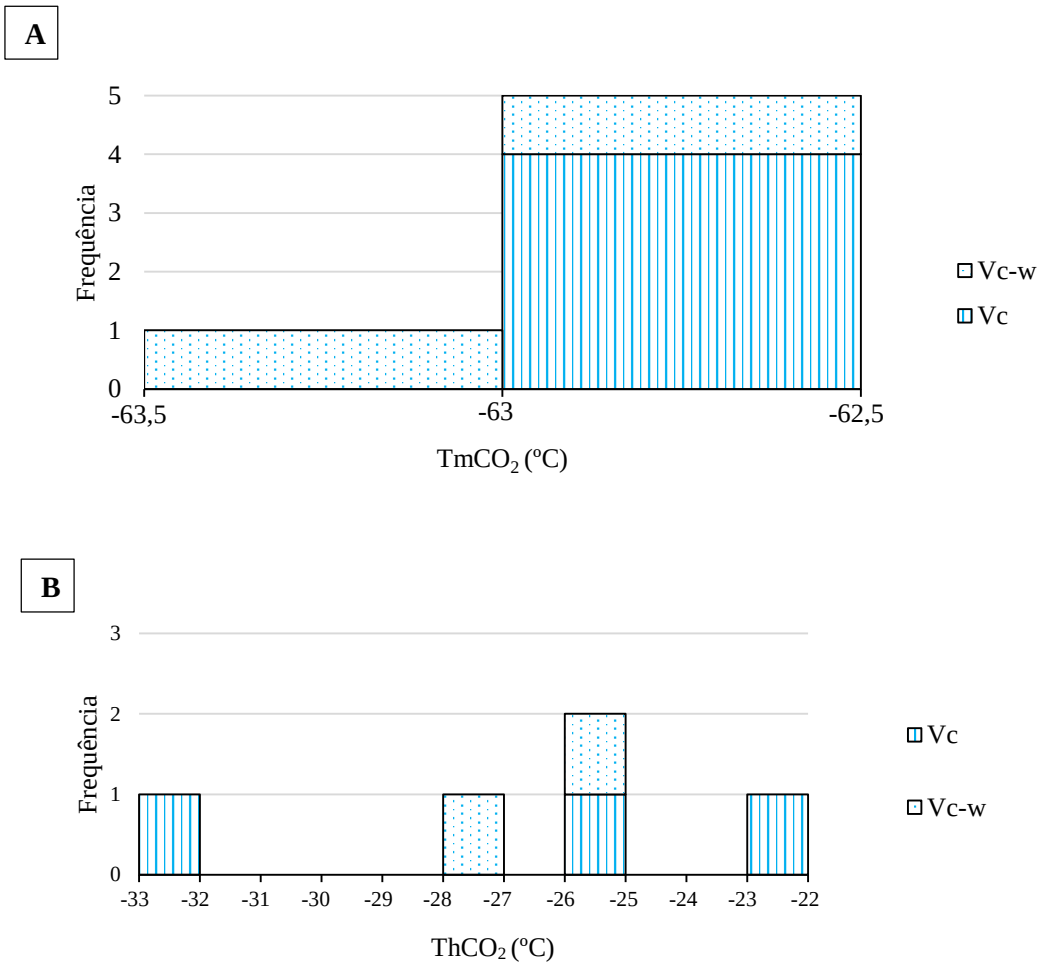


Figura 40 – Histogramas que demostram a distribuição da (A) $TmCO_2$ e (B) $ThCO_2$ por tipologia de fluido, no quartzo Q1B.

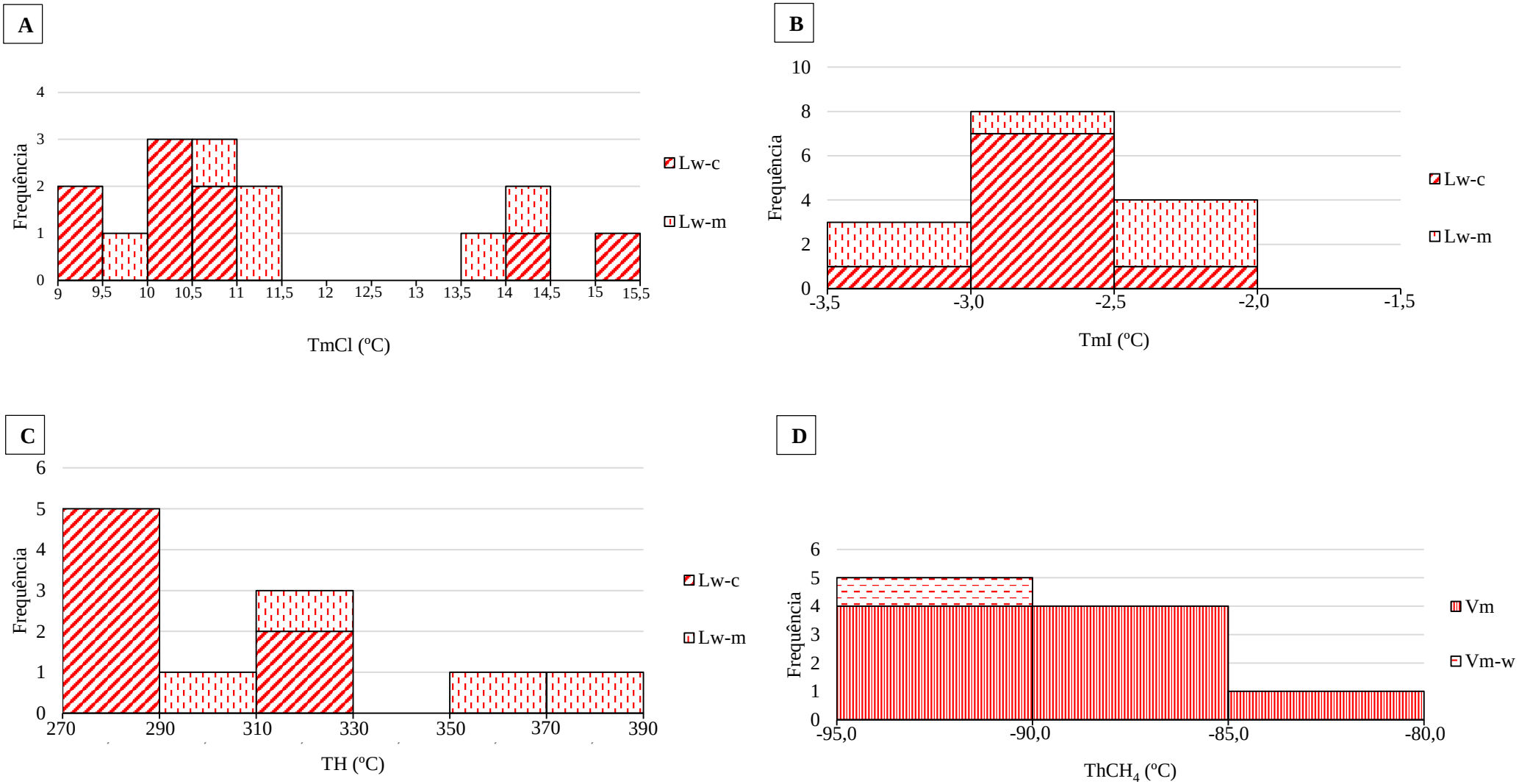


Figura 41 – Histogramas que demostram a distribuição da (A) TmCl, (B) TmI, (C) TH e (D) $ThCH_4$ por tipologia de fluido, no quartzo Q2.

6.4 Composição da fase volátil

Através da técnica de micro-espectroscopia Raman foi possível identificar e quantificar as componentes como CO_2, CH_4 e N_2 presentes nas inclusões fluidas. Durante este processo, através do programa NGSLabSpec, o laser é direcionado para a fase volátil da inclusão.

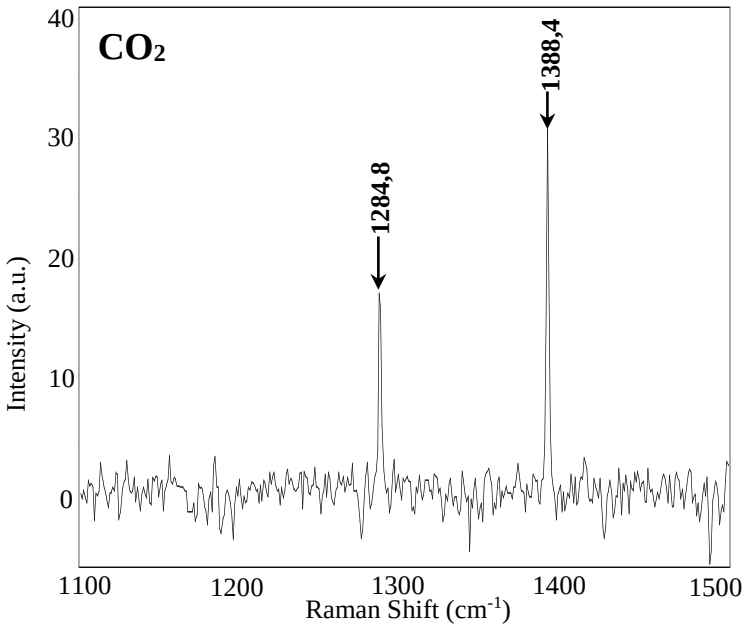
A análise Raman permitiu obter os espectros onde através do posicionamento dos picos foi possível identificar a composição da fase volátil presente nas inclusões.

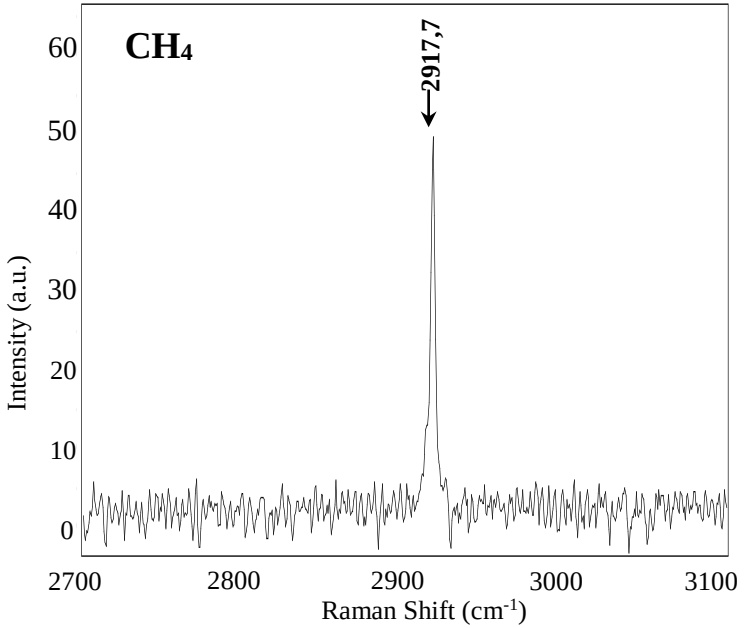
Para obter as proporções do CO_2, CH_4 e N_2 foram medidas as áreas dos seus picos segundo o programa Prieto et al. (2012). Os resultados obtidos são sintetizados na demonstração de alguns dos espectros das componentes identificadas nas diferentes tipologias de inclusões fluidas, presentes em amostras (SEG1 e SEG3) dos aplito-pegmatitos estudados (Figs. 42-43), e na Tabela 11 onde se visualizam as proporções das componentes em diferentes tipos das inclusões. De seguida, apresenta-se o diagrama triangular CO_2-CH_4-N_2 (Fig. 44), onde estão projetadas as composições da fase volátil para os fluidos que se encontram nos quartzos Q1A e Q1B e no quartzo Q2 das amostras SEG 1 e SEG 3, respetivamente.

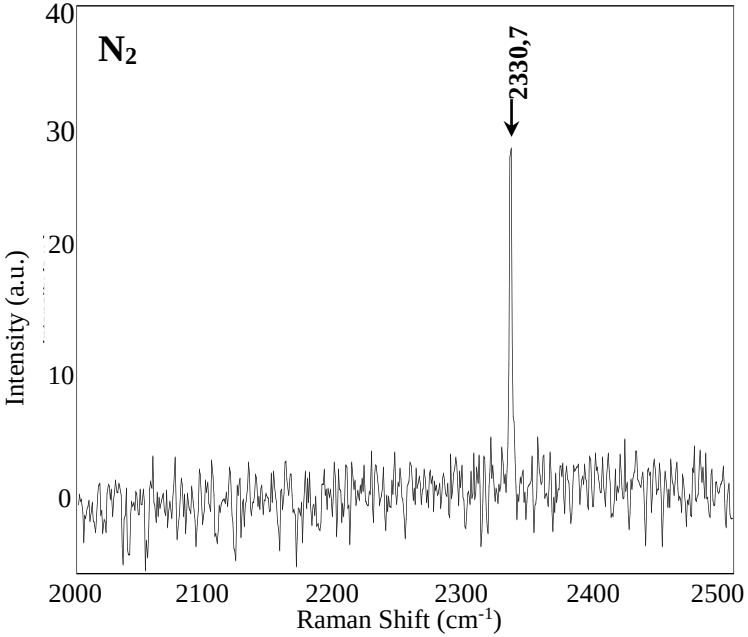
No diagrama triangular CO_2-CH_4-N_2 (Fig. 44), podemos observar que a composição da fase volátil dos fluidos carbónicos (Vc), aquo-carbónicos (Vc-w e Lc-w) e fluidos aquosos Lw-c, presentes na amostra SEG1 nos ambos tipos de quartzo (Q1A e Q1B), concentra-se na vértice do CO_2 do diagrama triangular, o que indica a sua composição dominante da fase volátil em CO_2. Observa-se que os fluidos aquosos desta amostra apresentam os valores de CO_2 ligeiramente inferiores (entre 58 e 77 moles %) comparativamente com os fluidos carbónicos com valores de 61 (como valor mínimo) e 78 (como valor máximo) moles % no quartzo Q1A e com valores de entre 76 e 85 moles % no quartzo Q1B e comparativamente com os fluidos aquo-carbónicos (Lw-c e Vc-w) que, segundo os dados obtidos, apresentam-se como os fluidos mais enriquecidos em CO_2 apresentando, no caso dos Vc-w, os valores entre 73 e 89 moles % no Q1A e valores entre 74 e 78 moles % no quartzo Q1B e, no caso dos Lc-w, apresentando os valores entre 80 e 84 moles %. Verifica-se também que esses fluidos são pobres em CH_4, apesentando as quantidades entre 3 e 22 moles % nos fluidos carbónicos no Q1A e quantidades entre 6 e

9 moles % no quartzo Q1B. Os fluidos aquo-carbónicos com valores de CH_4 entre 3 e 9 moles % no Q1B e entre 9 e 13 moles % no Q1B. Por fim, os fluidos aquosos que apresentam entre 3 e 13 moles % de CH_4. De acordo com os dados na Tabela 11 e diagrama triangular, observa-se a ligeira predominância nesses tipos de fluidos em N_2 em relação a CH_4. Verifica-se também o maior enriquecimento em N_2 e CH_4 quando o teor em CO_2 diminui. Nos fluidos aquosos registam-se os valores de N_2 que variam entre 16 e 31 moles %. Nos fluidos aquo-carbónicos do tipo Vc-w entre 5 e 22 moles % no quartzo Q1A e 13 moles % no quartzo Q1B e ainda entre 11 e 12 moles % nos fluidos Lc-w. Quanto aos fluidos carbónicos, apresentam quantidades entre 13 e 24 moles % no Q1A e entre 9 e 17 moles % no Q1B.

Passando para amostra SEG 3, no diagrama triangular observam-se os fluidos aquosos (Lw-c) com CO_2 e aquosos (Lw-m) com CH_4, aquo-carbónicos (Vm-w) e carbónicos (Vm) sem CO_2. Pode-se observar que a composição da fase volátil dos fluidos do tipo Lw-m, Vm-w e Vm, projeta-se ao longo do eixo CH_4-N_2, onde os fluidos aquo-carbónicos e carbónicos encontram-se mais próximos do vértice do CH_4 apresentando os valores que variam entre 51 e 82 moles % de CH_4 e entre 18 e 49 moles % de N_2 para Vm e 72 moles % de CH_4 e 28 moles % de N_2 para Vw-m. Os fluidos Lw-m, na maioria dos casos observados, apresentam uma proporção praticamente igual de CH_4 e N_2 na sua composição com ligeira predominância do metano, mostrando os valores do CH_4 que variam entre 53 e 79 moles % e valores de N_2 que variam entre 22 e 47 moles %. Nos fluidos aquosos Lw-c o CO_2 é dominante e apresenta valores entre 53 e 76 moles %, possui as quantidades em CH_4 ligeiramente superiores relativamente a N_2, tendo valores entre 12 e 30 moles % e N_2 entre 10 e 27 moles %. No diagrama triangular também se visualiza o enriquecimento de fluidos em CH_4 presentes no quartzo Q2 da amostra SEG 3, comparativamente com os fluidos presentes nos quartzos Q1A e Q1B da amostra SEG1, observando-se uma diminuição de quantidade em CO_2 nos fluidos aquosos do tipo Lw-c, chegando a ser nula nos fluidos do tipo Vm, Vm-w e Lw-m.







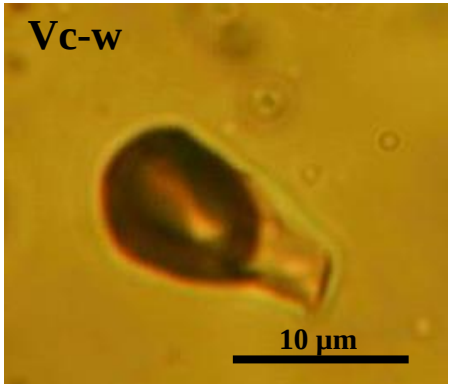


Figura 42 – Espectros de compostos como CO_2, CH_4 e N_2 com os seus respetivos picos, encontradas numa inclusão do tipo Vc-w através da técnica da espectroscopia Raman.

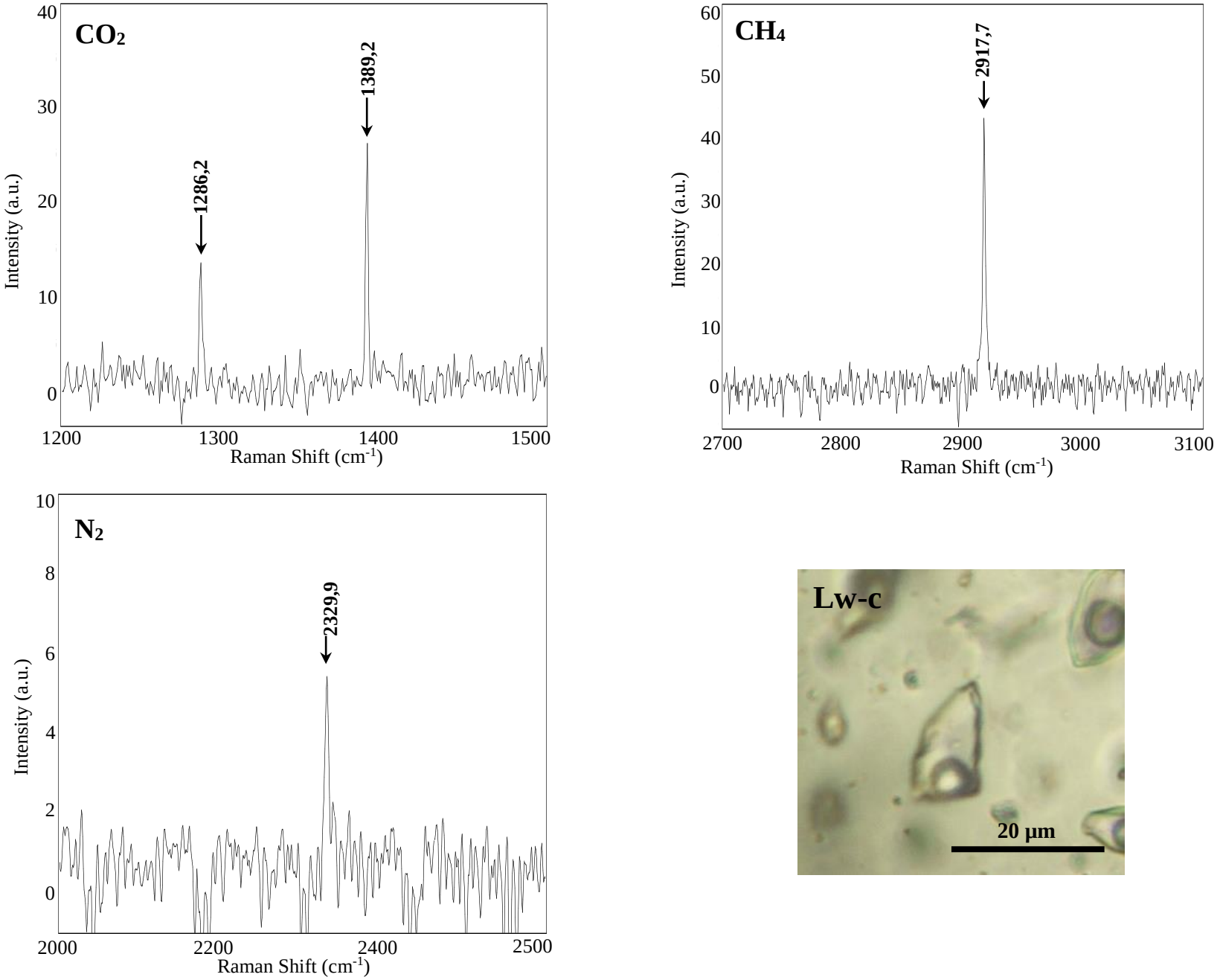


Figura 43 – Espectros de compostos como CO_2, CH_4 e N_2 com os seus respetivos picos, encontradas numa inclusão do tipo Lw-c através da técnica da espectroscopia Raman.

Tabela 11 – Registo das proporções (min/máx) de compostos como CO_2, CH_4 e N_2 expressos em mole %, presentes na fase volátil nas diferentes tipologias das inclusões encontradas em duas amostras dos dois aplito-pegmatitos (SEG 1 e SEG 3).

			Composição da fase volátil (mole %)		
	Tipo de fluido	**Tipo de quartzo**	**CO_2**	**CH_4**	**N_2**
SEG 1	**Lw-c**	Q1A	58 / 77	3 / 13	16 / 31
	Lc-w	Q1A	80 / 84	4 / 9	11 / 12
	Vc-w	Q1A	73 / 89	3 / 9	5 / 22
		Q1B	74 / 78	9 / 13	13
	Vc	Q1A	61 / 78	3 / 22	13 / 24
		Q1B	76 / 85	6 / 9	9 / 17
SEG 3	**Lw-c**	Q2	53 / 76	12 / 30	10 / 27
	Lw-m	Q2	—	53 / 78	22 / 47
	Vm-w	Q2	—	72	28
	Vm	Q2	—	73 / 82	18 / 27

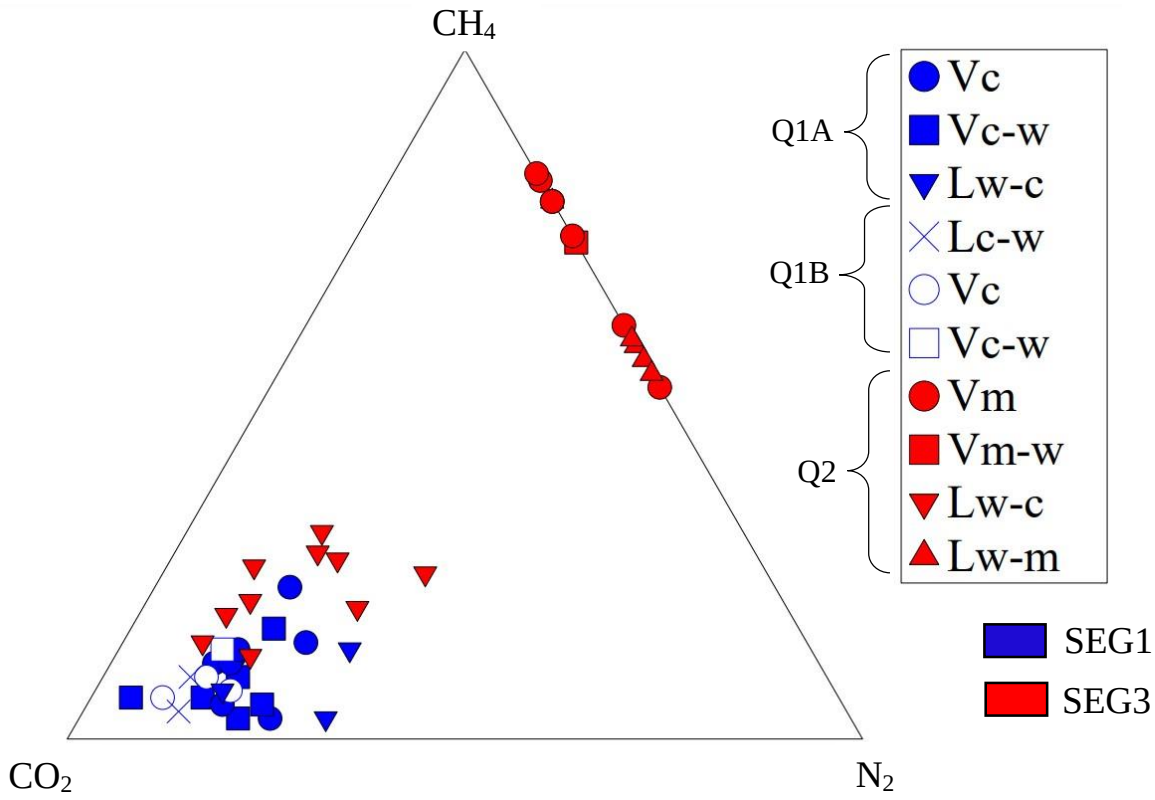


Figura 44 – Diagrama triangular CO_2-CH_4-N_2 que representa a distribuição da composição da fase volátil presente nas diferentes tipologias das inclusões nos respetivos quartzos (Q1A, Q1B e Q2) identificados nas amostras SEG 1 e SEG 3.

Com os dados obtidos na microtermometria e espectroscopia Raman, definiu-se o sistema dos fluidos presentes nas amostras SEG 1 e SEG 3. Assim, os fluidos aquosos presentes em inclusões Lw-c pertencem ao sistema H_2O-(CO_2-CH_4-N2-NaCl) e em inclusões Lw-m ao sistema H_2O-(CH_4-N_2-NaCl); os fluidos aquo-carbónicos em inclusões do tipo Vc-w fazem parte do sistema (H_2O)-CO_2-CH_4-N_2-(NaCl), Lc-w do sistema H_2O-CO_2-(CH_4-N_2-NaCl) e Vm-w do sistema (H_2O)-CH_4-N_2. Por fim, os fluidos carbónicos inclusos em inclusões fluidas do tipo Vc e Vm, que definem os sistemas CO_2-CH_4-N_2 e CH_4-N_2, respetivamente.

6.5 Composição global dos fluidos

A síntese da composição global dos fluidos encontra-se apresentada na Tabela 12 e diagrama triangular na Figura 45, cujas interpretações seguem no texto a seguir.

Fluido precoce do sistema H_2O-CO_2-(CH_4-N_2-NaCl) foi heterogeneamente aprisionado nas inclusões presentes nos quartzos hialinos Q1A e Q1B, representando:

1) fluido aquoso do sistema H_2O-(CO_2-CH_4-N_2-NaCl), presente na amostra SEG 1 no quartzo Q1A, aprisionado nas inclusões do tipo Lw-c. Estes fluidos apresentam: conteúdos em água entre 92,5 e 93,3 moles %; a fase volátil com conteúdo em CO_2 entre 4,1 e 5,1 (moles%), CH_4 entre 0,1 e 0,4 e conteúdo em N_2 entre 0,5 e 1. A salinidade (conteúdo em NaCl) apresenta valores entre 0,6 e 1,5 moles%. Esses fluidos apresentam-se como os fluidos mais densos na presente amostra com a respetiva variação da densidade entre 0,76 e 0,77 g /cc;

2) fluido aquo-carbónico do sistema (H_2O)-CO_2-CH_4-N_2-(NaCl) que ocorre em inclusões Vc-w e do sistema H_2O-CO_2-(CH_4-N_2-NaCl) em inclusões Lc-w, onde os fluidos aquo-carbónicos do tipo Vc-w têm um conteúdo em água entre 89,3 e 95,5 moles %, a fase volátil com conteúdo em CO_2 entre 2,4 e 8,2 moles %, em CH_4 entre 0,1 e 0,9 moles % e N_2 entre 0,1 e 1,6 moles % no quartzo Q1A, apresentando uma salinidade entre 1,6 e 3,1 moles %. Quanto aos fluidos da mesma tipologia mas no quartzo Q1B, os valores são próximos e apresentam de entre 92,8 e 94 moles % de água; conteúdo em CO_2 na fase volátil com valores entre 3,1 e 4,9 moles %, conteúdo em CH_4 obtido de 0,4 moles %, N_2 entre 0,4 e 0,7 moles % e a salinidade consistiu em 3,3 moles %. As inclusões aquo-carbónicas do tipo Lc-w (observadas só no quartzo Q1A) apresentam variações entre 93,1 e 93,5 moles % quanto ao conteúdo em água; a fase volátil apresenta variações entre 4,1 e 5,1 moles % de CO_2, entre 0,1 e 0,4 moles % de CH_4 e entre 0,5 e 1 moles % de N_2, apresentando uma salinidade com variação entre 1,1 e 1,2 moles %. Quanto a densidade dos fluidos aquo-carbónicos, os fluidos do sistema H_2O-CO_2-(CH_4-N_2-NaCl), apresentam-se como os mais densos, consistido numa

variação da densidade entre 0,74 e 0,76 g /cc e os fluidos do sistema (H_2O)-CO_2-CH_4-N_2-(NaCl) com uma densidade mais baixa, variando entre 0, 23 e 0,56 g /cc no Q1A e entre 0,22 e 0,58 g /cc no Q1B;

3) fluidos carbónicos do sistema CO_2-CH_4-N_2, que também aparecem em PIFs, não apresentam a fase aquosa e, consequentemente, não possuem a componente H_2O, nem a componente da salinidade no cálculo da composição global e da densidade, entrando na equação só os valores das proporções da fase volátil obtidos anteriormente. Portanto, no quartzo Q1A o CO_2 varia entre 61 e 78 moles %, o CH_4 varia entre 3 e 22 moles % e o N_2 entre 13 e 24 moles %. Nas inclusões do sistema CO_2-CH_4-N_2 mas no quartzo Q1B, o CO_2 apesenta valores entre 76 e 85 moles %, o CH_4 entre 6 e 9 moles % e o N_2 entre 9 e 17 moles %. Este tipo de fluido apresenta uma densidade muito baixa relativamente aos fluidos aquosos e fluidos aquo-carbónicos, variando entre 0,03 e 0,04 g /cc no quartzo Q1A e entre 0,04 e 0,06 g /cc no Q1B.

De acordo com os resultados obtidos na microtermometria, micro-espectrometria Raman e cálculos a partir dos programas do Bakker, os quartzos Q1A e Q1B não apresentam as diferenças consideráveis quanto a composição dos fluidos, sendo única diferença notável consistindo na ausência de fluidos aquosos do sistema H_2O-CO_2-(CH_4-N_2-NaCl) no quartzo Q1B, o que pode indicar que Q1B é um quartzo posterior à formação do quartzo Q1A.

De acordo com o diagrama triangular, observa-se a concentração dos fluidos aquosos e aquo-carbónicos próximo do vértice do H_2O, mostrando a sua composição dominante em água e, também, a sua distribuição com uma tendência para o vértice do CO_2, indicando o enriquecimento da fase volátil nessas inclusões em CO_2 relativamente aos componentes CH_4+N_2. Verifica-se também que as inclusões carbónicas, sem água, se distribuem ao longo do eixo CO_2-CH_4+N_2, sendo mais próximos ao vértice CO_2 do que ao vértice CH_4+N_2. Também se observa o ligeiro enriquecimento em CO_2 nas inclusões do tipo Vc presentes no Q1B relativamente as inclusões do tipo Vc no Q1A.

Na amostra SEG 3, quartzo Q2, os fluidos aquosos do sistema H_2O-(CO_2-CH_4-N_2-NaCl) e H_2O-(CH_4-N_2-NaCl), aprisionados nas inclusões do tipo Lw-c e Lw-m, respetivamente, são semelhantes aos fluidos precoces descritos para o quartzo Q1A, no entanto, apresentam o conteúdo em CH_4 e N_2 relativamente superior. Supõe-se que, estes fluidos terão sido modificados num contexto redutor, onde houve uma interação do fluido

precoce H_2O-CO_2-(CH_4-N_2-NaCl), anteriormente descrito, com o encaixante metassedimentar possivelmente constituído por xistos com matéria orgânica, segundo o registo estratigráfico da região em estudo. O enriquecimento em CH_4 resultou na mistura destes fluidos:

1) o primeiro mencionado apresenta na sua fase volátil cerca de entre 0,3 e 1,1 moles % de CH_4, entre 3,3 e 4,6 moles % de CO_2 e entre 0,3 e 1,3 moles % de N_2. O seu conteúdo em água é dominante e apresenta valores entre 90,3 e 93,9 moles %. A salinidade varia entre 0,6 e 1,3 moles % e a densidade entre 0,75 e 0,81 g /cc, sendo um dos fluidos mais densos na amostra. Já o fluido do sistema H_2O-(CH_4-N_2-NaCl), aprisionado nas inclusões do tipo Lw-m no quartzo hialino Q2, não apresenta o conteúdo em CO_2 na sua composição. Esses fluidos possuem o conteúdo em água entre 92, 3 e 93,9 moles % e a fase volátil contem entre 2,8 e 4,9 moles % de CH_4 e entre 1,3 e 3,1 moles % de N_2. A salinidade desses fluidos é entre 1 e 1,3 moles % e a densidade é idêntica aos fluidos aquosos anteriormente descritos, entre 0,76 e 0,78 g /cc.

2) posteriormente, foram aprisionados os fluidos aquo-carbónicos do sistema (H_2O)-CH_4-N_2 nas inclusões Vm-w e os fluidos carbónicos do sistema CH_4-N_2 nas inclusões Vm, distribuídos em PIFs possivelmente resultantes da variação de pressão (devido à fraturação) e que terá levado à sua vaporização. Nestas inclusões igualmente não foi detetado o CO_2 e não foi possível determinar a salinidade. Foi analisada só uma inclusão com o fluido pertencente ao sistema (H_2O)-CH_4-N_2 e verificou-se que, apresenta o conteúdo em água de 93,7 moles % e a fase volátil com 4,5 moles % de CH_4 e 1,8 moles % de N_2. A densidade do fluido é mais baixa relativamente aos fluidos descritos na amostra SEG 3 anteriormente, apresentando 0,32 g /cc. Os fluidos carbónicos do sistema CH_4-N_2 não possuem água na sua composição e, consequentemente, são os menos densos da presente amostra, possuindo uma densidade entre 0,2 e 0,26 g /cc. A fase volátil tem conteúdos entre 51 e 82 moles % de CH_4 e entre 18 e 49 moles % de N_2.

Quanto a amostra SEG 3, no diagrama triangular observa-se que os fluidos aquosos do tipo Lw-c e Lw-m concentram-se na vértice do H_2O e distribuem-se na proximidade

com os fluidos aquo-carbónicos e aquosos presentes na amostra SEG 1, apresentando a semelhante quantidade do conteúdo em água e com uma maior tendência lateral para o vértice CH_4+N_2, indicando o seu enriquecimento nesses componentes. Quanto aos fluidos aquosos Lw-m e fluidos aquo-carbónicos Vm-w, esses se distribuem segundo eixo H_2O-CH_4+N_2, apresentando conteúdos nulos em CO_2, conteúdos elevados em água e um maior enriquecimento em CH_4 e N_2 relativamente fluidos anteriormente descritos. Os fluidos carbónicos Vm, sendo constituídos só pela fase volátil com CH_4 e N_2, apresentam-se nos 100% do vértice CH_4+N_2.

A presença do N_2, que foi igualmente identificada em todas as inclusões analisadas, e que é mais elevada nos fluidos aprisionados no quartzo Q2 , pode resultar da alteração dos feldspatos e/ou micas existentes das rochas metassedimentares encaixantes dos pegmatitos (Chicharro et al., 2016).

Tabela 12 - Síntese dos resultados (min./máx) obtidos para a composição global das inclusões fluidas (em mole %), analisadas em amostras dos dois aplito-pegmatitos (SEG 1 e SEG 3),

				Composição global dos fluidos (mole %)					
	Tipo de fluido	**Sistema de fluido**	**Tipo de quartzo**	**H_2O**	**CO_2**	**CH_4**	**N_2**	**NaCl**	**d (g / cc)**
SEG 1	**Lw-c**	H_2O-(CO_2-CH_4-N_2-NaCl)	Q1A	92,5 / 93,3	4,1 / 5,1	0,1 / 0,4	0,5 / 1	1 / 1,2	0,76 / 0,77
	Lc-w	H_2O-CO_2-(CH_4-N_2-NaCl)	Q1A	93,1 / 93,5	4,7 / 5,3	0,1 / 0,3	0,3 / 0,4	1,1 / 1,2	0,75 / 0,76
	Vc-w	**(**H_2O**)-**CO_2-CH_4-N_2**-(**NaCl)	Q1A	89,3 / 95,5	2,4 / 8,2	0,1 / 0,9	0,1 / 1,6	1,6 / 3,1	0,23 / 0,56
			Q1B	92,8 / 94	3,1 / 4,9	0,4	0,4 / 0,7	3,3	0,22 / 0,57
	Vc	CO_2-CH_4-N_2	Q1A	—	61 / 78	3 / 22	13 / 24	—	0,03 / 0,04
			Q1B	—	76 / 85	6 / 9	9 / 17	—	0,04 / 0,06
SEG 3	**Lw-c**	H_2O-(CO_2-CH_4-N_2-NaCl)	Q2	90, 3 / 93,9	3,3 / 4,6	0,3 / 1,1	0,3 / 1,3	0,6 / 1,3	0,75 / 0,81
	Lw-m	H_2O-(CH_4-N_2-NaCl)	Q2	92, 3 / 93,9	—	2,8 / 4,9	1,3 / 3,1	1 / 1,3	0,76 / 0,78
	Vm	CH_4-N_2	Q2	—	—	73 / 82	18 / 27	—	0,2 / 0,26
	Vm-w	(H_2O)-CH_4-N_2	Q2	93,7	—	4,5	1,8	—	0,32

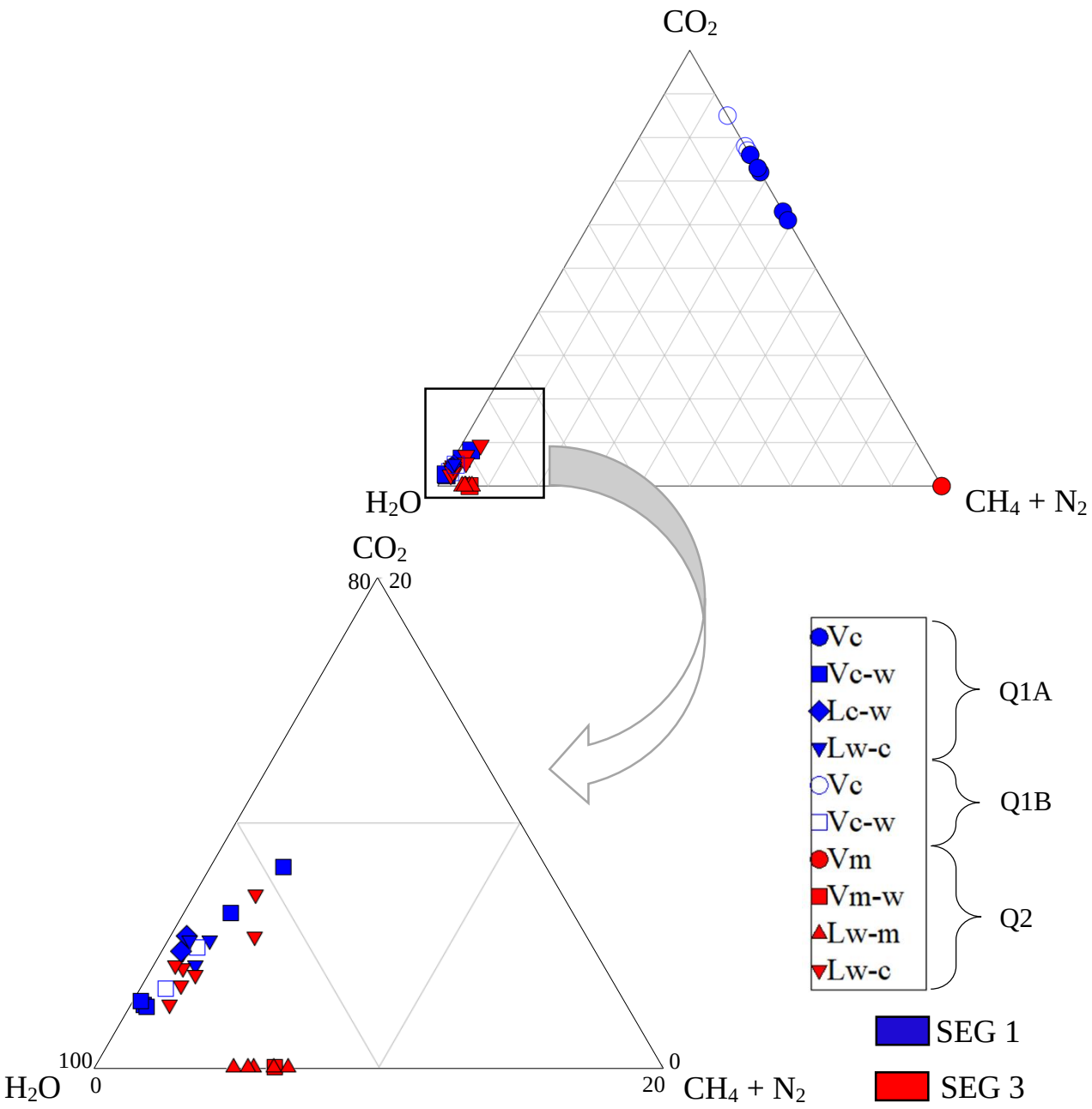


Figura 45 – Diagrama triangular H_2O-CO_2-CH_4+N_2 que representa a distribuição da composição global das diferentes tipologias das inclusões nos respetivos quartzos (Q1A, Q1B e Q2) identificados nas amostras SEG 1 e SEG 3.

6.5.1 Comparação dos dados obtidos com outros casos do estudo das inclusões fluidas em pegmatitos litiníferos

Um estudo abrangente sobre a relação petrogenética entre os maciços graníticos variscos e os aplito-pegmatitos ricos em Li-(F-P) na ZCI foi levado a cabo por Roda-Robles et al. (2018) tendo proposto a existência de uma extensa província metalogenética de Li, incluindo principalmente o ZCI na Espanha e Portugal, o Maciço Central na França, o Maciço da Boémia na República Checa e na Alemanha, os Cárpatos ocidentais na República Eslovaca e a região da Cornualha no sudoeste de Inglaterra.

Fez-se uma breve comparação de alguns estudos microtermométricos levados a cabo em estudos nos minerais dos pegmatitos litiníferos portugueses com o objetivo de comparar os resultados da microtermometria dos fluidos aprisionados nos quartzos da região de Segura com os resultados obtidos por Ramos e Noronha (1995) em Seixo Amarelo-Gonçalo, Vieira (2003) na região de Dornelas (Boticas), Freitas (2014) em Mangualde, Lima (2000), Martins (2009) e Rodrigues (2017) na região do Barroso-Alvão.

Na Tabela 13 observa-se que os quartzos estudados no presente trabalho apresentam as $TmCO_2$, TmCl e TH proximas com as das IF encontradas nos quartzos do pegmatito litinifero estudado por Lima (2000), contudo chegam a apresentar salinidade inferior e $ThCO_2$ mais baixa, chegando aos valores negativos.

Os resultados obtidos por Rodrigues (2017) que estudou as IF nos quartzos e espodumena, demonstram as tipologias de IF semelhantes aos da região de Segura, porém apresentam $TmCO_2$, $ThCO_2$ e salinidade mais altas, TmCl geralmente mais baixa e a TH medida dentro do intervalo das TH observadas nas inclusões da região de Segura.

Vieira (2003), igualmente apresenta dados da $TmCO_2$ e $ThCO_2$ mais altos e TmCl mais baixa com TH próxima aos inclusões de Segura.

Freitas (2014) identificou a tipologia do fluido aquoso Lw-m na litiofilite, que apresenta próximos Flw e TmI aos de Segura, contudo a TH ligeiramente mais baixa e a salinidade mais alta.

Martins (2009), que estudou as IF na cassiterite num filão petalítico do Barroso-Alvão, apesenta os valores próximos quanto a TmCl e TH observadas nas inclusões de

Segura, porém $TmCO_2$ e $ThCO_2$ mais altas.

Quanto aos estudos realizados por Ramos & Noronha (1995), verifica-se que fluidos aquosos mais salinos foram aprisionados nos minerais de topázio, quartzo, albite e lepidolite a temperaturas inferioriores comparativamente com os fluidos da região de Segura.

Pode-se concluir que no geral os fluidos aprisionados nos quartzos estudados na região de Segura apresentam-se com dados microtermométricos quanto a $TmCO_2$, $ThCO_2$ mais baixas, TmI e TmCl geralmente mais altas, salinidade mais baixa e TH muito similar comparativamente com os dados obtidos por outros autores nos minerais dos pegmatitos litiníferos portugueses.

Tabela 13 – Comparação dos resultados microtermométricos por valores min./máx. das inclusões fluidas encontradas nos minerais dos pegmatitos litiníferos, estudadas na região de Segura (SEG 1 e SEG 3) (presente trabalho) com os resultados de Rodrigues (2017), Freitas (2014), Martins , (2009), Vieira (2003), Lima (2000), Ramos & Noronha (1995).

SEG 1 e SEG 3 – Segura (filão litinífero); MES – Mesquitela (pegmatito com litiofilite); ALJ – Alijó (filão com espodumena); VR – Veral (filão com petalite e espodumena); ADG – Adagói (filão com petalite e espodumena); GON – Gonçalo (filão litinífero).

Trabalho	**Filão**	**Tipo de fluido**	**Mineral**	**Flw**	**$TmCO_2$**	**$ThCO_2$**	**TmCl**	**TmI**	**TH**	**Salinidade NaCl**
	SEG 1	Lw-c	Q1A	0,7	—	—	10,1/10,8	-2,8/-4,2	310/330 (L)	1 / 1,2
		Lc-w		0,7	-61/-60,3	-30/-28,5 (V)	10/10,8	-2,8/-1,5	310/320 (L)	1,1 / 1,2
		Vc-w		0,2 / 0,5	-62,6/-61,3	30,3/-25,1 (V)	3,2/13,7	—	370/415 (V)	1,6 / 3,1
			Q1B	0,2 / 0,5	-63 / -62,7	-27,5 / -25,2 (V)	—	-6,8	475 (V)	3,3
		Vc	Q1A	0	-63,8/-61,3	-45/-20,6 (V)	—	—	—	—
			Q1B	0	-63/-62,7	-32,5/-22,4 (V)	—	—	—	—
	SEG 3	Lw-c	Q2	0,7	—	—	9,2/15,2	-3,3/-2,2	275/320 (L)	0,6 / 1,3
		Lw-m		0,7	—	—	9,6/14,3	-3,3/-2	305/387 (L)	1 / 1,3
		Vm		0	—	—	—	—	—	—
		Vm-w		0,3	—	—	—	—	340 (V)	—
Rodrigues (2017)	Petalítico	Vc-w / Vc-w-s (P)	Qz hialino	0,2 / 0,9	-58,5 / -57,2	9,0 / 22,1 (V) 22,0 (C)	6,0 / 7,8	—	363/398 (V)	0 / 5,90
		Lc-w / Lc-w-s (P)		0,5 / 0,7	-57,8 / -57,2	23,1 / 24,8 (V) 21,8 / 23,1 (L)	6,3 / 7,1	—	338 / 391(L)	0 / 5,20
		Vc-w-s (P)	Esp	0,3 / 0,7	-58,4 / -57,3	17,2 / 19,9 (V)	—	-2,7	328 /355(V)	1,12 / 5,94
		Lc-w-s (P)		0,5	-57,9	19,9 (V)	—	—	319 (L)	2,56
		Lw-(m) / Lw-(m)-s (P)		0,7 / 0,8	—	—	—	-9,3 /-6,4	289 / 291(L)	3,21 / 4,47
Freitas (2014)	MES	Lw-m	litiofilite	0,7 /0,8	—	—	—	-2,1/-1,5	230/280 (L)	2,6 /3,55 eq.wt%NaCl
Martins (2009)	Petalítico	Lc-w	Cst	0,4 / 0,6	-58,6 / -56,7	16,8 / 17,1 (V)	9,2 / 10,1	—	310/ 320 (L)	—
Vieira (2003)	AL91	Lc-w / Lc-w-s	Ptl	0,35/ 0,6	-60,2 / -56,6	7,8 / 19,3 (V)	0,2 /6,8	—	320 / 350(L)	—
		Lw-c / Lw-c-s		0,4 / 0,9	—	—	-9,0 / 8,0	—	238 / 353(L)	
		Vc-w-s (P)		—	—	6,2/15,2 (V)	—	—	330/400 (V)	

(P) – primárias

Continuação da Tabela 13

Trabalho	**Filão**	**Tipo de fluido**	**Mineral**	**Flw**	**$TmCO_2$**	**$ThCO_2$**	**TmCl**	**TmI**	**TH**	**Salinidade NaCl** eq.wt%NaCl
Lima (2000)	ALJ	Vc-w-s (P)	Qz	0,4 / 0,7	-62 / -58,5	14,1 /21,7 (V)	6,7 / 10,2	-8,3 / -5	280/400 (V)	0/6
		Lc-w-s (P)			-61/60	11,4 /19 (L)			300/380 (L)	
		Lw-(m)-s (P)		—	—	12/17 (L)	—	—	—	—
		Vw-(m)-s (P)		—	—	—	—	—	—	—
	VR	Vc-w-s (P)		0,45/0,7	-60/-58,8	16/21,3 (V)	6,5/9,7	-5	290/390 (V)	0,5/6
		Lc-w-s (P)				20,5/21 (L)			345/395 (L)	
		Lw-(m)-s (P)		0,3/0,5	-61/-60	12/17 (L)	—	—	—	—
		Vw-(m)-s (P)		—	—	—	—	—	—	—
	ADG	Lc-w-s (P)		0,2/0,4	-61,3/59,6	9,7/16,7 (L)	6,2/10,5	-4	275/355 (L)	0/7
		Vc-w-s (P)				6,2/15,2 (V)			330/400 (V)	
(Ramos & Noronha, 1995)	GON		Tpz, Qz, Ab, Lpd	—	—	—	—	-5,5/-1,1	160/260	<8,54

(P) – primárias

6.6 Determinação das condições P-T

Com o objetivo de determinar as condições de pressão e temperatura de aprisionamento das inclusões fluidas nos cristais de quartzo analisados, foram construídas as isócoras com base nas proporções das componentes que constituem as inclusões e na sua densidade, indicando a sua temperatura mínima do aprisionamento (TH).

Com base nas isócoras foi calculada a média das possíveis condições mínimas e máximas do aprisionamento dos fluidos analisados no presente estudo.

Na delimitação superior das condições P-T de instalação e génese do pegmatito e, consequentemente, aprisionamento destes fluidos, utilizaram-se os dados referentes a auréola de metamorfismo de contacto provocada pela intrusão do maciço de Segura, que consistem em P = 230 MPa e TºC= 670 ºC, correspondentes à zona da silimanite + cordierite (Palin & Dyck, 2021).

As isócoras representadas na Figura 46 correspondem a todas as isócoras calculadas para as diferentes tipologias de fluidos encontrados nos quartzos Q1A e Q1B na amostra SEG 1 e no quartzo Q2 na amostra SEG 3. Nas Figuras 47 e 48, respetivamente, apresentam-se os gráficos com as isócoras calculadas para cada tipo do fluido em amostras SEG1 e SEG 3, separadamente, com a respetiva projeção das condições P-T dos fluidos aprisionados nos quartzos hialinos.

De acordo com as isócoras que se visualizam na Figura 47, que correspondem as inclusões fluidas aprisionadas no quartzo Q1A e Q1B, e de acordo com os dados obtidos quanto a sua composição, estima-se uma ocorrência dum aprisionamento heterogéneo do fluido precoce do sistema H_2O-CO_2-(CH_4-N_2-NaCl) acompanhado por uma variação de pressão. Este fluido terá sido modificado num contexto redutor, onde houve a sua interação com o encaixante metassedimentar, possivelmente constituído por xistos negros, resultando no seu enriquecimento em CH_4 e N_2. Este fluido aprisionado durante o arrefecimento isobárico, terá, por consequentes variações de pressão (devido à fraturação), sido vaporizado e aprisionado nas fraturas.

De acordo com as isócoras representadas na Figura 47, observa-se que os fluidos primários aquosos Lw-c dos quartzos Q1A e Q2 e aquo-carbónicos Lc-w do quartzo Q1A apresentam condições de pressão e temperatura próximas, sendo as inclusões do tipo Lw-c e Lc-w encontradas no Q1A com valores da pressão entre ~45 e 230 MPa e temperaturas entre 320 e 480 ºC. As inclusões do tipo Lw-c, presentes no Q2, apresentam os valores

de P e TºC semelhantes a estes. Sendo esses mais enriquecidos em CH_4, assume-se que, são posteriores relativamente aos fluidos do tipo Lw-c e Lc-w encontrados no quartzo Q1A, que por sua vez são mais ricos em CO_2. Esse fluido original sofreu uma reação com o encaixante metapelítico e carbonoso que levou ao seu enriquecimento em CH_4 e N_2. Os fluidos aprisionados nas inclusões Lw-m no quartzo Q2, onde se observa a perda total do CO_2, ter-se-ão formado a pressões entre 120 e 230 MPa e temperaturas entre 340 e 420 ºC.

Nos fluidos aquo-carbónicos do tipo Vc-w e Vc observa-se o abaixamento da pressão no momento do seu aprisionamento nos quartzos Q1A e Q1B. Verifica-se uma relação entre o abaixamento das condições de pressão e temperatura, ao longo do seu aprisionamento, com a diminuição do seu conteúdo em água.

Porém apesar do quartzo Q1A e Q1B apresentarem diferenças óticas e petrográficas, a análise composicional e a projeção isocórica dos seus fluidos não apresenta diferenças significativas, o que indica que o seu desenvolvimento foi em simultâneo aquando aprisionamento dos fluidos.

Quanto aos fluidos aquo-carbónicos e carbónicos tardios do tipo Vm-w e Vm, respetivamente, presentes no Q2, estima-se que o seu aprisionamento foi efetuado por vaporização, onde as inclusões do tipo Vm-w foram aprisionadas em condições da pressão de 25 e 100 MPa e temperatura entre 340 e 600 ºC, e as inclusões Vm foram aprisionadas entre as pressões de 45 e 110 MPa e temperaturas entre 315 e 600 ºC.

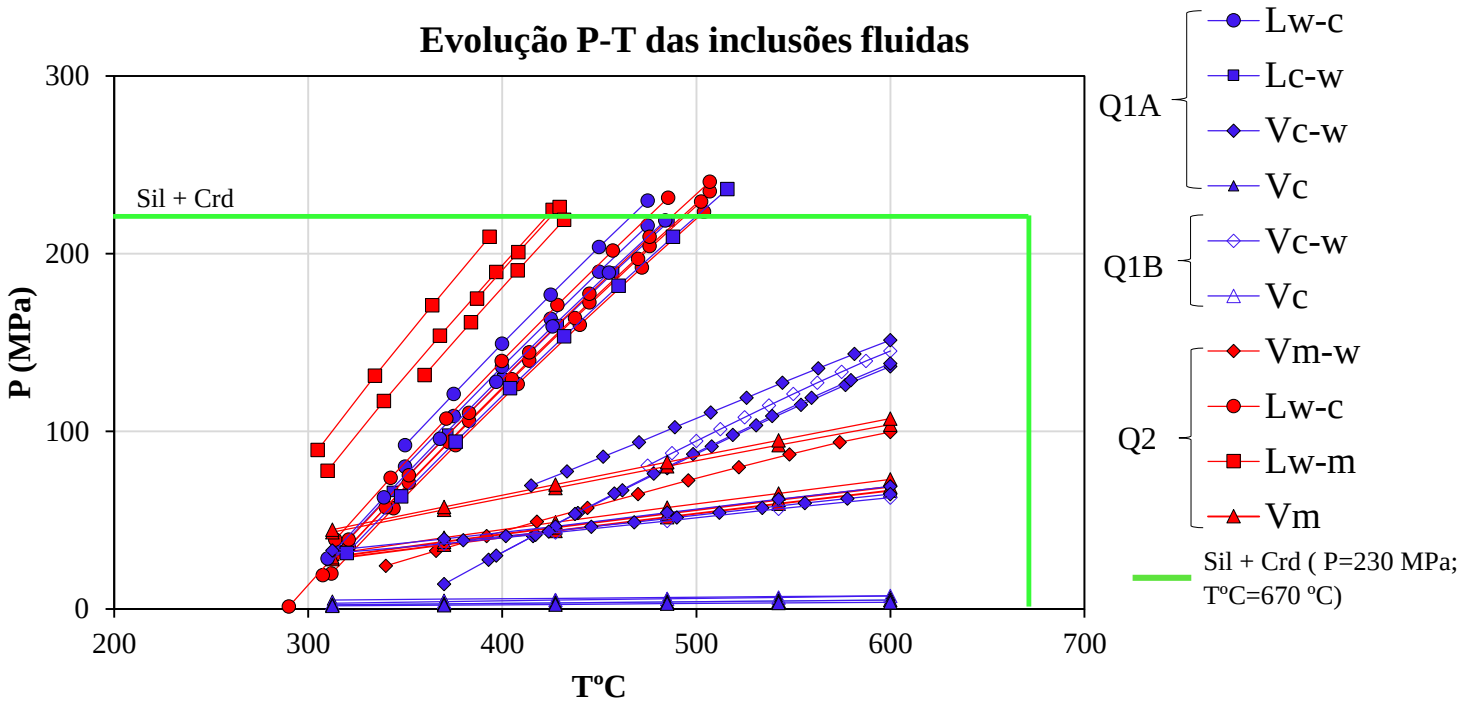


Figura 46 – Gráfico P-T com a projeção das isócoras totais das diferentes tipologias dos fluidos presentes nos quartzos Q1A, Q1B e Q2, num enquadramento das condições P-T abaixo da zona silimanite + cordierite (delimitada a verde).

Evolução P-T das inclusões fluidas no quartzo Q1A e Q1B

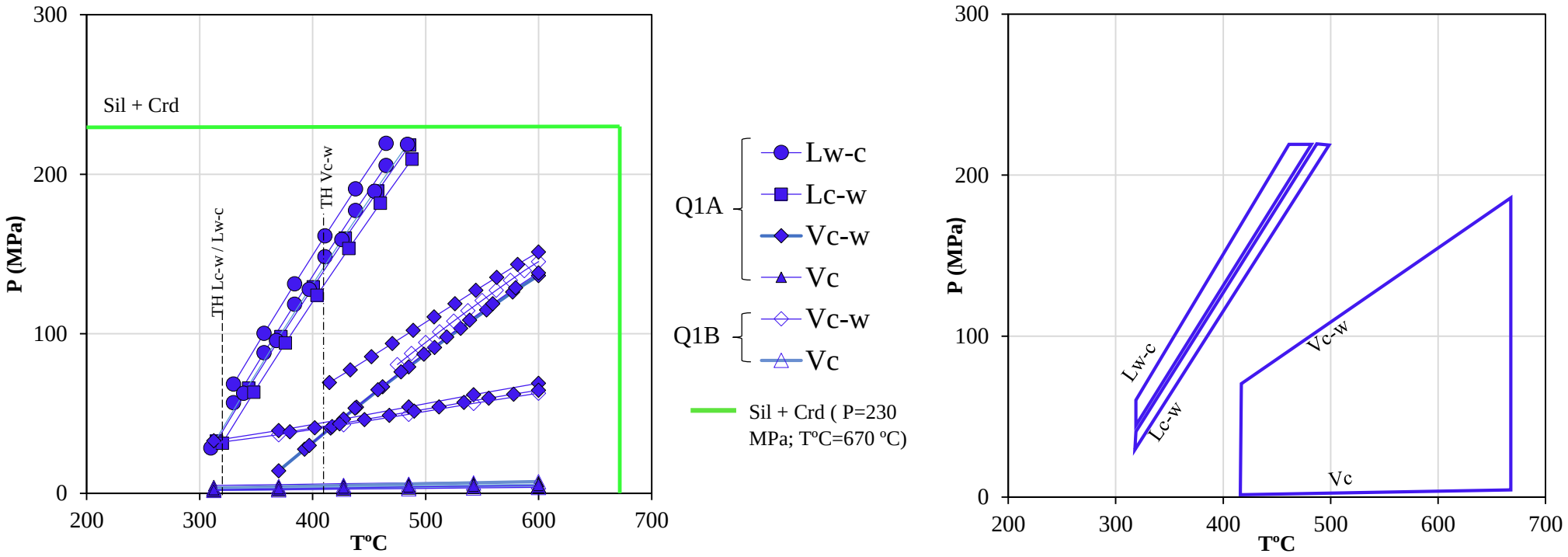


Figura 47 – À esquerda encontra-se o gráfico P-T com a projeção das isócoras das diferentes tipologias dos fluidos encontrados nos quartzos Q1A e Q1B, num enquadramento das condições P-T abaixo da zona silimanite + cordierite (delimitada a verde). À direita, encontra-se a projeção das condições P-T dos fluidos aprisionados nos quartzos Q1A e Q1B.

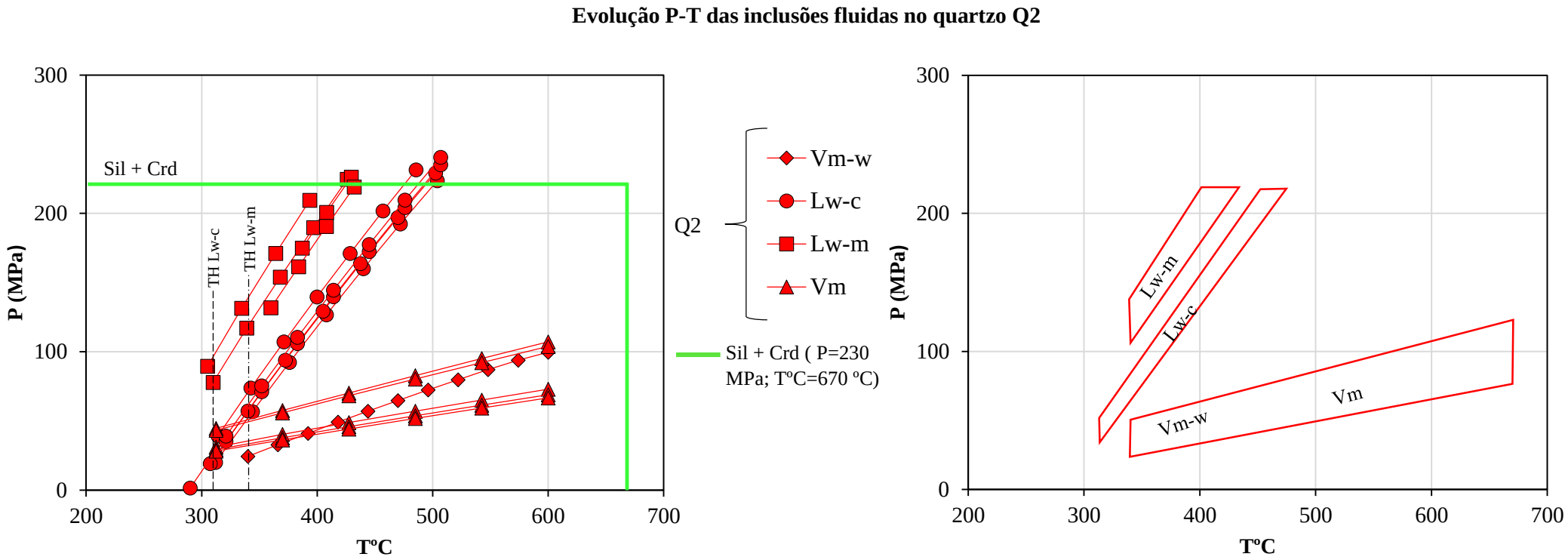


Figura 48 – À esquerda encontra-se o gráfico P-T com a projeção das isócoras das diferentes tipologias dos fluidos encontrados no quartzo Q2, num enquadramento das condições P-T abaixo da zona silimanite + cordierite (delimitada a verde). À direita, encontra-se a projeção das condições P-T dos fluidos aprisionados no quartzo Q2.

7 Conclusões

Os aplito-pegmatitos litiníferos descritos no presente trabalho encontram-se situados a Norte (amostras SEG 3 e SEG 5) e a Sul (amostras SEG 1 e SEG 2) do maciço de Segura, nas formações do Grupo das Beiras de Rosmaninhal e Malpica do Tejo, respetivamente.

Mineralogicamente são de grão fino, constituídos maioritariamente por albite e, também, feldspato potássico, quartzo e micas, tendo no pegmatito SEG 2 sido observada uma frequente albitização dos feldspatos. A mineralogia apresenta ligeiras diferenças em minerais acessórios, tendo o aplito-pegmatito SEG 2 a turmalina poicilítica da variedade schorl, topázio, fluorapatite de diferentes gerações, e o aplito-pegmatito SEG 5 tendo fosfatos de alumínio de ferro e de manganês, minerais da serie ambligonite-montebrasite com o fino intercrescimento da lacroixite na sua estrutura, minerais da série souzalite-gormanite, apatite e columbo-tantalite. Ambos dos aplito-pegmatitos apresentaram-se enriquecidos em fosfatos. Não foi possível provar a presença da lepidolite devido a semelhança ótica e idêntico espectro Raman com a moscovite, contudo, nos estudos anteriores pela Antunes. (2010), foi determinada a substituição da moscovite pela lepidolite nos aplito-pegmatitos de Segura.

No estudo das inclusões fluidas foram verificados três tipos de quartzo hialinos: quartzo de grande dimensão e muito fraturado (Q1A) e quartzo em mosaico com subgranulaçao e fraca recristalização dos bordos (Q1B) no aplito-pegmatito SEG 1 e quartzo Q2 xenomórfico e com recristalização dos bordos no aplito-pegmatito SEG 3.

Nos quartzos Q1A e Q1B ocorre o que parece ser o aprisionamento heterogéneo de fluidos precoces do sistema H_2O-CO_2-(CH_4-N_2-NaCl) com composição de entre 89,3 e 95,5 moles % de H_2O; 2,4 e 8,2 moles % de CO_2; 0,1 e 0,9 moles % de CH_4; 0,1 e 1,6 moles % de N_2 e 1 e 3,3 moles % de NaCl. A contaminação desse fluido devido a reação com o encaixante, possivelmente grafitoso, fez com que ocorresse um enriquecimento em CH_4 e N_2 resultando assim num fluido H_2O-(CO_2)-CH_4-N_2-NaCl. Esse fluido possui composições entre 90, 3 e 93,9 moles % de H_2O; 0 e 4,6 moles % de CO_2; 0,3 e 4,9 moles % de CH_4; 0,3 e 3,1 moles % de N_2 e 0,6 e 1,3 moles % de NaCl. De acordo com a composição dos fluidos verifica-se que, ambos dos fluidos são muito ricos em água e possuem salinidade baixa.

Estes quartzos ter-se-ão formado a pressões inferiores a 230 MPa e temperaturas superiores a 320 ºC.

Como o estudo foi feito baseando-se só numa amostra por cada aplito-pegmatito analisado, sugere-se no futuro o estudo de um maior número de amostras e, se possível, uma colheita de amostras num mesmo filão (do seu encaixante para o centro) para determinar com mais precisão a história da cristalização destes filões.

8 Referências

Antunes, I. M. (1999). *"Impacte ambiental de antigas explorações mineiras na região de Segura". Tese de Mestrado na Universidade de Coimbra.*

Antunes, I. M. (2001). Geologia e impactes ambientais na região de Segura. *Geonovas, nº 15*, 113-123.

Antunes, I. M., Neiva, A. M., & Silva, M. M. (2002). The mineralized veins and the impact of old mine workings on the environment at Segura, central Portugal. *Chem. Geol., 190*, 417–431.

Antunes, I. M., Neiva, A. M., & Silva, M. M. (2003). CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DE MINERAIS DE JAZIGOS DA REGIÃO DE SEGURA (CASTELO BRANCO). Em M. Portugal Ferreira, *A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos* (Vol. 2, pp. 157-168). Coimbra.

Antunes, I. M., Neiva, A. M., & Silva, M. M. (2007). Geochemistry of minerals from Li-bearing granitic aplite-pegmatite veins of Segura area (Castelo Branco, Portugal). *Granitic pegmatites: The State of the Art*, pp. 28-29.

Antunes, I. M., Neiva, A. M., Ramos, J. M., Silva, P. B., Silva, M. M., & Corfu, F. (2013). Petrogenetic links between lepidolite-subtype aplite-pegmatite, aplite veins. *Chemie der Erde, 73*, 323-341.

Antunes, I., Neiva, A., Silva, M., & Silva, P. B. (2010). MINERALOGIA DOS FILÕES APLITO-PEGMATÍTICOS LITINÍFEROS. *Ciências Geológicas – Ensino e Investigação e sua História, I*, 3-14.

Bakker, R. J. (2003). Package FLUIDS 1. Computer programs for analysis of fluid inclusion data and for modelling bulk fluid properties. *Chemical Geology*, *194*, 3-23.

Beurlen, H., Marcelo, R. R., & Castro, S. (2001). Fluid inclusions in Be-Ta (Li-Sn)-bearing pegmatites from the Borborema Province, Northeast Brazil. *Chem. Geo., 173*, 107-123.

Bodnar, R. J. (2003). *Reequilibration of fluid inclusions.* (Vol. 32). (I. Samson, A. Anderson, & D. Marshall, Edits.) Fluid Inclusions: Analysis and Interpretation. Mineral. Assoc. Canada, Short Course.

Boiron, M. C., & Dubessy, J. (1998). Microanalytical Techniques for the determination of paleofluid inclusion. *Geologos, 3*.

Boiron, M. C., Essarraj, S., Sellier, E., Cathelineau, M., Lespinasse, M., & Poty, B. (1992). Identification of fluid inclusions in relation to their host microstructural domains in quartz by cathodoluminescence. *Geochim. Cosmochim., Acta 56*, 175-185.

Buddington, A. F. (1959). Granite emplacement with special reference to North America. *Geol. Soc. Am., Bull., 70*, 671-747.

Cameron, E. N., Jahns, R. H., McNair, A. H., & Page, L. R. (1949). Internal structure of granitic pegmatites. *Economic Geology Monographs, 2*, 115.

Cathelineau, M., Boiron, M. C., Essaraj, S., Dubessy, J., Lespinasse, M., & Poty, B. (1993 b). Fluid pression variations in relation to multistage deformation and uplift: a fluid inclusion study of Au quartz veins. *Eur. J. Mineral, 5*, 107-121.

Cerný, P. (1991 a). Rare-element granitic pegmatites. Part 1: Anatomy and internal evolution of pegmatite deposits. Part 2: Regional to global environments and petrogenesis. *Geosci. Canada, 18*, 49-81.

Cerný, P. (1991 b). Rare-element granite pegmatites. Part II: Regional to global environments and petrogenesis. *Geoscience Canada, 18*, 49-67.

Černý, P. (1992). Geochemical and petrogenetic features of mineralization in rare-element granitic pegmatites in the light of current research. *Appl. Geochem., 7*, 393-426.

Černý, P. M., Massau, M., Goad, B.E., Ferreira, K. (2005). The Greer Lake leucogranite, Manitoba, and the origin of lepidolitesubtype granitic pegmatites. *Lithos, 80*, 305-321.

Cerny, P., & Ecrit, T. (2005). The classification of granitic pegmatites revisited. *Can. Mineral., 43*, 2005–2026.

Chicharro , E., Boiron, M. C., López-García, J. A., & Barfod, D. N. (2016). Origin ore forming fuid evolution and timing of the Logrosán Sn-(W) ore deposits (Central Iberian zone, Spain). *Ore Geology Reviews, 72*, 896–913.

Cotelo Neiva, J. M. (2006). Estruturas de aplitos e pegmatitos graníticos. Em J. Mirão, & A. Balbino (Edits.), *VII Cong. Nac. Geol.* (pp. 1149-1155). Estremoz.

Direcção-Geral de Energia e Geologia. (2013). Boletim das minas. Em Silva, P. H. Cabral, J. Cruz, J. S. Pereira, G. Correia, M. J. Sobreiro, & P. Dinis (Edits.), *A Litostratigrafia e Estrutura do Supergrupo Dúrico-Beirão (Complexo Xisto-Grauváquico), em Portugal, e sua correlação com as correspondentes sucessões em Espanha* (Vol. 48, pp. 91-176). Lisboa.

Freitas, M. (2014). *Fluidos hidrotermais em pegmatitos graníticos.* Tese de mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Porto.

Ginsburg, A. I., & Rodionov, G. G. (1960). On the depth of formation of granitic pegmatites. *Geol. Rudn. Mestorozhd.*, 45-54.

Ginsburg, A. I., Timofeyev, L. N., & Feldman, L. G. (1979). *Principles of geology of the granitic pegmatites.* Nedra, Moscow.

Goldstein, R. H., & Reynolds, T. J. (1994). *SYSTEMATICS OF FLUID INCLUSIONS IN DIAGENETIC MINERALS.* Unitaded States of America: SEPM (Society for Sedimentary Geology).

Hoyer, I., Souza, V., & Debowsky, B. (2020). Aquamarine from Massangana batholith, Rondônia State: mineral chemistry and fluid inclusion data. *Rem Revista Escola de Minas, 73*, 319-327.

Inverno, C. M., Oliveira, D. P., & Rodrigues, L. V. (2007). *Inventariação e prospeçãode terras raras nas regiões fronteiriças da Beira Baixa e do Norte Alentejo.* Relatório final do projeto.

Jahns, R. H. (1955). The study of pegmatites. *Econ. Geol., 50*, 1025-1130.

Jahns, R. H. (1982). Internal evolution of pegmatite bodies. Em P. Cerny, *Mineral Assoc. Can. Short Course Handbook.* (Vol. 8, pp. 293-327).

Jahns, R. H., & Burnham, C. W. (1969). Experimental studies of pegmatite genesis: I. A model for the derivation and crystallization. *Econ. Geol., 64*, 843-864.

Jahns, R. H., & Tuttle , O. F. (1963). Layered pegmatite-aplite intrusives. *Min. Soc. Amer. Special Paper, 1*, 78-92.

Kloprogge, J. T. (2017). Infrared and Raman Spectroscopy of Minerals and Inorganic Materials. Em *Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry* (3 ed., pp. 267-281). The University of Queensland, Brisbane, QLD, Australia.

Leal Gomes. (2006). Paragenetic analysis of state transition and paroxysmal evolution in granitic pegmatite systems of Central-Iberian Pegmatite Belt – structural,. Em B. A. Mirão J., *Proceedings from VII National Geological Congress.* (pp. 1169–1175). Estremoz, Portugal.

Lima, A. (2000). *Estrutura, Mineralogia e Génese dos Filões Aplitopegmatíticos com Espodumena da Região Barroso-Alvão.* Tese de doutoramento, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto , Departamento de Geologia - Centro de Geologia, Porto.

London, D. (1992). The application of experimental petrology to the genesis and crystallization of granitic pegmatites. *Can. Mineral, 30*, 499-540.

London, D. (2005). Geochemistry of alkali and alkaline earth elements in Ore-forming granites, pegmatites and rhyolites. Em L. Linnen, & I. M. Sampson (Edits.), *Rare Element Chemistry and Mineral Deposits* (pp. 175-199).

London, D. (2008). Pegmatites. *Can. Mineral., Sp publ., 10*, 347.

London, D. (2021). Pegmatites. Em D. Alderton , & S. A. Elias, *Encyclopedia of Geology (Second Edition)* (pp. 184-195). Academic Press.

Martins , T. (2009). *Multidisciplinary study of pegmatites and associated Li and Sn-Nb-Ta mineralisation from the Barroso-Alvão region.* Tese de Doutoramento , Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Departamento de Geologia.

Noronha, F. (1998). O estudo das inclusões fluidas. *GEOlogos, 3*, 3-8.

Palin, R. M., & Dyck, B. (2021). Metamorphism of Pelitic (Al-Rich) Rocks. Em D. Alderton, & S. A. Elias, *Encyclopedia of Geology (Second Edition)* (Vol. 2, pp. 445-456). Academic Press.

Prieto, A. C., Guedes, A., Dória, A., & Noronha, F. (2003). DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE FASES GASEOSAS EN INCLUSIONES FLUIDAS MEDIANTE ESPECTROSCOPIA MICRORAMAN. *IV CONGRESSO IBÉRICO DE GEOQUÍMICA.* Coimbra.

Prieto, A. C., Guedes, A., Dória, A., Noronha, F., & Jiménez, J. (2012). Quantitative determination of gaseous phase compositions in fluid inclusions by Raman microspectrometry. *Spectroscopy Letters, 45*, 156-160.

Ramos, J. M. (2000). Prefácio. Estudos, Notas e Trabalhos, T. 42. I-IV. Instituto Geológico e Mineiro.

Ramos, J. M., & Noronha, F. (1995). Condições de deposição da fase litinífera principal no campo filoniano aplitopegmatítico de Seixo Amarelo - Gonçalo. *Memória, 4*, 599-604.

Ribeiro, A., & Pereira, E. (1982). Controles paleogeográficos, petrológicose estruturaisna génesedos jazigos portuguesesde estanho e volfrâmio. *Geonovas, 1/3*, 23-31.

Roda-Robles, E., Villaseca, C., Pesquera, A., Gil-Crespo, P. P., Vieira, R., Lima, A., & Garate-Olave, I. (2018). Petrogenetic relationships between Variscan granitoids and Li-(F-P)-rich aplite-pegmatites in the Central Iberian Zone: Geological and geochemical constraints and implications for other regions from the European Variscides. *Ore Geology Reviews, 95*, 408-430.

Rodrigues, M. (2017). *Estudo de inclusões fluidas num pegmatito litinífero da região de Covas do Barroso.* Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Porto.

Roedder, E. (1976). Fluid inclusion evidence on the genesis of ores in sedimentary and volcanic rocks. Em K. H. Wolf, *Handbook of Stratabound and Stratiform Ore Deposits* (Vol. 2, pp. 67-110). Amsterdam .

Roedder, E. (1979). Fluid inclusions samples of ore fluids. Em H. L. Barnes (Ed.), *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits.* (pp. 684-737). New York.

Roedder, E. (1984). The fluids in salt. *American Mineralogist, 69*, 413-439.

Romão, J. (1991 a). A Geologia compreendida entre a serra do Moradal e o Rio Erges. Trabalho apresentado a concurso de assistente de investigação da Dir. Geral Geol. Min., Rel. inéd. Serv. Geol. de Portugal.

Romão, J. (1991 b). Litostratigrafia e tectónica do CXG entre a serra do Moradal e Rio Erges. *XI Reunión de Geologia del Oeste Peninsular.* Huelva.

Romão, J. (1994). Litoestratigrafia e tectónica do Grupo das Beiras (Complexo Xisto-Grauváquico) entre o Rio Erges e a Serra do Moradal. Em *Boletin Geológico y Minero de España* (Vol. 105, pp. 521-530).

Romão, J. (2000). *Estudo tectono-estratigráfico de um segmento do bordo SW da Zona Centro-Ibérica e as suas relações com a Zona de Ossa-Morena.* Tese de Doutoramento apresentada à Fac. Ciênc. Univ. Lisboa, Lisboa.

Romão, J., Cunha, P., Pereira, A., Dias, R., Cabral, J., & Ribeiro, A. (2010). *Notíca explicativa das folhas 25-C; 25-D; 29-A Rosmaninhal Segura Retorta (setor norte).* Laboratório nacional de energia e geologia. Lisboa.

Sequeira, A. (1993). Provável discordância intra - Grupo das Beiras na região entre Monfortinho e Idanha-a-Velha. *XII Reunião de Geologia do Oeste Peninsular, I,* pp. 41-52.

Sequeira, A., & Cunha, P. P. (1996). Carta geológica de Portugal na escala 1/50 000 da folha 25-B (Salvaterra do Extremo). Inst. Geol. e Mineiro, Lisboa.

Sequeira, A., Cunha, P. P., & Ribeiro, M. L. (1999). *Notícia explicativa da folha 25-B (Salvaterra do Extremo), da carta geológica de Portugal na escala 1/50 000.* Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa.

Shepherd, T. J., Rankin, A. H., & Alderton, D. H. (1985). *A practical guide to fluid inclusion studies.* Glasgow and London: Blackie & Son Ltd.

Shirose , Y., & Uehara, S. (2018). Microtexture investigation of amblygonite–montebrasite series with lacroixite: Characteristics and formation process in pegmatites. *American Mineralogist, 103*, 75–84.

Silva, A. (2000). *Litostratigrafia e Estrutura do Supergrupo Dúrico-Beirão (Complexo Xisto-Grauváquico),*. Rel. Inéd. Inst. Nac. Eng. Tec. Inov. (INETI) /Lab. Nac. Energ. Geol. (LNEG), Lisboa.

Simmons, W. B., & Webber, K. L. (2008). Pegmatite genesis: state of the art. *European Journal of Mineralogy, 20,* 421-438.

Sousa, R., Ramos, V., Guedes, A., Botelho de Sousa, A., Noronha, F., & Leite, M. (2019). Flotation of lithium ores to obtain high-grade Li2O concentrates. Are there any mineralogical limitations? *International Journal of Mining, Materials, and Metallurgical Engineering (IJMMME), 5*, 7-18.

Spooner, E. T. (1981). Fluid inclusion studies of hydrothermal ore deposits. Em L. S. Hollister, & M. L. Crawford, *Short Course in Fluid Inclusion: Applications to Petrology.* (Vol. 6, pp. 209-240). Mineralogical Association of Canada.

Thadeu, D. (1951). Geologia e jazigos de chumbo e zinco da Beira Baixa. *Boletim Sociedade Geológica Portugal, IX*, 1-44.

Tuttle, O. F. (1949). Structural petrology of planes of liquid inclusions,. *J. Geol., 57*, 331-356.

Vieira, R. (2003). *Estudos preliminares para caracterização dos filões aplitopegmatíticos na região de Dornelas (Boticas) (Relatório de Estágio Profissionalizante, não publicado).* Universidade do Porto, Porto.

ANEXOS

Anexo 1 – Tabela com os resultados gerais da petrografia, microtermometria, cálculo da composição global obtida através micro-espectrometria Raman e cálculo da composição global a partir dos programas Bakker et al. (2003), das todas inclusões representativas analisadas nos quartzos hialinos dos aplito-pegmatitos de Segura SEG 1 e SEG 3.

Petrografia						Microtermometria									Composição da fase volátil (mole %)			Composição global (mole %)					
Amostra	**Zona**	**Tipo de quartzo**	**Flw**	**Nome/incl.**	**Ocorrência**	**$ThCH_4$**	**$TmCO_2$**	**TmI**	**TmCl**	**$ThCO_2$**	**Modo**	**TH**	**Modo**	**Tipo de IF**	**CO_2**	**CH_4**	**N_2**	**H_2O**	**CO_2**	**CH_4**	**N_2**	**NaCl**	**d**
SEG1-1	z5	Q1A		i	grupo?		-61.3			-31.5	V			Vc	73	3	24		73	3	24		0.04
		Q1A	0.5	i1	isolada		-61.3	-3.2	10	-29.3	V	370	V	Vc-w	80	6	14	95.5	2.5	0.1	0.3	1.6	0.54
		Q1A	0.2	o	grupo		-61.4			-31.4	V			Vc-w	77	3	20	92.1	6.3	0.2	1.4		0.23
		Q1A	0.5	s	isolada		-61.5	-6.2	3.2	-30.3	V	397	V	Vc-w	73	5	22	94	2.4	0.1	0.4	3.1	0.56
		Q1A		u1	grupo		-62.5			-31.8	V			Vc	73	12	15		73	12	15		0.04
		Q1A		u2	grupo		-63			-31.4	V			Vc	76	11	13		76	11	13		0.04
		Q1A		u3	grupo		-61.4			-29.3	V			Vc	78	5	17		78	5	17		0.04
		Q1A	0.2	v	grupo		-62.3			-25.1	V			Vc-w	74	9	17	89.3	8.2	0.9	1.6		0.25
		Q1A		13	pif		-63.3			-38.5	V			Vc	74	11	15		74	11	15		0.03
		Q1A		14	pif		-63.3			-39	V			Vc	63	14	23		63	14	23		0.03
		Q1A	0.7	15	grupo			-4	10.1			≈330	L	Lw-c	58	13	29	93.3	4.1	0.4	1	1.2	0.76
		Q1A	0.7	16	grupo			-4.2	10.8			≈330	L	Lw-c	66	3	31	92.5	5.1	0.1	1.3	1	0.77
	z6	Q1A		ç	grupo		-63.7			-35.3	V			Vc	72	13	15		72	13	15		0.04
		Q1A		y2	grupo		-63.8			-33.6	V			Vc									
SEG1-2	zc1	Q1A	0.7	27	grupo			≈ -3.0	10.8			310	L	Lw-c	77	7	16	93.1	5.1	0.2	0.5	1.1	0.76
		Q1A	0.7	28	grupo		-60.3	-2.8	10.8	-28.5	V	315	L	Lc-w	84	4	12	93.1	5.3	0.1	0.4	1.1	0.76
		Q1A	0.9	29	grupo			-2.2															
		Q1A	0.7	32	grupo		-61	≈ -1.5	≈ 10	-30	V	320	L	Lc-w	80	9	11	93.5	4.7	0.3	0.3	1.2	0.75
		Q1A	0.5	33	grupo		-62.6		9.5	-26.1	V												
	z3	Q1A	0.5	18	grupo		-61.3		13.7	-28.4	V	415	V	Vc-w	89	6	5	97.1	2.7	0.1	0.1		0.52
	z5	Q1B		b1	grupo		-63			-22.4	V			Vc	77	9	14		77	9	14		0.06
		Q1B	0.5	b3	grupo		-63	-6.8		-27.5	V	475	V	Vc-w	74	13	13	92.8	3.1	0.4	0.4	3.3	0.57
		Q1B	0.2	c1	grupo		-62.7			-25.2	V			Vc-w	78	9	13	94	4.9	0.4	0.7		0.22
		Q1B		c2	grupo		-62.8			-25.8	V			Vc	85	6	9		85	6	9		0.05
		Q1B		c3	grupo		-62.7			-32.5	V			Vc	76	7	17		76	7	17		0.04
	z7	Q1A		g1	grupo		-63.8			-45	V			Vc	61	22	17		61	22	17		0.03

Continuação do anexo 1

Petrografia						Microtermometria									Composição da fase volátil (moles%)			Composição global (mole %)					
Amostra	**Zona**	**Tipo de quartzo**	**Flw**	**Nome/incl**	**Ocorrência**	**$ThCH_4$**	**$TmCO_2$**	**TmI**	**TmCl**	**$ThCO_2$**	**Modo**	**TH**	**Modo**	**Tipo/IF**	**CO_2**	**CH_4**	**N_2**	**H_2O**	**CO_2**	**CH_4**	**N_2**	**NaCl**	d
SEG 1-2	z7	Q1A		g1	grupo		-63.8			-45	V			Vc	61	22	17		61	22	17		0.03
		Q1A		g2	grupo		-62.3			-20.6	V			Vc									
SEG 3-1	z2	Q2	0.3	d	pif	-94.8					V	340	V	Vm-w		72	28	93.7		4.5	1.8		0.32
		Q2	0.7	f1	isolada			≈ -2.0	9.6			360	L	Lw-m		57	43	93.9		2.8	2	1.3	0.76
		Q2	0.7	f2	isolada			-2.1	11.3							60	40	93.4		3.3	2.1	1.2	0.76
	z3	Q2	0.7	n	grupo			-3.3	10.4			314	L	Lw-c	53	26	21	93.5	3.7	0.9	0.7	1.2	0.76
		Q2	0.7	n2	grupo			-2.5	11.3			310	L	Lw-m		55	45	93.3		3	2.5	1.2	0.76
		Q2	0.7	n3	grupo			-3.3	14.3			305	L	Lw-m		78	22	92.7		4.9	1.3	1.1	0.76
		Q2	0.7	n4	grupo							305	L	Lw-c	55	27	18						
	z5	Q2	0.7	q	isolada			-2.9	10.9						53	30	17	93.4	3.7	1.1	0.6	1.2	0.76
		Q2		h1	grupo	-94.9					V			Vm									
		Q2	0.7	k1	grupo			-2.9	10.2			275	L	Lw-c	64	25	11	93.8	4	0.7	0.3	1.2	0.75
		Q2	0.7	k2	grupo			-3	15.2			290	L	Lw-c	71	18	11	90.3	7	1.3	0.8	0.6	0.81
		Q2	0.7	k3	grupo			-3	9.2			280	L	Lw-c	71	12	17	93.9	4.1	0.3	0.4	1.3	0.75
		Q2	0.7	m1	grupo			-3	10.8						61	25	14	93.5	4	0.8	0.5	1.2	0.76
		Q2		m2	grupo	-90.1					V			Vm		51	49			51	49		0.24
		Q2		m3	grupo	-88.6					V			Vm		60	40			60	40		0.22
		Q2	0.7	1	grupo			-3	9.2			290	L	Lw-c	53	30	17	94.1	3.3	0.8	0.5	1.3	0.75
		Q2	0.7	2	grupo			-2.2	10.3			290	L	Lw-c	76	14	10	93.5	4.6	0.4	0.3	1.2	0.76
		Q2		19	pif	-91.7					V			Vm		81	19			81	19		0.26
SEG 3-2	z4	Q2	0.7	5	isolada			-3	14			320	L	Lw-c	54	19	27	91	5.3	1.2	1.7	0.8	0.8
		Q2	0.7	6	isolada			-3.2	13.5					Lw-m		53	47	92.3		3.6	3.1	1	0.78
	z7	Q2	0.7	r2	isolada			≈ -3.0	10.9			387	L	Lw-m		58	42	93.5		3	2.3	1.2	0.76
	z8	Q2		7	pif	-91.7					V			Vm		78	22			78	22		0.26
		Q2		8	pif	-85.6					V			Vm		82	18			82	18		0.22
		Q2		9	pif	-86.6					V			Vm		78	22			78	2		0.22
		Q2		10	pif	-86.5					V			Vm		73	27			73	27		0.2
		Q2		12	pif	-81.5					V												