

**Universidade do Minho**

Escola de Ciências

Pedro Miguel Azevedo Paredes

**Prospecção de ocorrências filonianas do tipo LCT nas  
formações metassedimentares entre Boticas e  
Montalegre (N de Portugal)**

**Dissertação de Mestrado**

Mestrado em Geologia – Ramo Valorização de Recursos  
Geológicos

Trabalho efetuado sob a orientação do  
**Professor Doutor Jorge Manuel Vieira Pamplona**

E coorientação de  
**Mestre Bruno Filipe de Oliveira Sameiro Pereira**

## DECLARAÇÃO

Nome: Pedro Miguel Azevedo Paredes

Endereço electrónico: pedromaparedes@gmail.com

Telefone: 934092674

Número do Bilhete de Identidade: 10972857

Título dissertação: Prospecção de ocorrências filonianas do tipo LCT nas formações metassedimentares entre Boticas e Montalegre (N de Portugal)

Orientadores: Professor Doutor Jorge Manuel Vieira Pamplona; Mestre Bruno Filipe de Oliveira Sameiro Pereira

Ano de conclusão: 2015

Designação do Mestrado ou do Ramo de Conhecimento do Doutoramento: Mestrado em Geociências – Ramo Valorização dos Recursos Geológicos

Nos exemplares das teses de doutoramento ou de mestrado ou de outros trabalhos entregues para prestação de provas públicas nas universidades ou outros estabelecimentos de ensino, e dos quais é obrigatoriamente enviado um exemplar para depósito legal na Biblioteca Nacional e, pelo menos outro para a biblioteca da universidade respectiva, deve constar uma das seguintes declarações:

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA TESE/TRABALHO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;

Universidade do Minho, 30/10/2015

Assinatura: \_\_\_\_\_

## Agradecimentos

Em mais uma etapa do meu percurso académico, numa fase da vida indissociável do percurso profissional, houve várias pessoas que contribuíram, de uma forma directa, para que o mesmo se concretizasse. Como tal, gostaria, de forma sucinta, de prestar os meus agradecimentos.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao meu orientador da empresa SINERGEO, Doutor Bruno Pereira, pela disponibilidade, atenção, competência, camaradagem e, mais importante que tudo, por me transmitir que o objectivo traçado pode ser alcançado por vários caminhos.

Ao meu orientador científico, Professor Doutor Jorge Pamplona, não só pelo notório enorme conhecimento científico, como pela sensibilidade revelada a nível pessoal, estando sempre disponível para correcções, ajustes e opiniões.

Aos restantes colegas da SINERGEO, Doutor Jorge Oliveira e Doutor João Azevedo, pela disponibilidade prestada e partilha de conhecimento.

Ao Engenheiro José Lopes, essencial na criação de conteúdos técnicos determinantes para a consecução do trabalho.

À Professora Alexandra Duarte, pela revisão técnica do Abstract.

E finalmente, mas o mais importante de todos, aos meus pais, pelo apoio concedido, que se revelou determinante, e sem o qual não teria sido possível realizar este projecto.



## Resumo

O Couto Mineiro do Bessa foi um dos principais complexos mineiros existentes no NW Transmontano. Localizado na Zona da Galiza Média e Trás-os-Montes, compreende uma faixa de metassedimentos do Silúrico e do Devónico, enquadrados pelos maciços graníticos de Montalegre e Chaves. Esta sequência está englobada no Domínio Parautóctone.

Apesar da importância do couto mineiro referido, não existem muitas publicações de natureza técnico-científica relacionadas com este jazigo. Dessa forma, e reconhecendo à área envolvente ao Couto Mineiro do Bessa potencial para a existência de pegmatitos do tipo LCT (Lítio, Césio, Tântalo) com interesse económico, reveste-se de enorme importância, quer científica quer estratégica, um aprofundamento dos conhecimentos, tanto a nível estrutural como litológico.

A prospecção realizada recorreu, numa primeira fase, à análise distanciada e detecção remota, que utilizou imagens obtidas através do satélite ASTER e de fotografia aérea (*Google Earth Pro*), associado a uma técnica de tratamento de imagem que permitiu um aumento da resolução espacial de sinais, índices e guias de prospecção. Deste modo, foram detectados uma série de alvos de prospecção, os quais foram confirmados e caracterizados, numa segunda fase, nos levantamentos de campo.

As relações espaciais observadas entre os corpos filonianos (e a sua mineralogia) e as estruturas de deformação do encaixante permitiram estabelecer uma aproximação ao modelo genético de instalação do cortejo filoniano da área em estudo. Assim, verificou-se a existência de várias gerações de corpos filonianos, desde uma geração de instalação mais precoce (aplitos sem mineralização), até uma geração mais tardia de aplito-pegmatitos (com mineralização do tipo LCT), de fácies paroxismal e de instalação distal.



## Abstract

The Bessa Mining Field was one of the most important mining complexes in the NW of Trás-os-Montes. Situated in Galiza Media and Trás-os-Montes tectonic zone, it comprises a strip of Silurian and Devonian metasediments, surrounded by the granitic massifs of Montalegre and Chaves. This sequence is included in the Parautochthonous Domain.

Despite the importance of the mentioned mining field, there are no significant scientific or technical publications related to this deposit. It is due to the potential for the existence of LCT-type (Lithium, Cesium, Tantalum) pegmatites with economical interest that the increase in structural and lithological knowledge of the Bessa's Mining Field surrounding area assumes great importance, both scientific and strategic.

The performed prospection were made, initially, by distanced analysis and remote sensing, using ASTER satellite's and air photo's images (*Google Earth Pro*), associated to image's processing techniques, which allowed an increase in the spatial resolution of signs, indexes and prospecting guides. On that way, it were detected a number of prospecting targets, which were later confirmed and characterized on field surveys.

The existing spatial relationships between the filonian bodies (and their mineralogy) and the enclosing deformation structures allowed establishing an approximation to the filonian courtship's installation genetic model of the studied area. Like this, it was found several generations of the aforementioned filonian bodies, one with an earlier installation generation (aplite without mineralization) to a later generation of aplite-pegmatites (with LCT mineralization), this one with paroxysmal facies and distal installation.



# Índice

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vii
Índice.....	ix
Lista de figuras tabelas e esquemas.....	xi
1.Introdução.....	1
1.1. Contextualização e fundamentação do trabalho.....	1
1.2.Objectivo.....	2
1.3.Enquadramento geográfico.....	3
1.4.Estado de arte.....	4
2 Metodologia.....	6
3.Enquadramento geológico.....	12
3.1.Geologia regional.....	12
3.2.Génese, implantação e classificação dos pegmatitos.....	14
3.3.Divisões regionais de pegmatitos.....	17
3.4.Mineralizações de tungsténio (W) e estanho (Sn).....	18
3.5.Actividade mineira.....	21
4.Análise e discussão de resultados.....	22
4.1.Análise distanciada, detecção remota e levantamentos de campo.....	22
4.2.Difracção de raio-X.....	29
4.3.Estrutura do encaixante metassedimentar e cronologia de instalação dos corpos filonianos de composição granítica.....	30
5. Conclusões e considerações finais.....	32
6. Referências bibliográficas.....	33
Anexos.....	36
Anexo I.....	37
Anexo II.....	46
Anexo III.....	51
Anexo IV.....	55



## Lista de figuras

**Figura 1** – Matérias-primas consideradas essenciais (adaptado de “Report on critical raw materials for the EU”, 2014)

**Figura 2** – Localização geográfica da área de estudo (imagem extraída de *Google Earth*)

**Figura 3** – Extracto da Carta geológica de Portugal 6-B, na escala 1/50000 (adaptada de Teixeira, C; Assunção, C.T. e Coelho, A.V.; 1974)

**Figura 4** – Imagens de um local, com e sem representação dos corpos pegmatíticos, nos vários azimutes de incidência de luminosidade.

**Figura 5** – Mapas de relevo sombreado de um local, nos vários azimutes de incidência de luminosidade considerados

**Figura 6** – Imagens de um local, de estruturas geológicas identificadas, com e sem representação dos corpos pegmatíticos, nos vários azimutes de incidência de luminosidade.

**Figura 7** – Fases de deformação da Orogenia Varisca (extraído de Ramos, R; 2012)

**Figura 8** – Zonamento regional de pegmatitos do tipo LCT (adaptado de A. Mateus e M. Gaspar, 2007)

**Figura 9** – Distribuição dos campos pegmatíticos no sector português da Cintura Pegmatítica Centro-Ibérica (extraído de Leal Gomes, 2006)

**Figura 10** – Distribuição das principais ocorrências de W e Sn no Norte e Centro de Portugal (adaptado de Noronha, F. *et al*, 2013)

**Figura 11** – Mapa da Pangeia há 250 Ma, exibindo a distribuição de granitos e pegmatitos com elementos raros portadores de W e/ou Sn (adaptado de Romer & Kromer, 2013)

**Figura 12** - Panorâmica global dos locais selecionados, com representação dos pegmatitos e lineamentos fotointerpretados, a partir da Carta Geológica de Portugal, folha 6-B (Chaves) e lineamentos fotointerpretados

**Figura 13** - Panorâmica global dos locais selecionados (com representação das estruturas geológicas identificadas segundo os critérios e locais prioritários a visitar)

**Figura 14** - Panorâmica detalhada de uma zona da área em estudo, com representação dos pegmatitos, lineamentos e locais

**Figura 15** – a) Local a visitar P1-1; b) Local a visitar P2-4 (Imagens de 31-08-2013, retirada de *Google Earth*)

**Figura 16** – Corpos pegmatíticos observados nos locais: a) P1-1 e b) P2-4

**Figura 17** – a) Local a visitar P2-9 (Imagem de 31-08-2013, retirada de *Google Earth*), com possíveis afloramentos de corpos pegmatíticos (limitados por circunferências/elipses vermelhas); b) Corpos pegmatíticos observados no local P2-9.

**Figura 18** – Local a visitar P2-8 (Imagem de 31-08-2013, retirada de *Google Earth*), com possíveis afloramentos de corpos pegmatíticos

**Figura 19** – Afloramentos observados nos locais P2.8: a) afloramentos graníticos e b) filão pegmatítico

**Figura 20** – a) Local a visitar P1-3 (Imagem de 31-08-2013, retirada de *Google Earth*), com possíveis afloramentos de corpos pegmatíticos; b) Corpo pegmatítico nas imediações do local P1-3

**Figura 21** – Carta litológica simplificada da área de prospecção, com representação dos novos corpos filonianos encontrados (adaptado da carta geológica 6B-Chaves, à escala 1: 50 000)

**Figura 22** – Difractograma da amostra mb7, indicando a presença de petalite

**Figura 23** – Difractograma da amostra mb1, indicando a presença de cassiterite

**Figura 24** – Corpo filoniano de génese precoce: a) Aplito instalado na S2 do micaxisto encaixante; b) Pormenor do aplito com a S3 bem definida; c) Esquema estrutural tridimensional (simplificado) do corpo aplítico vs. Encaixante

**Figura 25** – Corpos filonianos instalados segundo S3 e deformados por corredores de cisalhamento: a) Aplito-pegmatitos em corredor de cisalhamento multifásico; b) Esquema estrutural simplificado do corredor de cisalhamento e dos corpos aplito-pegmatíticos; c) Aspectos texturais do aplito-pegmatito.

**Figura 26** – Corpo filoniano pós-S3: a) Relação espacial entre o corpo filoniano e o encaixante (micaxisto com veios de quartzo de segregação metamórfica); b) Pormenor do aplito-pegmatito mostrando o crescimento centrípeto de quartzo e moscovite.

## Lista de tabelas

**Tabela 1** – Matérias-primas críticas (adaptado de Comunicação da Comissão Europeia ao Parlamento Europeu, ao Conselho Europeu, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões, 2011)

**Tabela 2** – Ocorrência de rochas magmáticas máficas a félsicas, relacionadas com as diferentes etapas do desenvolvimento estrutural e tectónico da orogenia varisca (retirado de Kroner e Romer, 2012)

**Tabela 3** – Sistema de classificação de pegmatitos graníticos (Adaptado de Černý e Ercit, 2005)

**Tabela 4** – Classificação petrogénica por famílias dos pegmatitos graníticos (Adaptado de Černý e Ercit, 2005)

# 1. Introdução

## 1.1. Contextualização e fundamentação do trabalho

Numa comunicação da Comissão Europeia ao Parlamento Europeu, ao Conselho Europeu, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões, em 02 de Fevereiro de 2011, são referidas as 14 matérias-primas consideradas críticas (Tabela 1), devido aos riscos de escassez e aprovisionamento e respectiva repercussão na economia, agravado pela baixa taxa de reciclagem e baixo grau de substituíbilidade. A escassez de aprovisionamento deve-se ao facto de grande parte da produção estar concentrada num reduzido número de países, tais como a China, o Brasil, a República Democrática do Congo e a Rússia, o que condiciona o acesso das indústrias europeias a essas matérias-primas, colocando em risco a respectiva laboração, investigação e desenvolvimento.

Tabela 1 – Matérias-primas críticas (adaptado de Comunicação da Comissão Europeia ao Parlamento Europeu, ao Conselho Europeu, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões, 2011).

Antimónio	Berílio	Cobalto	Espatoflúor
Gálio	Germânio	Grafite	Índio
Magnésio	Nióbio	Minerais do Grupo da Platina (MGP)	Terras Raras
Tântalo	Tungsténio		

Entre as matérias-primas referidas anteriormente encontra-se o tungsténio, metal com várias aplicações, destacando-se os filamentos em lâmpadas incandescentes, tubos de raio-X, eléctrodos em soldas, superligas, materiais protectores de radiações, assim como na indústria militar, aeronáutica, médica e farmacêutica, entre outras. Tão diversificada aplicabilidade advém das características do tungsténio, em que se salienta a elevada robustez e densidade, menor coeficiente de expansão térmica e maior ponto de fusão entre os metais, além da resistência aos ataques de ácidos, bases e oxigénio.

Devido aos factores enumerados anteriormente, é imperativo que a União Europeia encontre mecanismos de assegurar a independência no fornecimento das matérias-primas consideradas essenciais, de forma a não depender de fenómenos políticos, sociais, económicos, ou até especulativos, dos principais países produtores. A melhor forma de assegurar essa independência é:

- a) garantir o acesso sustentável a matérias-primas fora da Europa;
- b) possuir, dentro do espaço da União, as condições para explorar, extrair e transformar os elementos considerados críticos;
- c) promover a reciclagem e a eficiência dos recursos.

Dessa forma, e reportando-me especificamente ao tungsténio e ao nosso país, urge encontrar reservas minerais que permitam uma exploração sustentável, seja económica seja ambientalmente. Para tal, é necessário proceder previamente à prospecção mineira, de modo a descobrir e a valorizar depósitos minerais. Essa prospecção é efectuada pela análise de formações geológicas propícias à ocorrência do recurso pretendido, recorrendo-se à determinação da sua forma, geometria, extensão e teor.

Mais recentemente, em 2014, a Comissão Europeia publica novo relatório sobre as matérias-primas consideradas essenciais (numa actualização do primeiro relatório elaborado em 2010), em que introduz o estanho nessa lista (mantendo o tungsténio na lista das matérias-primas consideradas críticas), tal como observado na figura 1.

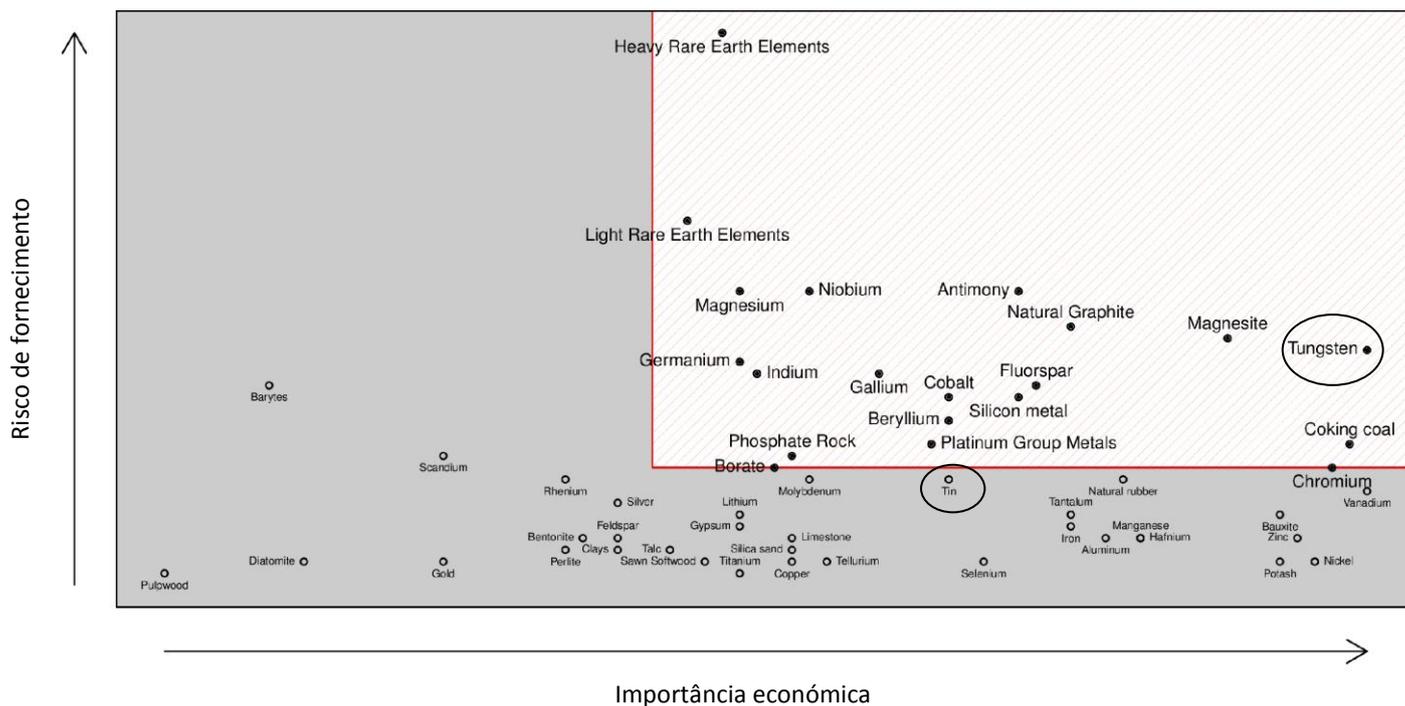


Figura 1 – Matérias-primas consideradas essenciais (adaptado de “Report on critical raw materials for the EU”, 2014)

Também por essa razão (aliada à componente histórica), além do tungsténio o presente trabalho abarca a extracção do estanho (a partir da cassiterite), que foi uma das principais actividades do Couto Mineiro do Bessa. Utilizado desde a Idade do Bronze (cerca de 3300 A. C.), destacam-se as seguintes propriedades: maleabilidade, resistência à corrosão e baixo ponto de fusão (232° C). Possui igualmente várias aplicações: produção do bronze (liga formada por estanho e cobre); fabrico de molas, fusíveis, tubos e peças de fundição; produção de papel, remédios e fungicidas (neste caso recorrendo aos sais de estanho); revestimento de metais e soldas (devido ao seu baixo ponto de fusão).

## 1.2. Objectivo

O objectivo da presente dissertação é a prospecção de aplito-pegmatitos de elementos raros do tipo LCT nas formações metassedimentares entre Boticas e Montalegre, com base, principalmente, na aplicação de técnicas de detecção remota e análise distanciada. O trabalho realizado contemplou várias etapas, salientando-se a: pesquisa da história mineira na região (suportada pela bibliografia existente); cartografia geológica e estrutural, análise bibliográfica da geologia regional e local; análise distanciada e detecção remota; observações e levantamentos de campo; e difracção de raios-X.

### 1.3. Enquadramento geográfico

A área estudada, com uma dimensão aproximada de 31 km<sup>2</sup>, está enquadrada pelas localidades de Morgade (a Oeste), Cervos (a Este), Firvidas (a Norte) e Vilarinho da Mó (a Sul), todas pertencentes ao concelho de Montalegre, distrito de Vila Real. O acesso é feito pela EN103, pela M525 e pelo CM1001. Encontra-se delimitada pelas serras da Cepeda, Meixedo, Leiranco e Barroso.

Está coberta pela Carta Geológica de Portugal 6-B (Chaves), na escala 1:50000.

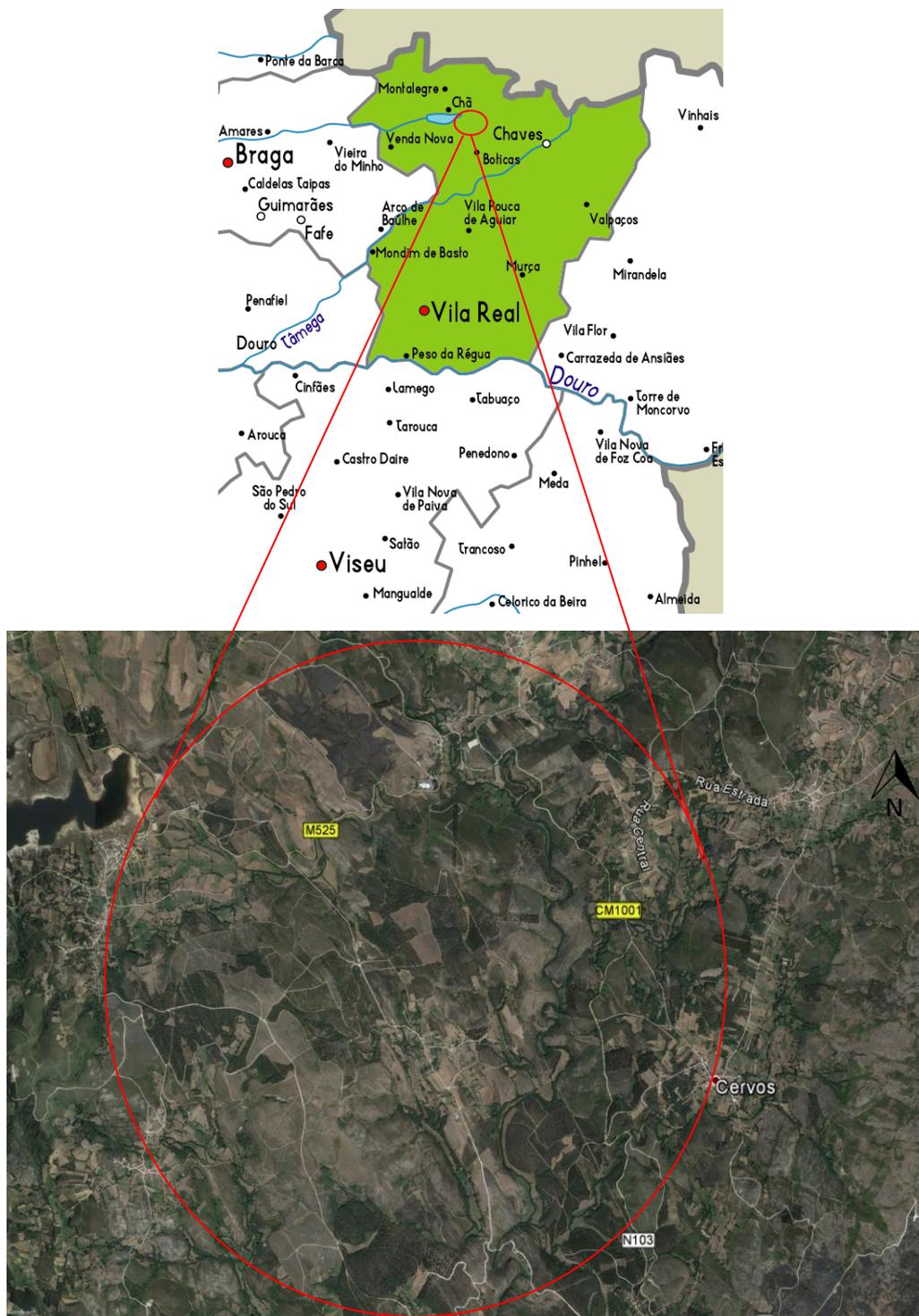


Figura 2 – Localização geográfica da área de estudo (imagem extraída de *Google Earth*).

### 1.4. Estado de arte

Apesar da importância do couro mineiro anteriormente referido, o conhecimento geológico da área é limitado, destacando-se apenas:

- A publicação “Jazigos portugueses de cassiterite e volframite”, de Coteló Neiva (1944), onde o autor refere a natureza filoniana do jazigo, com numerosos filões de pegmatito granítico, registando possanças de alguns centímetros a 35 centímetros, com direcção geral NW-SE (concordantes com os planos de xistosidade do xisto encaixante) e inclinação geral NE, sendo por vezes de 40° relativamente à vertical. Realça também a existência de filões perpendiculares a estes últimos, ricos em cassiterite, sendo que a região metalífera mais rica é a que se encontra próxima da mancha granítica. No livro encontram-se ainda estudos sobre: as rochas eruptivas vizinhas, as rochas encaixantes e o *greisen* do Bessa; a mineralogia do pegmatito granítico e respectiva paragénese, destacando-se a presença, essencialmente, de quartzo e feldspato potássico, tendo como minerais acessórios, entre outros, a volframite e a cassiterite.

- A Carta Geológica de Portugal 6-B (Chaves), na escala 1:50000, de Teixeira, C; Assunção, C.T. e Coelho, A.V (1974), com a respectiva notícia explicativa, que se encontra representada (em formato adequado à área de estudo) na figura 3.

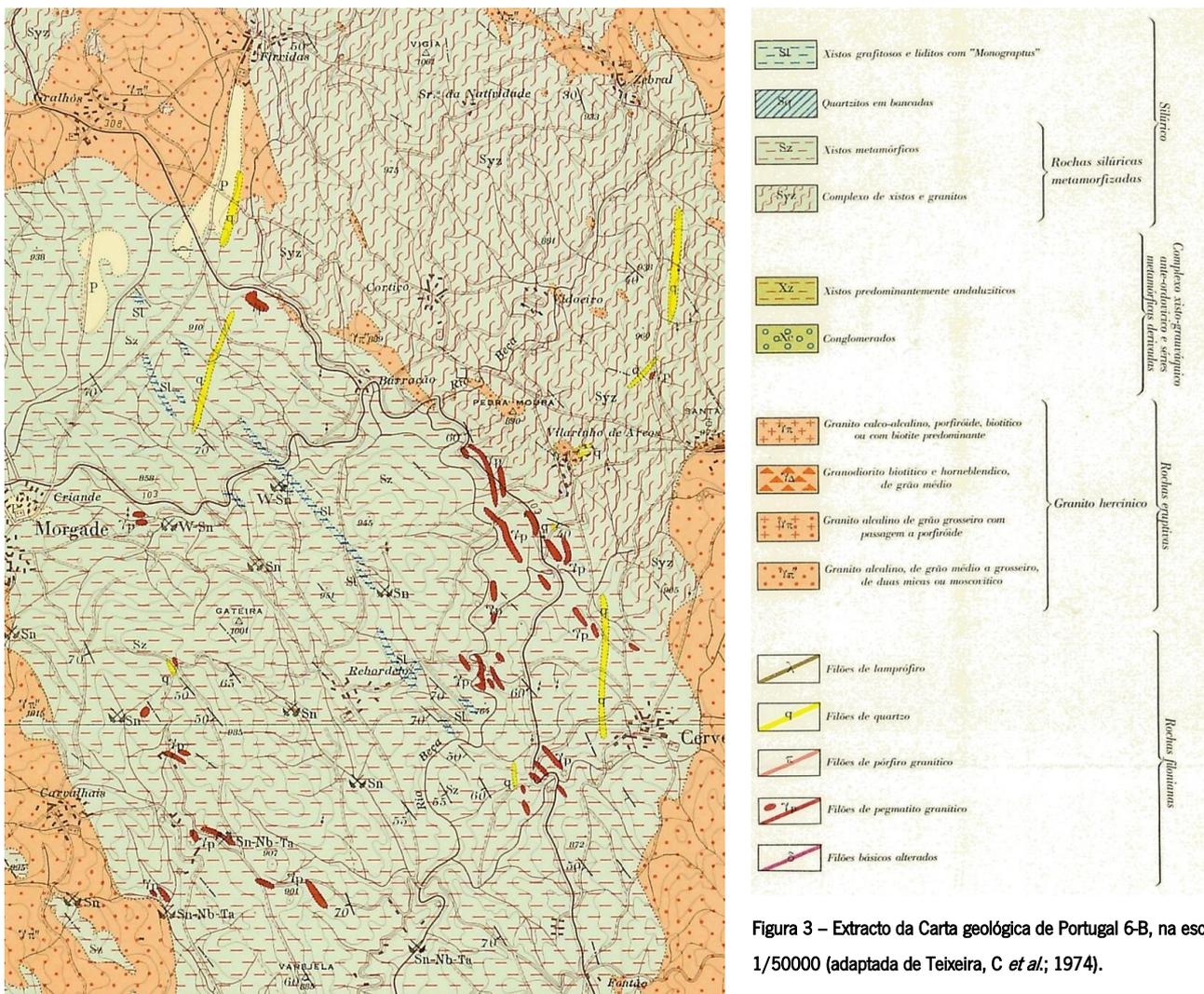


Figura 3 – Extracto da Carta geológica de Portugal 6-B, na escala 1/50000 (adaptada de Teixeira, C et al.; 1974).

- A dissertação de mestrado de Rui Ramos, de 2003, pela Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, intitulada “Guias de prospecção geológica na região de Chaves: contributos cartográfico, tectono-estratigráfico e litogeoquímico”. Nesta dissertação, o autor caracteriza as unidades litoestratigráficas do Parautóctone existentes na região e descreve a sua petrografia e mineralogia.

- A tese de doutoramento de Rui Ramos, de 2012, pela Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, com o título “Condicionamentos tectono-estratigráficos e litogeoquímicos da evolução metamórfica varisca, nas unidades parautóctones (Trás-os-Montes Ocidental)”. Este estudo aprofunda os dados e o conhecimento existente sobre a evolução varisca, tanto tectónica como metamórfica, do local, envolvendo cartografia geológica a diferentes escalas, estudos litoestratigráficos, litogeoquímicos, petrogenéticos e metalogénicos, com particular destaque para o estudo de fluidos e do seu papel metalogénico.

No que concerne a trabalhos efectuados sobre detecção remota e análise distanciada de corpos pegmatíticos, assim como de detecção e análise de lineamentos estruturais, destacam-se dois, que serviram de base a vários conceitos apresentados nesta dissertação:

- A dissertação de mestrado de Bruno Pereira, de 2009, pela Universidade do Minho, com o título “Métodos de detecção remota na prospecção de pegmatitos intra-graníticos do Norte e Centro de Portugal (Cintura Hercínica Centro Ibérica). Contributo para a elaboração de uma cartografia preditiva de ocorrência”. Neste trabalho, o autor apresenta ferramentas e técnicas de detecção remota no contexto da prospecção e pesquisa de pegmatitos intra-graníticos do Norte e Centro de Portugal.

- O projecto PROSPEG (projecto de prospecção, análise distanciada e detecção remota de pegmatitos), de 2013, numa parceria entre a empresa SINERGEO e a Universidade do Minho, que estabeleceu o desenvolvimento de programas de prospecção e pesquisa de pegmatitos no território português, utilizando como via fundamental, para a primeira aproximação a áreas de pesquisa, metodologias de análise distanciada e detecção remota.

- A dissertação de mestrado de Ricardo, de 2009, pela Faculdade de Letras da Universidade do Porto, com o título “Aplicação de técnicas de detecção remota para a identificação de lineamentos estruturais num sector do noroeste de Portugal e do sudoeste da Galiza”. Neste trabalho, o autor concebeu a utilização combinada de dados espectrais, com imagens dos satélites SPOT 4 e Landsat 7, de detecção remota espacial e de dados altimétricos para a identificação de lineamentos estruturais com potencial interesse geomorfológico numa área luso-galaica, através da aplicação de um conjunto de técnicas de processamento digital.

## 2. Metodologia

Como os depósitos pegmatíticos possuem uma organização que se traduz num conjunto de corpos estrutural e/ou petrogeneticamente relacionados, essa pode ser: espacial, ou seja, mais ou menos regular no seio dos plutões graníticos hospedeiros e relativamente à fonte granítica parental; e possuir um encaixante (neste caso, rochas metassedimentares) com um comportamento mais favorável ao acolhimento do corpo pegmatítico. (Černý, 1982; *in* PROSPEG, 2013). Tal particularidade favorece a prospecção e detecção dos recursos minerais pretendidos com este trabalho.

A prospecção de recursos anteriormente mencionados, com objectivo de descoberta de depósitos e consequente planificação do seu aproveitamento, segue metodologias sistemáticas e é constituída pelas seguintes fases (segundo proposta de Chaussier *et al*, 1981): estratégica, táctica e pontual. As duas primeiras fases contemplam o recurso a métodos geofísicos, geoquímicos e/ou análise distanciada e detecção remota (análise de fotografias aéreas e imagens de satélite), sendo de âmbito regional. Neste trabalho, recorreu-se essencialmente à análise distanciada e detecção remota, já que a inexistência de contrastes físicos e/ou químicos relevantes nos depósitos pegmatíticos, relativamente às rochas hospedeiras, dificulta a prospecção geofísica e geoquímica. Assim, parâmetros como o tom, a textura, a cor, a forma, o tamanho ou a direcção (entre outros), são utilizados para a identificação de objectos geológicos de interesse, para posterior verificação no terreno.

Também se fez a análise da cartografia geológica e estrutural existente, nomeadamente da Carta Geológica 1/50000, folha 6-B e respectiva notícia explicativa. Essa análise visa essencialmente a identificação das litologias cartografadas, assim como das falhas (existentes e prováveis), atitudes de dobras e falhas, filões e mineralizações existentes, de modo a que esta informação possa ser incorporada na análise distanciada e detecção remota.

A fase pontual, sendo mais específica e local, requer levantamentos de campo, com recolha de amostras para análise de difracção por raio-X, petrografia óptica e estudos de geoquímica. Também se realizam sondagens, de modo a compreender as características dos depósitos. Neste trabalho, só foi possível a recolha de amostras para difracção por raio-X, que foram tratadas e analisadas no Laboratório de Difracção de raio-X do Departamento de Ciências da Terra da Universidade do Minho (difractómetro X'Pert Pro MPD - Philips Analytical; *software* X'Pert Software - Philips Analytical).

Tradicionalmente, o levantamento de estruturas geológicas no terreno era feito através de trabalhos de campo, o que usualmente implicava longos períodos de tempo, muitas vezes em áreas remotas, de difícil acesso e observação. Actualmente, geralmente ocorre uma etapa prévia, que se traduz na interpretação de imagens de satélite e fotografia aérea. Essa interpretação, no caso das imagens de satélite, é essencial para complementar a informação que é percebida e recolhida nas observações no terreno, já que o olho humano é limitado, porque apenas absorve a radiação do denominado espectro visível. De facto, com o recurso a sensores artificiais, é possível obter uma nova perspectiva dos locais em prospecção, já que permitem o acesso a vários tipos de radiação, no domínio do não visível (ultravioleta, infravermelho e microondas) (Pinho, R.; 2009).

Recorrendo a um modelo digital do terreno, obtido através do satélite ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), foram gerados mapas de relevo sombreado, utilizando o *software* QGIS 2.4.0. De modo a extrair o máximo de informação possível, foram seleccionados diferentes ângulos de azimutes de incidência de luminosidade: N45°; N135°, N225° e N315°, todos com um ângulo de elevação do Sol de 45°. Dessa forma, foram gerados mapas de superfície através de um MDT (modelo digital de terreno) de pormenor, formado a partir de mosaicos emparelhados de fotografias aéreas (resultantes de vôos realizados pela USAF entre 1958 e 1960), segundo metodologia de Lopes, J. (2015), com a geração de imagens de relevo sombreado nos diferentes azimutes referidos anteriormente, de forma a trabalhar sobre uma base de maior resolução espacial.

A utilização de fotografias aéreas, da época anteriormente mencionada, possui a vantagem de permitir a observação e estudo do terreno em datas caracterizadas por uma boa exposição dos afloramentos, ao invés do que sucede actualmente, já que existe encobrimento da superfície por vegetação densa, nomeadamente floresta (Lopes, J.; 2015).

Segundo Torrecilla (2007), as imagens de relevo sombreado representam as áreas iluminadas e escurecidas, resultantes dos diferentes azimutes de incidência da luminosidade, que indicam a procedência da luz solar sobre a superfície terrestre. Os seus valores expressam-se em graus relativamente ao Norte, variando ao longo do dia. Numa determinada área, a inclinação e a orientação do terreno modificam a incidência dos raios solares (Pinho, 2009).

A análise de imagens com distintos azimutes de iluminação tem por objectivo a evidência e realce de lineamentos que de outra forma poderiam ficar indiscerníveis. Esta análise baseia-se em princípios simples, tal como o efeito de erosão diferencial, já que tanto os pegmatitos como o quartzo são mais resistentes à erosão do que os seus encaixantes metassedimentares. A correspondência das observações com estruturas previamente cartografadas (fase de treino), assim como a existência de contrastes cromáticos, texturais e estruturais, em contexto de análise distanciada, é entendida como potencialmente reveladora e circunscritora de objectos geológicos com relevância em contexto de prospecção de recursos minerais.

Na prospecção e pesquisa de corpos pegmatíticos segue-se um modelo apoiado na estruturação interna e continuidade desses mesmos corpos. Esse modelo aponta para locais onde tenha existido lavra activa sobre corpos pegmatíticos e em que sejam detectados corpos pegmatíticos através da cartografia geológica. A área do Couto Mineiro do Bessa e o objecto deste trabalho cumpre os dois pressupostos enunciados anteriormente (Pereira, 2009).

A figura 4 apresenta, a título exemplificativo, várias imagens do mesmo local, em azimutes de incidência de luminosidade diferentes, geradas pela técnica descrita anteriormente, com e sem implantação de pegmatito granítico (tendo a respectiva localização sido determinada a partir da Carta Geológica 6B-Chaves, na escala 1:50000, de 1974, tendo sido transposta para as imagens de relevo sombreado), dentro da área seleccionada para este estudo. No anexo I encontram-se todas as imagens, em todos os azimutes de incidência de luminosidade, geradas para este trabalho.

Nos mapas de relevo sombreado referentes ao mesmo local é bem evidente a existência de estruturas geológicas que se observam num deles e que não se observam noutro(s), apenas variando os ângulos azimutais de luminosidade (figura 5).

Lineamento estrutural pode definir-se como feições lineares de uma superfície mapeável, simples ou composta, cujas partes encontram-se alinhadas de forma retilínea ou ligeiramente curva, que diferem das feições adjacentes e refletem provavelmente estruturas de subsuperfície (O'Leary *et al.*, 1976 *in* Pinho, 2009). Estas estruturas podem estar associadas a acidentes tectónicos (falhas e dobras, p. ex.), ser de natureza estratigráfica (contactos entre litologias, p. ex.), ou de alinhamentos de filões.

Os lineamentos estruturais podem agrupar-se em três categorias:

- Informação radiométrica: brilho, cor e textura;
- Geometria do lineamento: forma, tamanho, e contexto espacial;
- Estrutura geológica: direcção, paralelismo e continuidade (Brum da Silveira, 2002; Feio e Brito, 1949;

Keller e Pinter, 1996; Keller, 2002; Gomes, 2008; *in* Pinho, 2009).

As estruturas lineares observadas nesta área visam a detecção de estruturas geológicas como falhas, fracturas, litologias, contactos litológicos, alinhamentos de filões e dobras.

Numa fase inicial, a observação das imagens de relevo sombreado visaram a detecção de locais onde existissem corpos pegmatíticos. O processo efectuou-se utilizando os critérios de identificação abaixo enunciados, em que se pesquisaram zonas onde os critérios fossem análogos aos dos locais onde se encontram os pegmatitos já cartografados.

Para a identificação das estruturas geológicas utilizaram-se alguns critérios que se apresentam, de modo resumido, de seguida:

- Brilho: Determinadas litologias ou estruturas (dobras e/ou falhas) podem apresentar brilho mais ou menos intenso, destacando-se assim das restantes estruturas lineares
- Textura: Contraste das estruturas lineares naturais, relativamente às artificiais. A textura apresentar-se-á mais grosseira, com uma rugosidade mais elevada.
- Sombras: Dependendo do azimute e do ângulo de elevação do Sol, a incidência dos raios solares sobre uma mesma área apresentará zonas de sombra e zonas soalheiras diferentes.
- Geometria: As estruturas lineares naturais apresentam formas rectilíneas ou ligeiramente curvilíneas, distinguindo-se assim das artificiais. Os tamanhos podem variar entre algumas centenas de metros e dezenas de quilómetros. Quanto à continuidade, geralmente apresentam seguimento, havendo interrupções devido (geralmente) a falhas. Frequentemente, as estruturas apresentam subparalelismo, exibindo direcções relacionadas com as mineralizações observadas.

AZIMUTE N45°



AZIMUTE N135°



AZIMUTE N225°



AZIMUTE N315°



 Corpo pegmatítico

Figura 4 – Imagens de um local, com e sem representação dos corpos pegmatíticos, nos vários azimutes de incidência de luminosidade.

---

AZIMUTE N45°



AZIMUTE N135°



---

AZIMUTE N225°



AZIMUTE N315°



---

Figura 5 – Mapas de relevo sombreado de um local, nos vários azimutes de incidência de luminosidade considerados

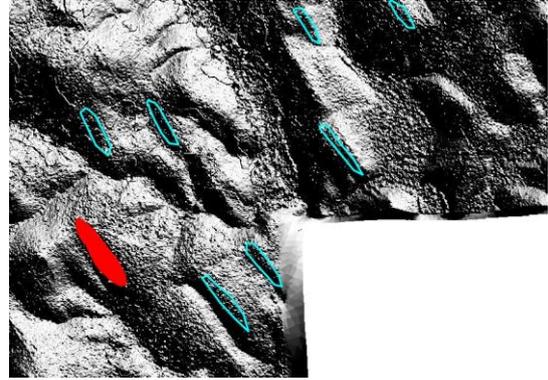
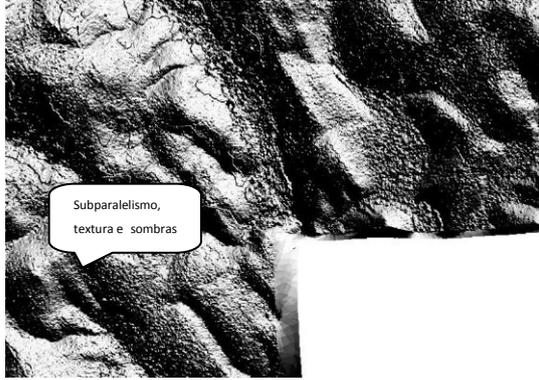
Na figura 6 apresentam-se imagens em que foram identificadas estruturas geológicas utilizando, conjuntamente, alguns dos critérios referidos anteriormente. Apresenta-se um exemplo para cada azimute de incidência de luminosidade (para mais exemplos, consultar o anexo II).

Baseado nos critérios de identificação anteriormente elencados (e que se encontram referenciados em cada fotografia), definiram-se os locais a visitar, para levantamento geológico detalhado, em todos os azimutes pré-definidos: N45° (NE), N135° (SE), N225° (SW) e N315° (NW). Para cada um dos locais, estabeleceram-se ordens de prioridade:

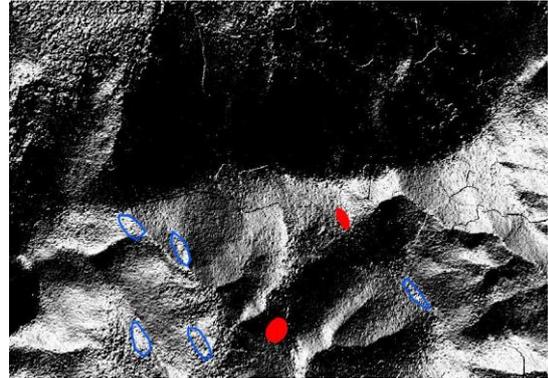
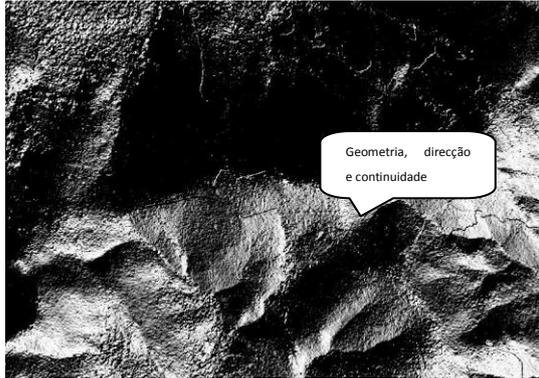
- 1ª prioridade (P1): Intersecção dos locais a visitar em três ou quatro dos azimutes considerados;
- 2ª prioridade (P2): Intersecção dos locais a visitar em dois dos azimutes considerados;
- 3ª prioridade (P3): Proximidade de locais a visitar em dois dos azimutes considerados.

A intersecção dos locais a visitar indicia uma relação estrutural, observável nos diferentes azimutes, pelo que quanto maior (ou mais próxima) for essa intersecção, maior relevância terá, e, portanto, maior grau de prioridade.

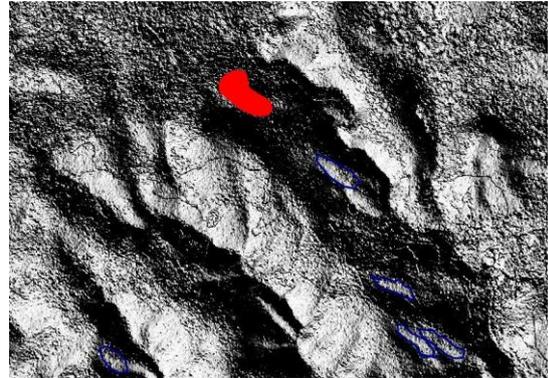
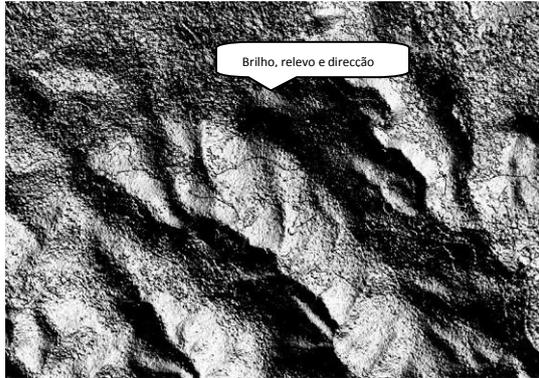
AZIMUTE N45°



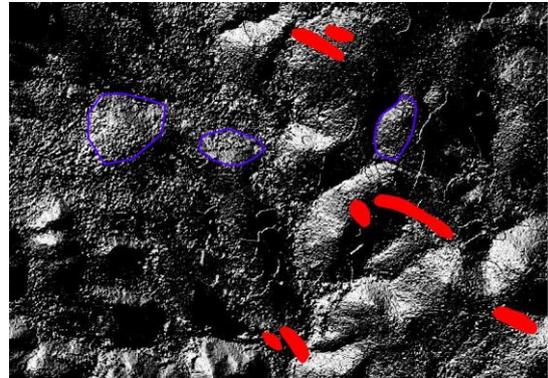
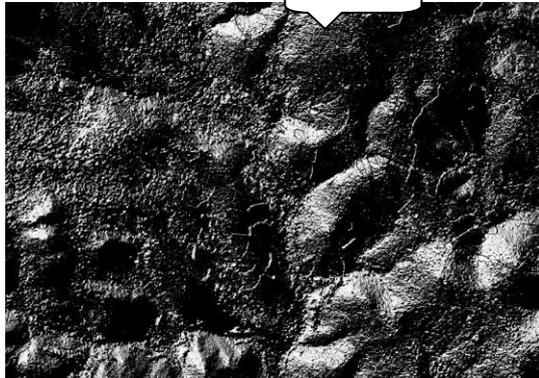
AZIMUTE N135°



AZIMUTE N225°



AZIMUTE N315°



 Azimute N45°

 Azimute N135°

 Corpo pegmatítico

 Azimute N225°

 Azimute N315°

Figura 6 – Imagens de um local, de estruturas geológicas identificadas, com e sem representação dos corpos pegmatíticos, nos vários azimutes de incidência de luminosidade.

### 3. Enquadramento geológico

#### 3.1. Geologia Regional

O sector NW de Trás-os-Montes insere-se no segmento varisco do NW Ibérico, incorporado no Cinturão Orogénico Varisco Europeu, orógeno formado no período compreendido entre o Devónico e o Carbonífero, por colisão das massas continentais Gondwana e Laurússia. A esta colisão sucedeu-se o fecho do Oceano Rheic (Martinez Catalán *et al*, 2009, *in* Pereira e Rodrigues, 2010).

O segmento varisco do NW Ibérico ocupa a zona axial do orógeno. Esta zona é caracterizada pela presença de vários Complexos Alóctones que se sobrepõem à margem da massa continental Gondwana, arrastando outro conjunto de rochas designadas por Complexos Parautóctones. Possuem essa designação tanto por não terem sofrido um transporte de tão grande amplitude como os Complexos Alóctones, como por possuírem afinidade litoestratigráfica com os terrenos autóctones. De uma forma mais restrita, a área estudada neste trabalho localiza-se na Zona da Galiza e Trás-os-Montes (ZGTM) (Pereira e Rodrigues, 2010). A ZGTM encontra-se sobreposta à Zona Centro Ibérica (ZCI) por carreamento, tendo este acontecido no Silúrico e no Devónico (Ribeiro, 1974; Noronha *et al.*, 1979; *in* Ramos, 2003). Esta região é constituída por uma sequência de unidades metassedimentares do Paleozóico Inferior, enquadradas por granitóides variscos sin a tardi e pós-tectónicos (Ramos, 2012).

A estruturação da Cadeia Varisca resultou da actuação de três fases de deformação, em regime dúctil:  $D_1$ ,  $D_2$  e  $D_3$ , responsáveis pelas foliações presentes nas rochas deformadas (Ribeiro, 1974; Noronha *et al.*, 1979; Dias e Ribeiro, 1994; *in* Ramos, R.; 2003).

Segundo proposta de Ribeiro (2013, *in* PROSPEG, 2013), a 1ª fase de deformação ( $D_1$ ) foi de natureza compressiva, originando dobras de eixo NW-SE, com plano axial vertical nos terrenos autóctones e vergências diferentes nos terrenos parautóctones e alóctones. A 2ª fase de deformação ( $D_2$ ), que decorre da  $D_1$ , foi tangencial, tendo induzido cavalgamentos sub-horizontais, com formação de mantos-dobra nos terrenos parautóctones. A 3ª fase de deformação ( $D_3$ ) abrangeu todos os terrenos de forma idêntica, originando dobras largas e de pequena amplitude, com planos axiais sub-verticais. Simultaneamente com a  $D_3$ , desenvolveram-se zonas de cisalhamento dúcteis, verticais (Noronha *et al.*, 2013). É nesta fase que decorre a instalação da maioria dos granitos que originam os pegmatitos, encontrando-se estes hospedados ou intruídos na sua periferia. A formação dos granitos anteriormente referidos ocorre devido à consolidação de magmas graníticos, que se geraram por anatexia. Uma representação esquemática das diferentes fases de deformação anteriormente enunciadas encontra-se presente na figura 7.

Inserido na ZGTM encontra-se o Complexo de Mantos Parautóctones (CMP), representado por um sinforma constituído por sedimentos depositados na plataforma continental da margem Gondwânica (processo ocorrido entre o Ordovícico e o Devónico) que foram posteriormente metamorfizados (formando metassedimentos), originando xistos de baixo grau metamórfico. Durante a orogenia varisca, os metassedimentos foram deformados e transportados, sendo depois, no final da colisão varisca, intruídos pelas massas graníticas em alinhamentos correspondentes ao núcleo das grandes antiformas  $D_3$ , concomitantemente com o dobramento na  $D_3$  e com os cisalhamentos dúcteis associados

(Pereira e Rodrigues, 2010; Noronha *et al.*, 2013). Segundo os mesmos autores, as massas anteriormente referidas resultam de magmatismo granítico orogénico, sendo os granitoides daí resultantes agrupados em duas categorias: granitos peraluminosos ou “granitos de duas micas” (gerados por anatexia húmida em níveis mesocrustais, controlada pelo metamorfismo regional e reciclando metassedimentos hidratados) e granitos monzoníticos e granodioritos ou “granitos biotíticos com plagioclase cálcica” (formados em níveis basais da crosta, reciclando materiais desidratados em condições de maior pressão e temperatura). No tocante a este trabalho, dar-se-á especial relevância aos granitos do primeiro grupo, já que, de um modo geral, se encontram estreitamente relacionados com os terrenos metamórficos.

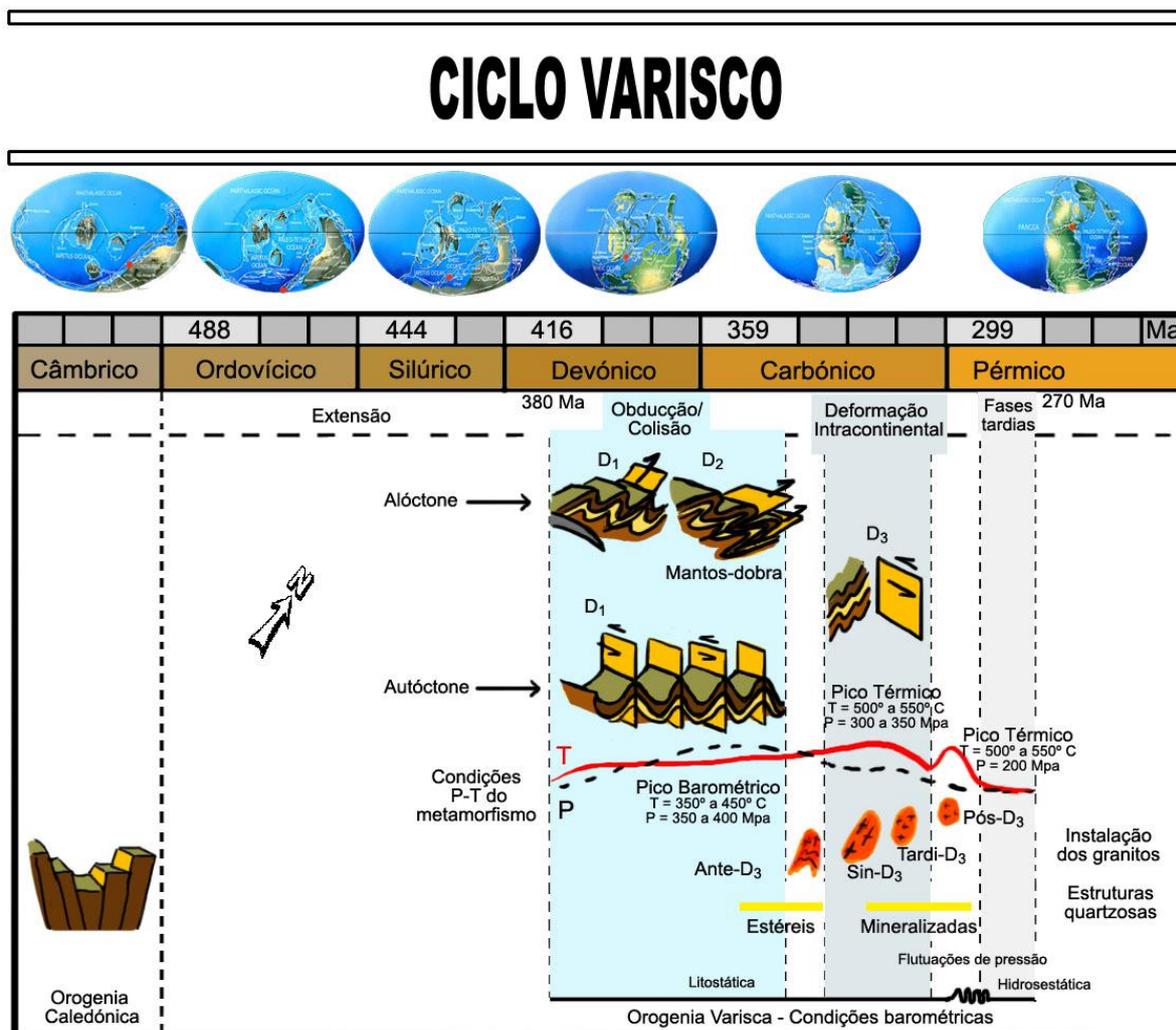


Figura 7 - Fases de deformação da Orogenia Varisca (extraído de Ramos, R; 2012)

Kroner e Romer (2012), numa perspectiva mais genérica e diferente da anterior, referem que os Variscidas existentes na Europa e Norte de África resultam da convergência dos continentes Gondwana e Laurásia, durante o Paleozóico. Esta formação é caracterizada pela justaposição de blocos de crosta continental que foram afectados pela Orogenia Varisca. A deformação associada às tensões resultantes desses movimentos orogénicos consiste em rochas do Neoproterozóico/Câmbrio, sobrepostas por camadas de rochas vulcano-sedimentares, tendo ocorrido por várias etapas.

A etapa final da colisão transpressional é marcada por uma subducção intracontinental, que afectou toda a zona interna da orogenia. Essa subducção terminou há cerca de 340 M.a., no Carbonífero, tendo a subsequente exumação isothermal da crosta continental, subducada a maior profundidade, levado à ocorrência tanto de metamorfismo de alta temperatura como de grandes volumes de magmatismo granítico.

Durante esta etapa, a configuração irregular da orogenia varisca foi estabilizada pelo movimento altamente oblíquo dos blocos litosféricos dissociados (ex: Península Ibérica).

Tabela 2 - Ocorrência de rochas magmáticas máficas a félsicas, relacionadas com as diferentes etapas do desenvolvimento estrutural e tectónico da orogenia varisca (retirado de Kroner e Romer, 2012).

Grupo	Unidade	Tipo de rocha	Fonte magmática	Idade (Ma)
Europa Ocidental (Ibéria)				
II b	Zona Galiza e Trás-os-Montes	Granitos do tipo I e tipo S	Granitos biotíticos e biotítico-andaluzíticos; Fusão crustal de rochas meta-ígneas e metassedimentares	314-308
III	Zona Galiza e Trás-os-Montes	Granitos do tipo I	Fusão crustal de ortognaisses; herança de assinatura do tipo I provenientes dos protólitos	300-275

Conforme é possível verificar pela tabela 2, acima representada, na unidade da Galiza Média e Trás-os-Montes as rochas magmáticas existentes são granitos do tipo S e I, sendo o magma que lhes deu origem derivado da fusão crustal de rochas metassedimentares e meta-ígneas (rochas metamórficas que se originaram a partir de um protólito magmático), com biotite e andaluzite, e da fusão crustal de ortognaisses.

### 3.2. Génese, implantação e classificação de pegmatitos

London (2008) definiu pegmatito como “essencialmente uma rocha magmática, de composição granítica, que se distingue de outras rochas magmáticas por possuir um grão extremamente grosseiro (embora variável)”. Os minerais que constituem os pegmatitos são essencialmente os minerais presentes no granito, como, entre outros, o quartzo, o feldspato e as micas. A nível de interesse económico, os pegmatitos com maior interesse são os possuem mineralização em elementos raros, gemas ou grandes concentrações de minerais industriais.

Existem vários modelos conceptuais sobre a implantação de pegmatitos, que discorrem desde a sua formação até à respectiva classificação. Nesta introdução teórica, iremos abordar aqueles que estarão mais relacionados com a zona estudada. Assim, a colocação dos conjuntos pegmatíticos, e respectiva distribuição dos seus enxames, ocorrem devido às tensões actuantes que influenciam a geometria dos corpos e respectiva filiação granito-pegmatito. Em programas de prospecção, a coerência e reprodutibilidade desses modelos é imprescindível para a sua eficiência e aplicabilidade (*in* PROSPEG, 2013).

Um dos modelos mais referenciados é o de Černý (1982, *in* PROSPEG, 2013), em que a localização dos conjuntos pegmatíticos, assim como a distribuição cartográfica dos respectivos campos pegmatíticos, é condicionada pela distância à fonte granítica parental. Segundo esse modelo, o enriquecimento em metais raros e diversificação textural e paragenética é favorecido pelo aumento da distância ao granito parental, no sentido da propagação do

magma para a rocha encaixante. Essa maior diferenciação explica-se pela fraccionação e enriquecimento em voláteis, que se processa em condições de mais baixa temperatura de cristalização (tal como exemplificado na figura 8).

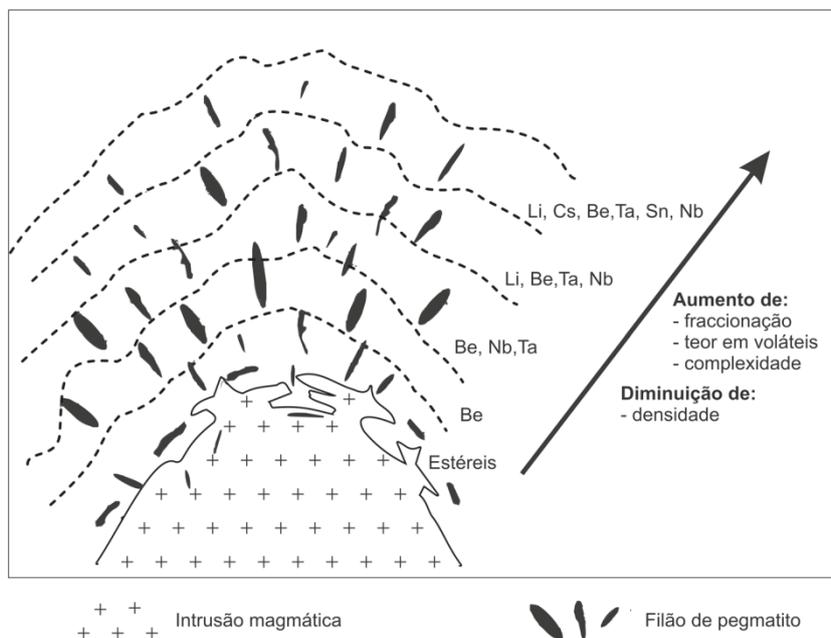


Figura 8 - Zonamento regional de pegmatitos do tipo LCT (adaptado de A. Mateus e M. Gaspar, 2007)

Numa abordagem diferente, Brisbin, (1986; *in* PROSPEG, 2013), propõe um modelo em que refere que a intrusão e consolidação de pegmatitos são influenciadas pela pressão litostática, pelos campos de tensões locais e pelo contexto metamórfico envolvente. Estas condições, que se manifestam de forma distinta na crosta terrestre, condicionam as formas, dimensões e atitudes dos pegmatitos. Dessa forma, nos níveis superiores da crosta, onde o regime é frágil (temperaturas e pressões baixas), anisotropias como a clivagem, xistosidade, fracturas ou estratificação, favorecem a ocorrência de pegmatitos com morfologia tabular e orientação preferencial normal relativamente à direcção compressiva, devido à existência de direcções preferenciais de intrusão. Nos níveis inferiores da crosta, o regime dúctil (com pressões e temperaturas mais elevadas) favorece a instalação de pegmatitos com forma irregular.

O modelo apresentado por Brisbin possui várias limitações, já que se aplica essencialmente a corpos exo-graníticos e quando a intrusão de magmas pegmatíticos decorre num episódio compressional orogénico bem definido, e desconsiderando não só a existência de estruturas de deformação prévias que alterem as relações de tensão, como a reactivação de estruturas que alterem os padrões morfológicos finais.

Mais recentemente, Leal Gomes e Nunes (2003, *in* PROSPEG, 2013), considerando as fases de deformação e instalação polifásica de corpos graníticos na Cadeia Varisca Ibérica (com constrições locais dirigidas que interferem na abertura de espaços de acolhimento, não seguindo dessa forma o modelo de Brisbin), adaptam a matriz de organização filoniana de Philips (1972, 1974) e Roberts (1970), referente à colocação de corpos pegmatíticos em redor de corpos graníticos circunscritos. Leal Gomes e Nunes (2003) sugerem a importância da expansão lateral apical do plutónio, de modo a compreender as geometrias dos pegmatitos que atravessam o contacto entre os granitóides e as formações metassedimentares encaixantes. Os corpos pegmatíticos assumem a forma de sills sub-paralelos ao contacto do granito, enquanto que em posições mais afastadas do granito parental se apresentem sub-horizontais.

Os esquemas de classificação de pegmatitos mais recentes são fortemente influenciados pelas classificações de Buddington (1959) e de Ginsburg et al. (1979), esta formulada de acordo com a profundidade de implantação dos corpos pegmatíticos e relação com metamorfismo e plutões graníticos. Černý (1991) reviu as classificações anteriormente mencionadas, e, mais recentemente, Černý e Ercit (2005) propuseram uma nova classificação, baseada em vários critérios, agrupados em dois conceitos:

- Localização geológica, características geoquímicas e condições de pressão e temperatura de solidificação, expressos em associações variáveis de minerais acessórios.

- Petrogenético, para pegmatitos formados por diferenciação magmática a partir de um plutonito parental.

Considerando o primeiro conceito apresentado, ocorre uma divisão em cinco classes: abissal (AB), moscovítica (MS), muscovítica-elementos raros (MSREL), elementos raros (REL), miarolítica (MI), sendo estas subdivididas em subclasses, e algumas destas em tipos e subtipos (tabela 3).

Tabela 3 - Sistema de classificação de pegmatitos graníticos (Adaptado de Černý e Ercit, 2005).

Classe	Subclasse	Tipo	Subtipo
Abissal (AB)	AB-HREE AB-LREE AB-U AB-BBe		
Moscovítica (MS)			
Moscovítica-Elementos Raros (MSREL)	MSREL-REE MSREL-Li		
Elementos Raros (REL)	REL-REE  REL-Li	Alanite-monzanite Euxenite Gadolinite Berilo  Complexo  Albite-Espodumena Albite	Berilo-Columbite Berilo-Columbite-Fosfatos Espodumena Petalite Lepidolite Elbaite Ambligonite
Miarolítica	MI-REE  MI-Li	Topázio-Berilo Gadolinite-Fergusonite Berilo-Topázio MI-Espodumena	

Reportando-se exclusivamente à família de pegmatitos LCT (Li, Cs e Ta), os correspondentes granitos parentais, tal como se extrai da tabela 4, são peraluminosos do tipo S, I ou misto (S+I). Caracterizam-se, usualmente, por serem granitos muito fraccionados e texturalmente diversificados, com corpos intrusivos individuais, atingindo o máximo enriquecimento em elementos raros na fácies pegmatítica (Černý e Ercit, 2005). Martin e De Vito (2005), em complemento a Černý e Ercit (2005), referem que o ambiente tectónico determina a origem do magma parental, assim como os magmas enriquecidos em elementos raros consequentes. Dessa forma, propõem que os pegmatitos da família LCT são gerados em ambientes tectónicos compressivos (orogenia).

Relativamente ao segundo conceito, são constituídas três famílias (LCT, NYF e mista), como observado na tabela 4.

Tabela 4 - Classificação petrogénica por famílias dos pegmatitos graníticos (Adaptado de Černý e Ercit, 2005).

Família	Subclasse	Assinatura Geoquímica	Composição		Litologias fonte
			global do pegmatito	Granitos associados	
LCT	REL-Li MI-Li	Li, Rb, Cs, Be, Sn, Ga, Ta>Nb, (B, P, F)	Peraluminoso a subaluminoso	Sin-orogénicos a tardi-orogénicos a anorogénicos; altamente heterogéneos	Peraluminoso do tipo S, I ou misto S+I  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 (subalcalina)	Sin-, tardi-, pós-orogénicos a principalmente anorogénicos	Granitos empobrecidos infra a mesocrustais; granitóides jovens
Mista	LCT+NYF	Mista	Metaluminosa a ligeiramente peraluminosa	Pós-orogénicos a anorogénicos; heterogéneos	Protólitos mistos; assimilação de rochas supracrustais

Os pegmatitos LCT consistem essencialmente de quartzo, feldspato potássico, albite e moscovite. Como minerais acessórios, os mais comuns são a granada, turmalina e apatite. Quanto aos minerais característicos desta família, salientam-se a lepidolite, petalite e espodumena, como minerais de lítio; a polucite como mineral de céσιο; e a columbite-tantalite, como mineral de tântalo. Destacam-se ainda a cassiterite, como minério de estanho, e o berilo, portador de berílio (Bradley e McCauley, 2013).

### 3.3. Divisões regionais dos campos filonianos pegmatíticos

Leal Gomes (1994; *in* PROSPEG, 2013) e Leal Gomes e Nunes (2003; *in* PROSPEG, 2013), estabelecem uma organização regional para os pegmatitos existentes no Norte e Centro de Portugal. Assim, a divisão mais abrangente é a Província Pegmatítica Varisca (PPV), que inclui os pegmatitos que ocorrem no Maciço Ibérico, encontrando-se relacionados com o magmatismo e metamorfismo varisco. Uma das subdivisões da PPV é a Cintura Pegmatítica Centro-Ibérica (CPCI), que compreende os pegmatitos da ZCI e os afloramentos situados na ZGTM, dependendo estes, de forma mais estrita, da granitização e dissipação de calor varisco (figura 9).

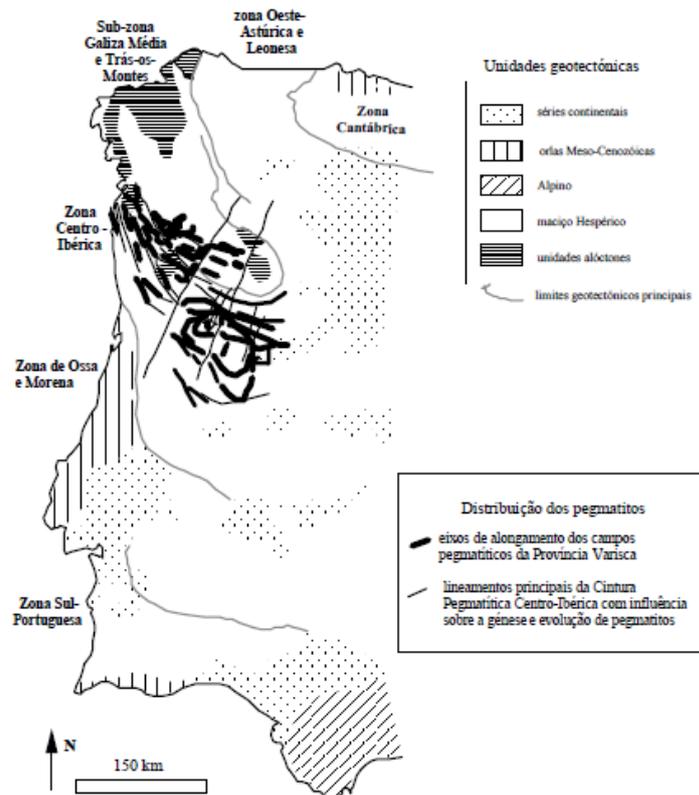


Figura 9 - Distribuição dos campos pegmatíticos no sector português da Cintura Pegmatítica Centro-Ibérica (extraído de Leal Gomes, 2006)

Dentro da CPCI, destacam-se vários campos pegmatíticos (ou aplito-pegmatíticos), que correspondem a agrupamentos de pegmatitos que ocorrem em proximidade espacial, podendo ou não estar geneticamente relacionados pela mesma intrusão granítica, mas estruturalmente condicionados por ela. No âmbito deste trabalho, incidiremos sobre os campos exo-graníticos, já que os pegmatitos existentes na área estudada encontram-se encaixados em sucessões metassedimentares. Como subdivisões do campo pegmatítico, existem ainda os enxames pegmatíticos (ou aplito-pegmatíticos) e os corpos pegmatíticos (ou aplito-pegmatíticos), sendo esta a divisão mais específica. Mais uma vez reportando apenas à área em estudo, os corpos pegmatíticos existentes são porções litológicas com composição granítica, podendo apresentar grande diversidade de fácies e paragéneses acessórias, tendo a morfologia e as mineralizações como atributos, sendo estas do tipo LCT. Podem apresentar-se como bolsadas, corpos tabulares ou filonianos, sendo esta a morfologia encontrada na referida área.

Em contexto exo-granítico, as condições que influenciam a sua morfologia são estruturais e estão relacionadas com a tectónica varisca, em  $D_2$  e  $D_3$ , e respectiva influência na implantação dos plutões graníticos. Os corpos aplito-pegmatíticos de maiores dimensões situam-se em junções triplas e nós dilatacionais em zonas de cisalhamento que afectam terrenos do Silúrico (Moura *et al.*, 2011).

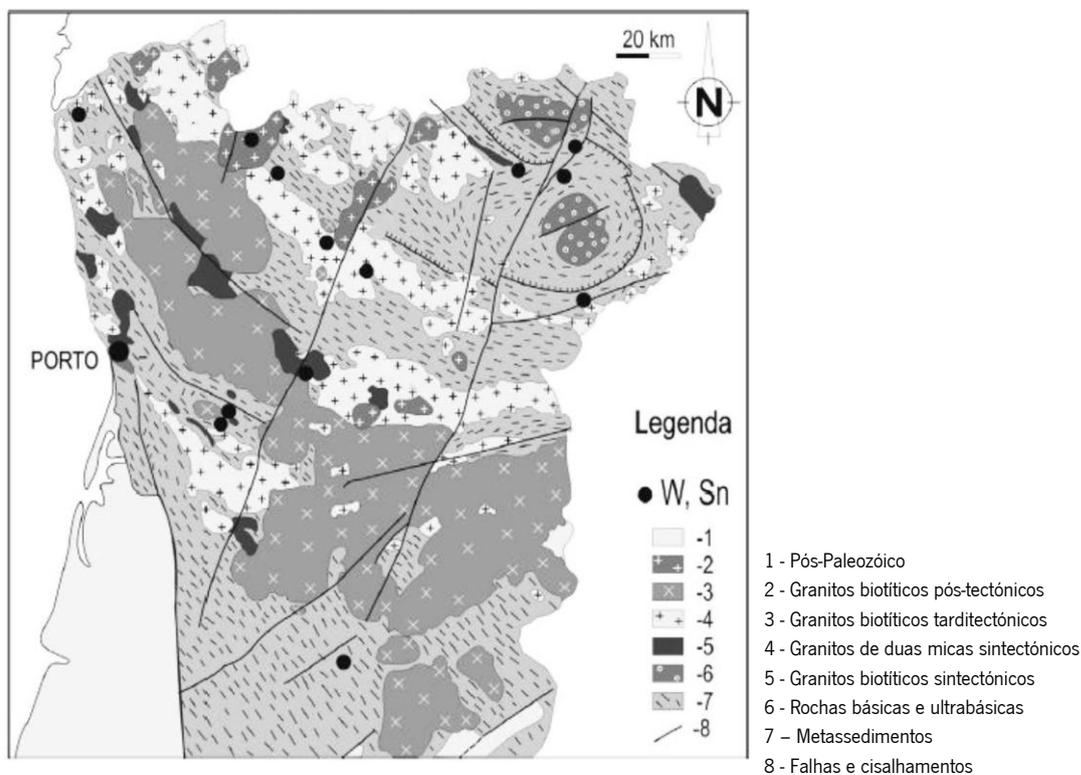
### 3.4. Mineralização de tungsténio (W) e de estanho (Sn)

Segundo Noronha *et al.* (2013), numa fase inicial considerava-se que a génese da grande maioria dos jazigos metálicos estava relacionada exclusivamente com os processos magmáticos. A partir da década de setenta do século passado, passou a considerar-se que os mecanismos de deposição dos minérios não dependem apenas de variações

de temperatura e pressão, mas também da miscibilidade ou não dos fluidos, assim como das reacções químicas entre fluidos e rochas. As mineralizações de W e Sn no norte de Portugal ocorrem quase exclusivamente controladas por estruturas variscas e pelos granitos formados durante essa etapa, sendo que a relação granito-metassedimentos é indispensável para a ocorrência de jazigos. Na ZGTM, a existência de importantes fenómenos de magmatismo, simultaneamente com zonas de médio a alto grau de metamorfismo, tiveram um papel importante na sua evolução térmica.

Reportando aos jazigos de Sn (juntamente com Li) e W, verifica-se que os primeiros são primordialmente do tipo aplito-pegmatítico, enquanto que os segundos encontram-se em filões quartzosos. Verifica-se que as ocorrências de W e Sn se distribuem segundo os sistemas de fracturação tardi-variscos e segundo alinhamentos paralelos aos da estruturação varisca e maciços de rochas granitoides (Figura 10).

Na ZGTM, os campos aplito-pegmatíticos mineralizados ocorrem encaixados em rochas metassedimentares de idade ordovícico-silúrica, encontrando-se associados a granitos de duas micas. No caso dos filões aplito-pegmatíticos, as mineralizações de Sn e Li estão associados aos granitos variscos, em que diferenciação dos magmas que lhes dão origem é acompanhada pelo enriquecimento em Sn. Estes filões são controlados, na sua maioria, pela xistosidade e por planos de cisalhamento relacionados com a D<sub>3</sub>, com orientações preferenciais N40°W e N-S (Noronha *et al.*, 2013). Estas orientações indicam que a instalação dos magmas pegmatíticos ocorreu, durante e após o pico do metamorfismo, ao longo de planos estruturais preferenciais. Os filões aplito-pegmatíticos (que são constituídos por uma porção aplítica e outra pegmatítica) são da família LCT, do tipo complexo.



Debruçando-se sobre os filões quartzosos, considera-se que estes preenchem sistemas de fracturas sub-horizontais ou sub-verticais (Ribeiro e Pereira, 1982; *in* Noronha *et al.*, 2013). Segundo os mesmos autores, a

volframite ocorre associada a quartzo leitoso muito rico em inclusões fluidas, sendo o principal minério do denominado *oxide silicate stage*, ou seja, deposição de óxidos e silicatos.

Numa visão mais englobante, é um dado adquirido que a maior parte das minas de exploração de Sn e W, assim como as ocorrências conhecidas destes elementos, estão relacionadas com os granitoides variscos. Como esses granitoides resultaram, na sua maioria, de fusão de crosta continental, essa reciclagem dos elementos da crosta induz um processo de concentração por cristalização fraccionada, originado pré-concentrações sedimentares, no caso do Sn, e concentrações químicas, ou exalativo-vulcânicas, no caso do W. Isso é comprovado pela existência de ocorrência de mineralizações de Sn nas séries de granitos mais diferenciados, independentemente da sua idade, enquanto que o W é transportado pelos voláteis, juntamente com o Sn, entre outros elementos (Pereira e Rodrigues, 2010).

Mais recentemente, R. Romer e U. Kromer (2014) apresentaram um modelo explicativo para a formação dos granitos portadores de depósitos de W e Sn, assim como dos pegmatitos do tipo LCT, na orogenia varisca. Segundo estes autores, vastos volumes de rochas sedimentares enriquecidas com W e Sn foram formados a partir de uma redeposição tardia de sedimentos meteorizados, enriquecidos em W e Sn, seguida de uma acumulação de origem tectónica. Posteriormente, durante a formação da Pangeia, ocorreu fusão das rochas sedimentares anteriormente referidas, quando a colisão continental sujeitou essas rochas a um metamorfismo de alto grau e anatexia. De realçar também os fenómenos de extensão crustal pós-orogénica e correspondente ascensão do manto.

Depósitos com mineralizações de W e Sn, assim como pegmatitos do tipo LCT, foram encontrados nos dois lados da sutura resultante do fecho do oceano Rheic (figura 11), sendo explicado pelas seguintes etapas:

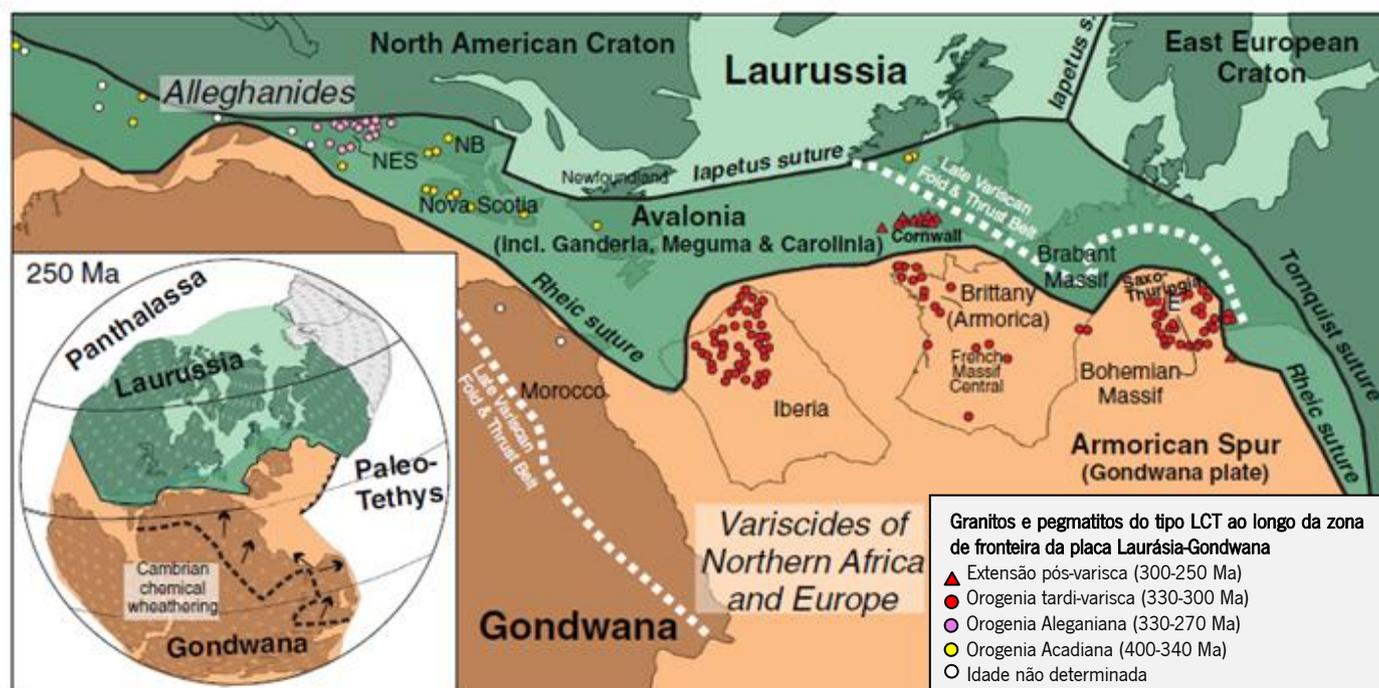


Figura 11 – Mapa da Pangeia há 250 Ma, exibindo a distribuição de granitos e pegmatitos com elementos raros portadores de W e/ou Sn (adaptado de Romer & Kromer, 2013).

- Meteorização de cratões estáveis resultou num enriquecimento primário de W e Sn em rochas sedimentares;
- Ascensão e erosão das zonas meteorizadas, em simultâneo com a separação da Gondwana e Avalónia, originaram a redistribuição das rochas sedimentares, assim como a redeposição dos detritos em espessas camadas, em ambos os lados do recém-formado Oceano Rheic;

- A subsequente colisão tectónica, que resulta no fecho do Oceano Rheic, conduz à acumulação dos sedimentos enriquecidos com W e Sn, devido ao dobramento e empilhamento da crosta. Fusão tardi a pós-orogénica das rochas sedimentares leva à formação de um magma enriquecido em W e Sn, cuja fraccionação posterior se traduz na formação de granitos enriquecidos em W e Sn e de pegmatitos do tipo LCT.

O modelo, composto por três etapas, proposto anteriormente, também pode explicar a ausência de depósitos de Sn e W em algumas zonas graníticas, já que a inexistência de cratões estáveis e condições climáticas favoráveis impediu a meteorização dos protólitos, que posteriormente conduz ao enriquecimento em Sn e W dos sedimentos referidos anteriormente.

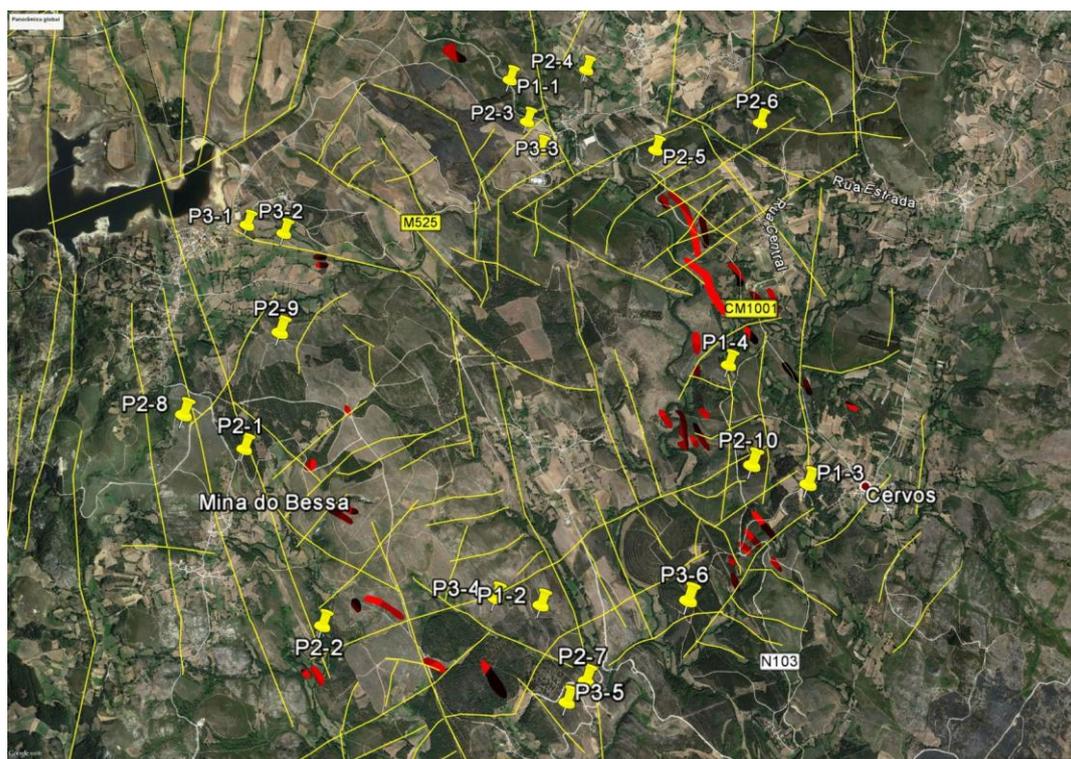
### 3.5. Actividade Mineira

A exploração mineira nesta zona remonta ao tempo dos romanos. No Boletim de Minas de 1938, referente às minas de Monte Agrove nº1 e Carvalho, aparece a seguinte citação: “Foram explorados aluviões ricos em cassiterite e volframite e resíduos de antiquíssimas fundições de estanho, provavelmente romanas, pois que nelas foram encontradas duas moedas de prata dessa época. Estes resíduos contêm, como é natural, a volframite, que então não era aproveitável. O povo dá o nome de agrovias às escavações antigas.” (Nunes, J. P. Avelãs; 2010). Inicialmente, o foco principal da exploração incidia nos filões pegmatíticos do tipo LCT, com mineralizações de cassiterite, para extracção do estanho. Acessoriamente, eram explorados concentrados de columbite-tantalite e ilmenite. As referências mais antigas da exploração no Couto Mineiro do Bessa, referidas em relatórios da Circunscrição Mineira do Norte, remontam a 1918 (minas da Corga das Domingas e da Cova da Mêda). De acordo com o mesmo organismo, de 1956 a 1965, foram produzidos 108t de cassiterite, com 60% a 75% de teor. Nesse mesmo período, produziu também 6t de concentrados de tantalite-columbite, com 30% de Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Nas concessões de Carvalho, Estanheira e Palheiros, pertencentes ao mesmo Couto, foram produzidos, respectivamente: 11t de volframite e 26t de cassiterite; 2t de cassiterite; e 3t de cassiterite. Além do Sn e do W, também foram explorados recursos minerais não metálicos, como o quartzo e o feldspato (Ramos, Rui; 2003).

## 4. Análise e discussão de resultados

### 4.1. Análise distanciada, detecção remota e levantamentos de campo

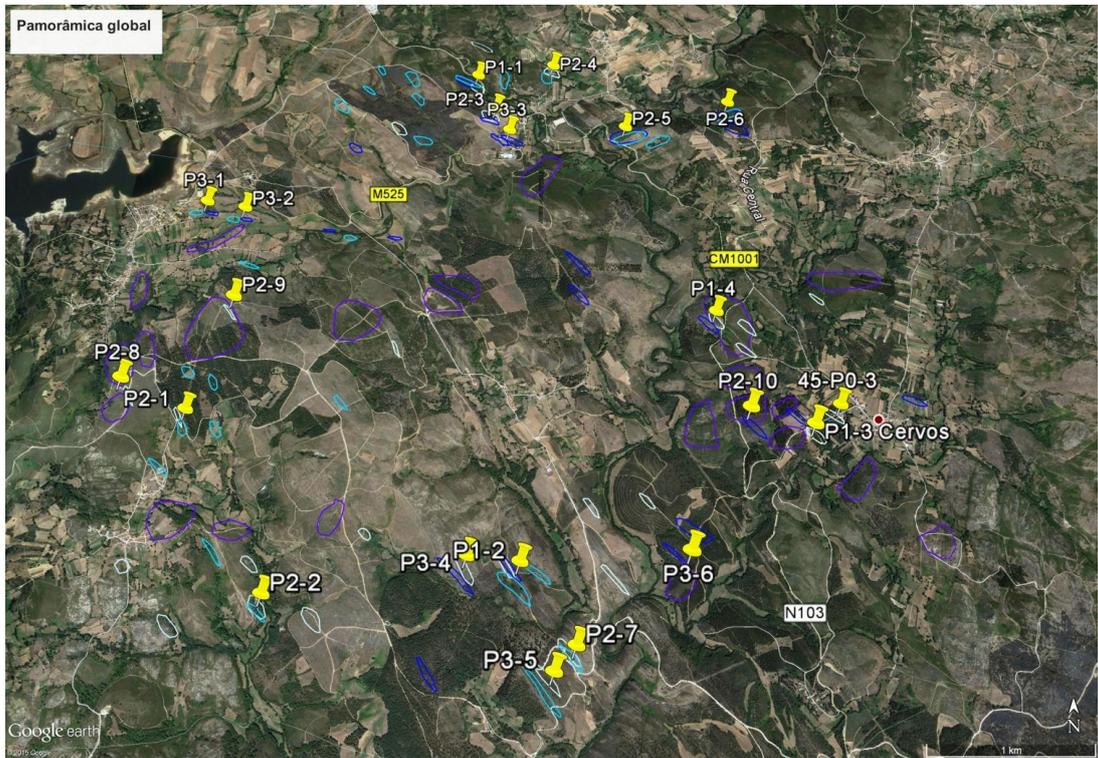
Pela análise distanciada e detecção remota, e aplicando os critérios de identificação das estruturas geológicas de interesse, anteriormente elencados, seleccionaram-se os seguintes locais, representados nas figuras 12 e 13 (panorâmicas globais) e figura 14 (panorâmica detalhada, encontrando-se as restantes zonas consideradas no anexo III), segundo as ordens de prioridade definidas, estando também representados os afloramentos de pegmatitos, representados na carta geológica, ao que se acrescentaram posteriormente os lineamentos extraídos.



Legenda: — Lineamento estrutural      C Pegmatítico

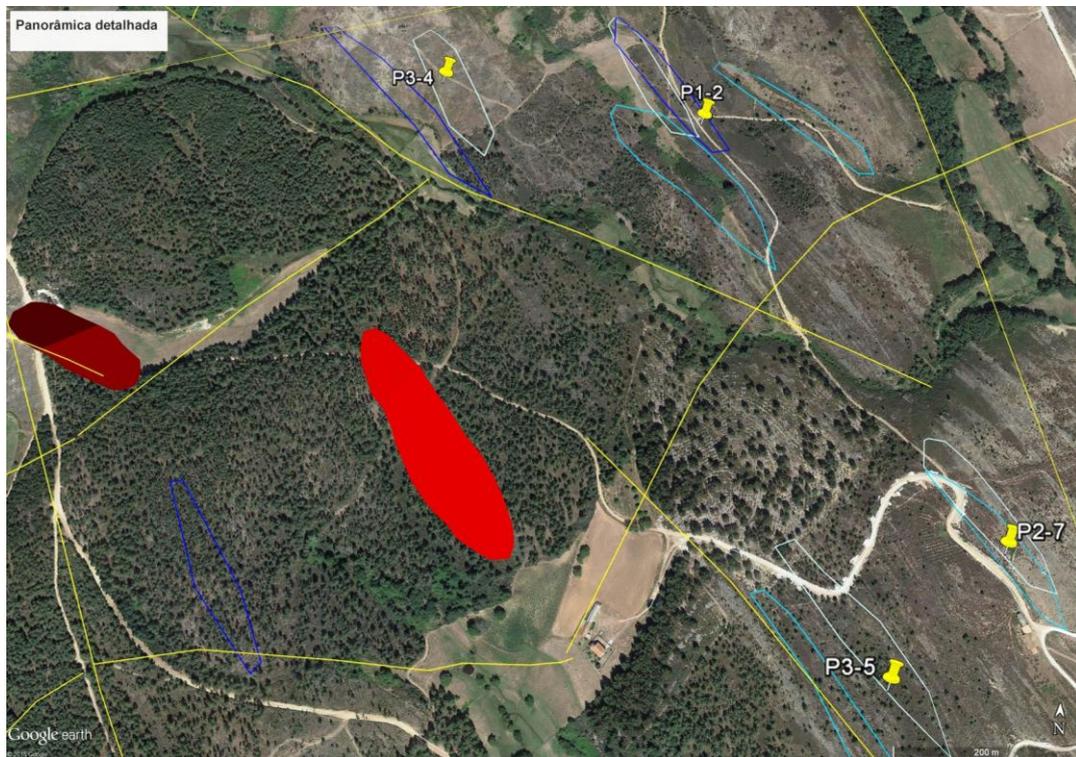
Figura 12 - Panorâmica global dos locais selecionados, com representação dos pegmatitos e lineamentos fotointerpretados, a partir da Carta Geológica de Portugal, folha 6-B (Chaves).

Após a definição dos locais a visitar, verificou-se, para cada local, a respectiva imagem, através do *software Google Earth*, de modo a observar as características que possam indiciar a presença de afloramentos de corpos pegmatíticos ou fácies de transição granito-pegmatito. Estes afloramentos, devido ao seu carácter predominantemente leucocrata e elevada reflectância (manifestação de tons claros), são muitas vezes perfeitamente discerníveis no seio da maioria das litologias existentes (neste caso, dos metassedimentos: quartzitos, xistos andaluzíticos e xistos negros, entre outros). No entanto, a metodologia de prospecção e pesquisa efectuada através das imagens de relevo sombreado, geradas a partir de imagens do satélite ASTER e fotografia aérea, revelou-se produtiva mesmo nas situações em que as visualizações prévias dos locais a visitar não sugerissem a presença de corpos pegmatíticos.



- Azimute N45°
- Azimute N135°
- Azimute N315°
- Azimute N225°

Figura 13 - Panorâmica global dos locais seleccionados (com representação das estruturas geológicas identificadas segundo os critérios e locais prioritários a visitar).



- Azimute N45°
- Azimute N135°
- Azimute N315°
- Azimute N225°
- Corpo pegmatítico
- Lineamento estrutural

Figura 14 - Panorâmica detalhada de uma zona da área em estudo, com representação dos pegmatitos, lineamentos e locais

De forma a justificar a metodologia de prospecção e pesquisa adoptada, usando imagens de relevo sombreado, exemplificam-se de seguida algumas situações:

- Nos locais P1-1 e P2-4, como se pode observar pela imagem obtida através do *software Google Earth* (figura 15), os indicadores de cor e reflectância não indiciavam a presença de corpos pegmatíticos.



a) b)  
Figura 15 – a) Local a visitar P1-1; b) Local a visitar P2-4 (Imagens de 31-08-2013, retirada de *Google Earth*)

Todavia, nas observações e levantamentos de campo efectuados nestes locais, registou-se a presença de vários corpos pegmatíticos (figura 16), com possanças de 2-3m, por vezes com andamento superior a 100 m, e de direcção N30°W, em concordância com a direcção da foliação do micaxisto. Observou-se, ainda, a turmanilização do encaixante (micaxisto).

A relevância desta situação é significativa, dado que um destes locais se afigurava como de 1ª prioridade, já que resultava da intersecção de três ou quatro dos azimutes de incidência de luminosidade considerados.



a) b)  
Figura 16 - Corpos pegmatíticos observados nos locais: a) P1-1 e b) P2-4.

Por oposição, registaram-se situações (figura 17a) em que a visualização prévia revelava indicadores da presença de corpos pegmatíticos aflorantes. Este facto foi confirmado nos levantamentos de campo, dado que foram observados vários corpos aplito-pegmatíticos (figura 17b).



a)

b)

Figura 17 – a) Local a visitar 2-9 (Imagem de 31-08-2013, retirada de *Google Earth*), com possíveis afloramentos de corpos pegmatíticos (limitados por circunferências/elipses vermelhas); b) Corpos pegmatíticos observados no local P2-9.

Uma das dificuldades do tipo de metodologia seguida neste trabalho de prospecção é a presença de falsos positivos, tanto nas situações em que na visualização prévia se observaram litologias com composição, cor e reflectância semelhantes aos dos corpos pegmatíticos, dificultando a sua destrinça, como nas situações em que a ocupação antrópica de certos locais dificulta ou mesmo impossibilita a localização e observação das litologias prospectadas, como se detalhará nos exemplos que se seguem (ver restantes exemplos no anexo IV):

- Nas imediações do local P2-8, observaram-se afloramentos com a cor e reflectância requeridos (figura 18). Contudo, no local verificou-se que pertenciam a afloramentos graníticos (figura 19a), embora se tenham detectado, de igual forma, afloramentos de corpos pegmatíticos (figura 19b). Apesar de os afloramentos encontrados através do *software Google Earth* não serem de aplito-pegmatitos, o método resulta porque foram encontrados nas proximidades corpos pegmatíticos, o que prova que, num caso destes, é necessário refinar o método de visualização prévia quando em presença de litologias com composição aproximada, o que implica cor e reflectância semelhantes.



Figura 18 - Local a visitar P2-8 (Imagem de 31-08-2013, retirada de *Google Earth*), com possíveis afloramentos de corpos pegmatíticos.



a)

b)

Figura 19 - Afloramentos observados nos locais P2.8: a) afloramentos graníticos e b) filão pegmatítico.

- No ponto P1-3 (figura 20a), as imagens observadas previamente no *Google Earth* são mais uma vez indicadoras da presença de características associadas à existência de afloramentos pegmatíticos. No entanto, constatou-se que o local se encontrava fortemente afectado pela ocupação antrópica, já que correspondia a um campo de futebol abandonado com zona florestada nas imediações. No entanto, foram detectados fragmentos de pegmatito nas imediações do local (figura 20b), embora não se encontrassem *in situ*.



a)

b)

Figura 20 - a) Local a visitar P1-3 (Imagem de 31-08-2013, retirada de *Google Earth*), com possíveis afloramentos de corpos pegmatíticos; b) Corpo pegmatítico nas imediações do local P1-3

Após os levantamentos de campo efectuados aos locais indicados pela análise distanciada e detecção remota, foi possível identificar um conjunto de novos corpos filonianos (figura 21), alguns dos quais poderão possuir interesse mineiro. Na realidade, apesar de nas amostras recolhidas, nos locais visitados, e estudadas em Difracção de Raio-X não se ter detectado nem Li nem Sn (uma consequência de, nesta fase do estudo, se ter optado por uma amostragem aleatória), nas proximidades destes afloramentos (corta principal do Couto Mineiro do Bessa) foram retiradas amostras que, depois de analisadas, indicaram a presença destes elementos (ver secção 4.2).

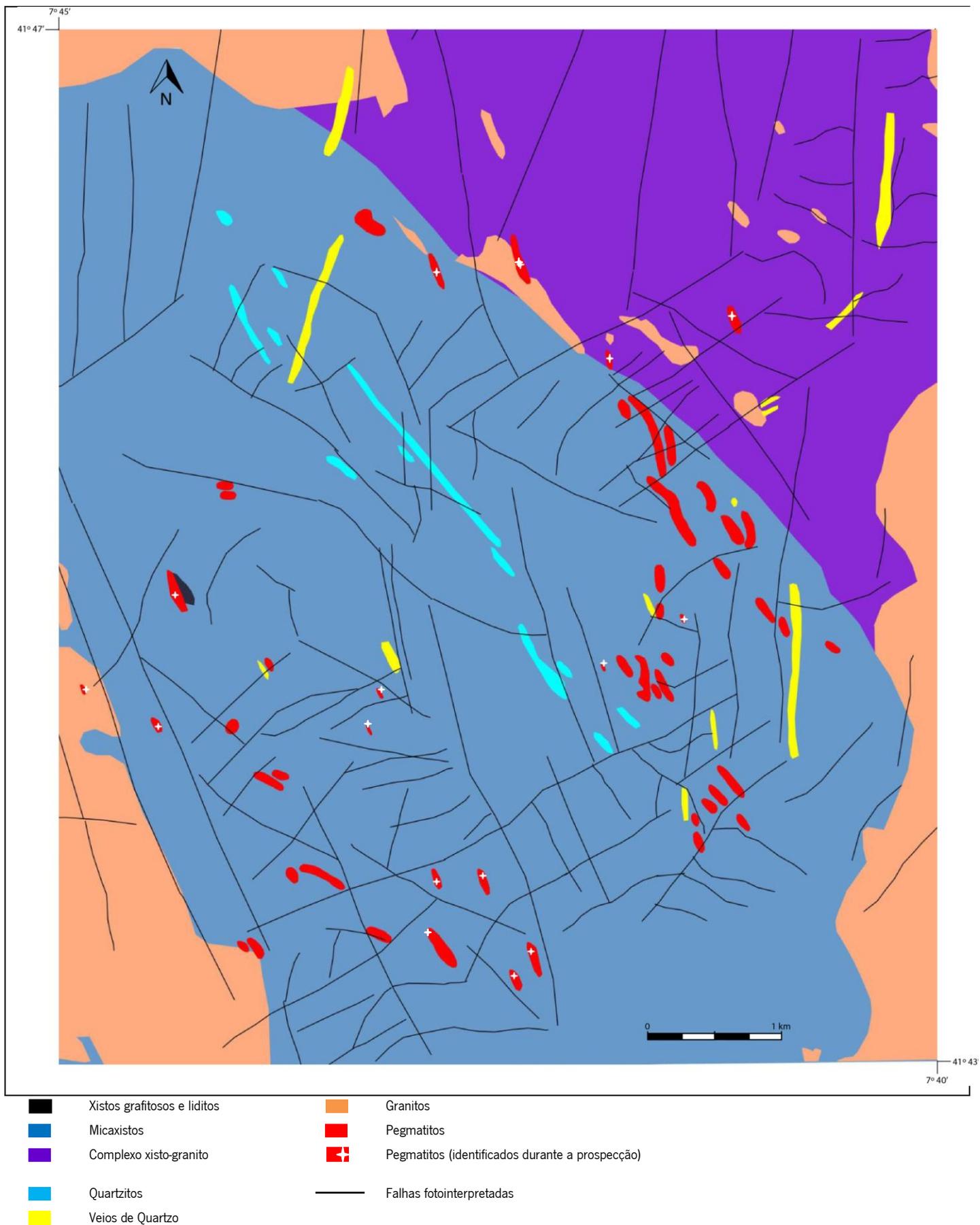


Figura 21 – Carta geológica simplificada da área de prospeção, com representação dos novos corpos filonianos encontrados (adaptado da carta geológica 6B-Chaves, à escala 1: 50 000).

## 4.2. Difraccção de raio-X

Os difractogramas das amostras recolhidas nas proximidades da corta principal do Couto Mineiro do Bessa revelam a presença de petalite (figura 22), confirmando, assim, a existência de pegmatitos do tipo LCT. Além da petalite, também foi detectada a presença de cassiterite (figura 23). Em alguns dos locais prioritários, definidos pela análise distanciada, foram recolhidas também algumas amostras que, na análise de difracção de raio-X, não revelaram nenhum dos minerais anteriormente referidos, pelo que seria necessário proceder a uma amostragem sistemática e não aleatória, tal como foi a realizada nesta fase do trabalho de prospecção.

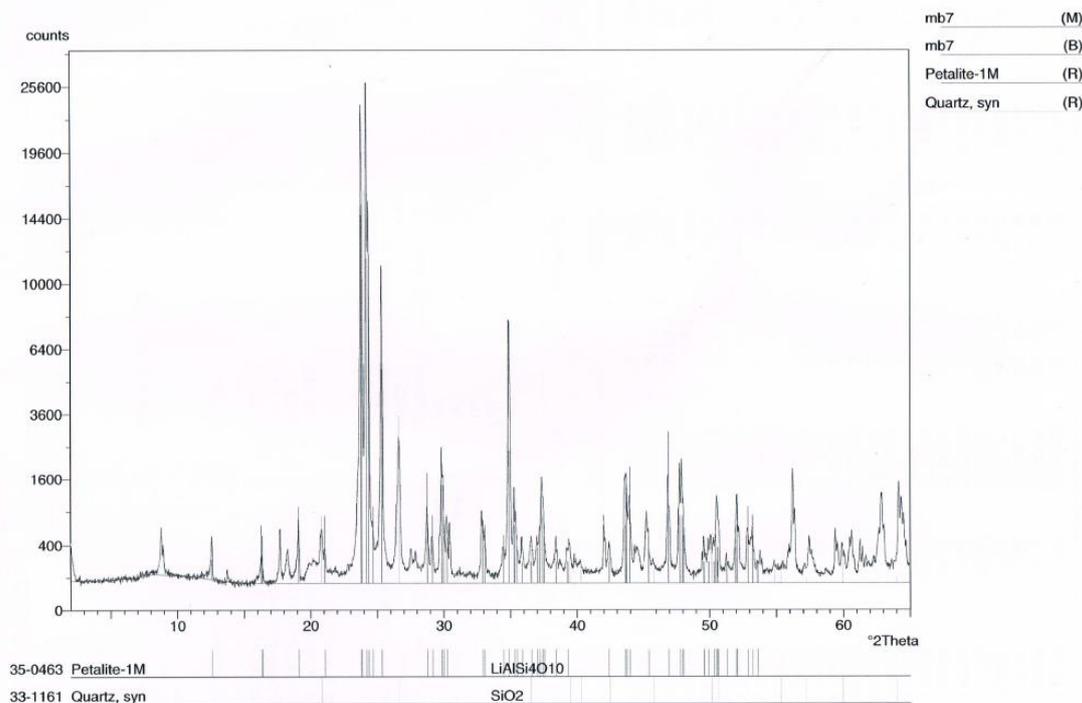


Figura 22 – Difractograma da amostra mb7, indicando a presença de petalite.

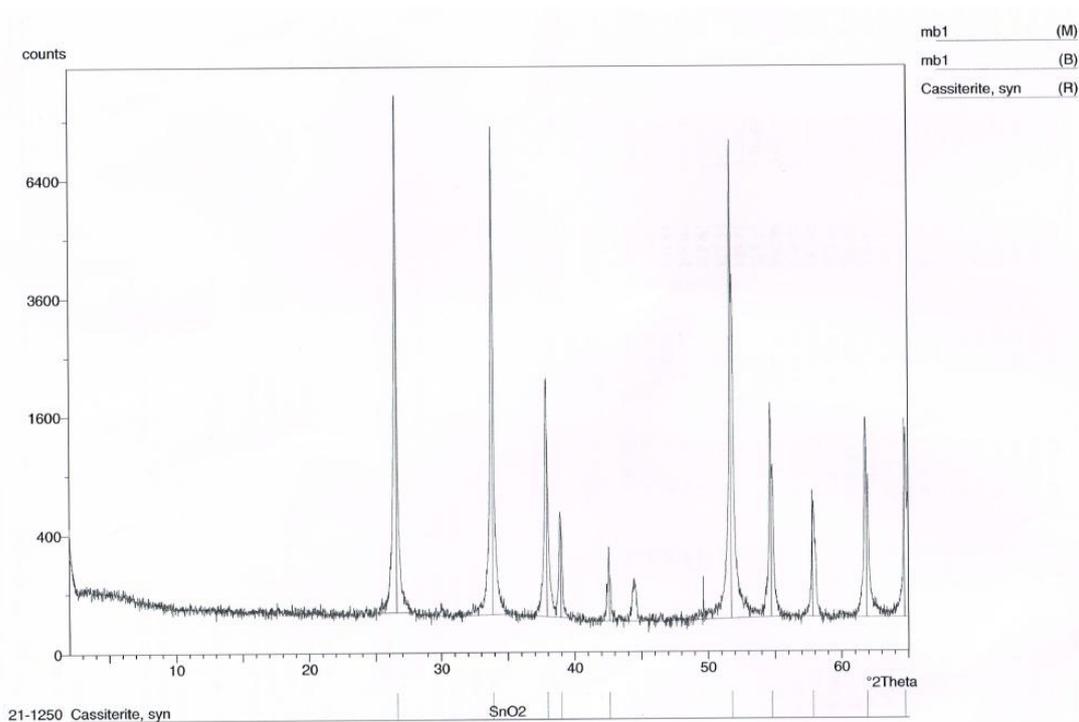


Figura 23 – Difractograma da amostra mb1, indicando a presença de cassiterite.

### 4.3. Estrutura do encaixante metassedimentar e cronologia de instalação dos corpos filonianos de composição granítica

Os estudos de campo permitiram definir no metassedimento (predominantemente constituído por micaxistos, em muitos sectores com veios de segregação metamórfica) duas fases de deformação ( $D_2$  e  $D_3$ ). A  $D_2$  é caracterizada por uma xistosidade ( $S_2$ ) por vezes crenulada ou mesmo apresentando dobras da  $D_3$ . O dobramento  $D_3$  gera uma xistosidade de plano axial ( $S_3$ ) e também cisalhamentos sinistros paralelos a esta estrutura. Quando a  $S_3$  é mais penetrativa, por vezes, observa-se uma lineação de intersecção ( $S_2 \wedge S_3$ ) e estiramento sub-horizontal.

Os corpos filonianos de composição granítica, ao instalar-se, formaram unidades tipologicamente distintas, as quais correspondem a elementos espaciais, cronológicos e composicionais particulares.

Os corpos mais precoces são de textura aplítica e instalaram-se segundo a  $S_2$ , tendo foliação da  $D_3$  (figura 24). Mineralogicamente são essencialmente constituídos por plagioclase (albite-oligoclase). A composição mineralógica indica uma fase precoce de geração e diferenciação destes corpos filonianos.

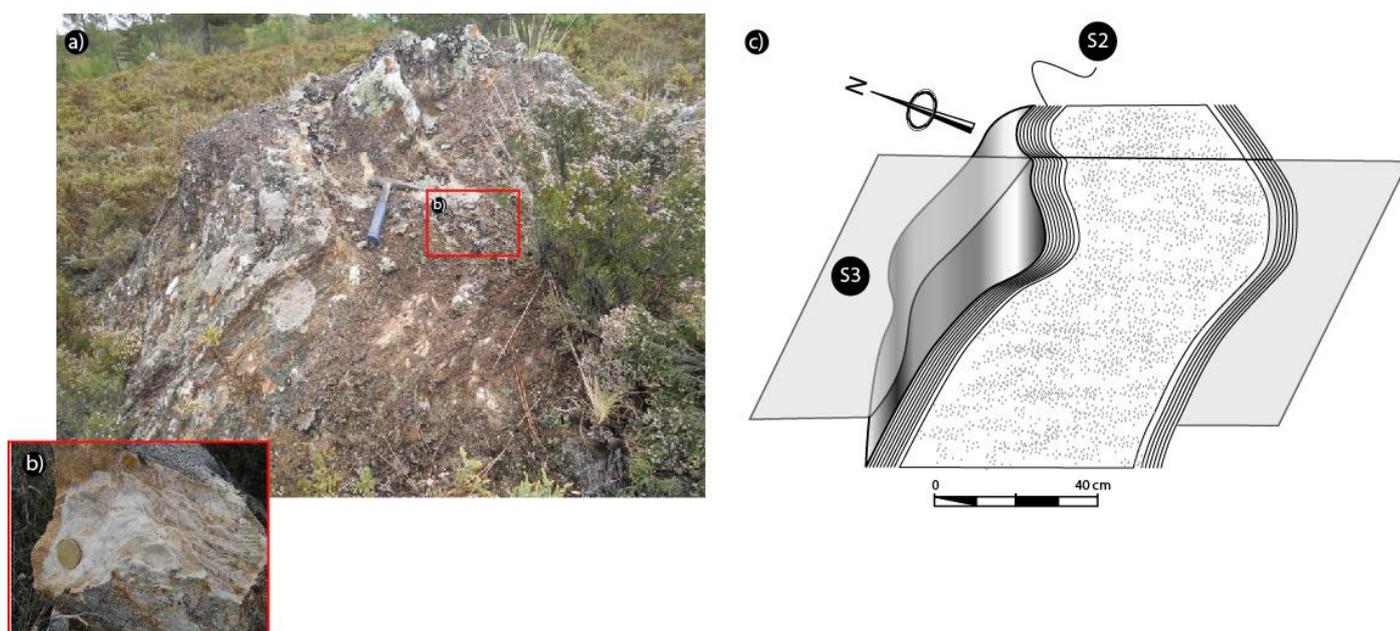


Figura 24 – Corpo filoniano de génese precoce: a) Aplito instalado na  $S_2$  do micaxisto encaixante; b) Pormenor do aplito com a  $S_3$  bem definida; c) Esquema estrutural tridimensional (simplificado) do corpo aplítico vs. encaixante.

Na etapa evolutiva seguinte, os filões são pouco diferenciados, de textura pegmatítica apresentando, contudo, algumas zonas de textura granítica, o que indicia proximidade à fonte magmática.

Seguidamente, instalaram-se aplito-pegmatitos nas superfícies  $S_3$ , apresentando-se, por vezes, deformados por cisalhamentos multifásicos de cinemática esquerda, os quais geraram “boudinage” assimétrica, dobras em S e veios “en-échelon” (figura 25a,b). Na figura 25c observam-se aspectos texturais desta unidade filoniana, notando-se, ainda, a presença de veios de quartzo na salbanda. Quando ocorrem, estes veios de quartzo preenchem o contacto metassedimento/filão, devido a distensões locais geradas pelo cisalhamento, seja por migração de fluidos hidrotermais

tardios de composição quartzosa, seja por fluidos resultantes da digestão do encaixante quartzoso, por efeito da temperatura cedida por advecção.

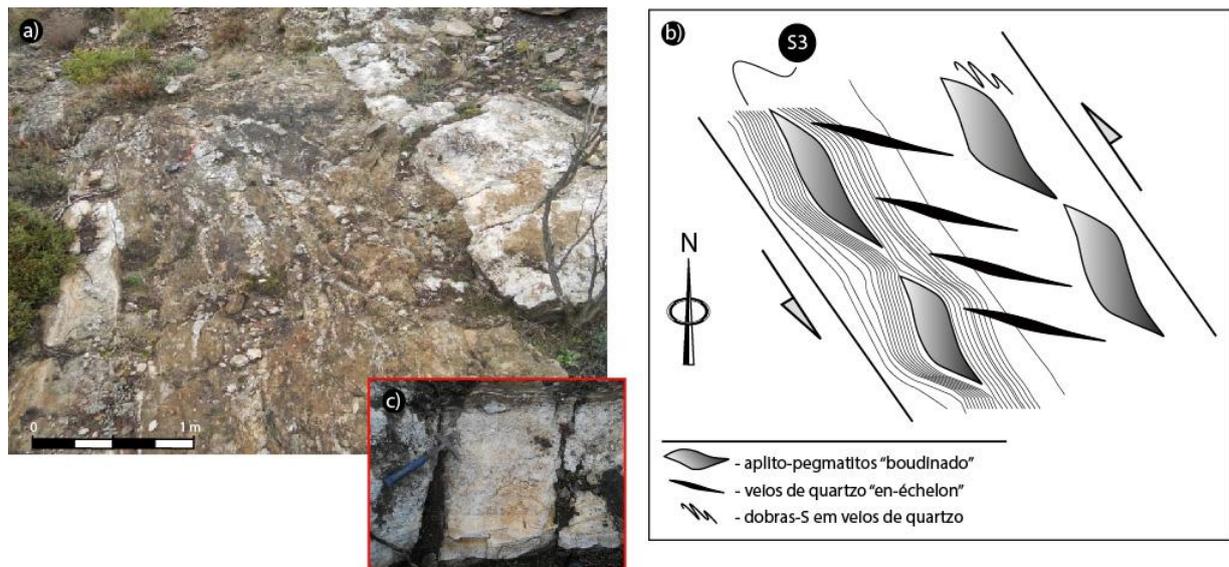


Figura 25 – Corpos filonianos instalados segundo S3 e deformados por corredores de cisalhamento: a) Aplito-pegmatitos em corredor de cisalhamento multifásico; b) Esquema estrutural simplificado do corredor de cisalhamento e dos corpos aplito-pegmatíticos; c) Aspectos texturais do aplito-pegmatito.

Uma outra tipologia filoniana foi identificada, sendo constituída por corpos aplito-pegmatíticos pós-S3, visto se encontrarem discordantes com a foliação do encaixante metassedimentar (figura 26).

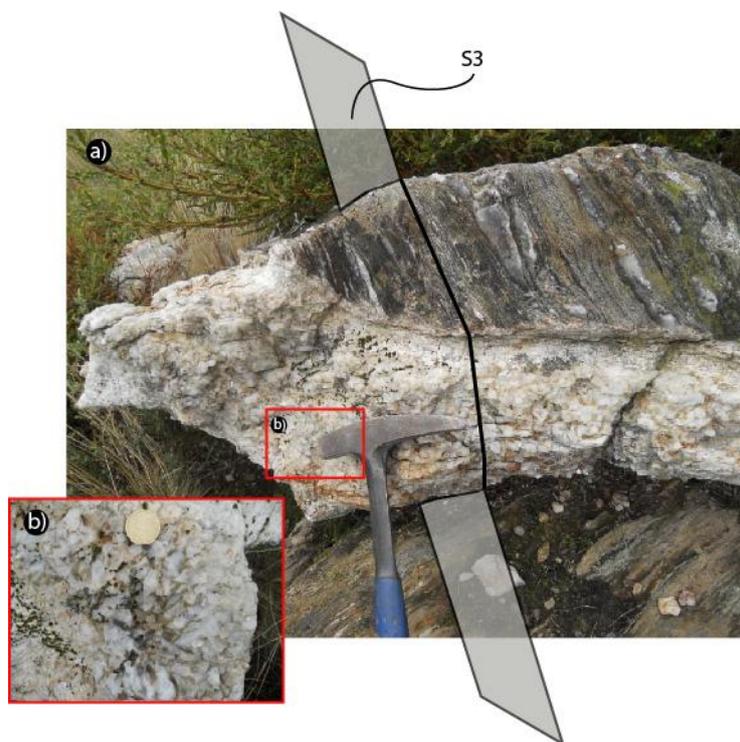


Figura 26 – Corpo filoniano pós-S3: a) Relação espacial entre o corpo filoniano e o encaixante (micaxisto com veios de quartzo de segregação metamórfica); b) Pormenor do aplito-pegmatito mostrando o crescimento centrípeto de quartzo e moscovite.

Na última etapa da diferenciação dos corpos filonianos encontram-se os aplito-pegmatitos do tipo LCT, os quais se situam nos sectores distais relativamente à intrusão magmática parental e correspondem às fácies paroxismais.

## 5. Conclusões e considerações finais

A prospecção de corpos filonianos aplito-pegmatíticos, através da detecção remota e análise distanciada, definiu alvos maioritariamente interessantes, que foram objecto de levantamentos geológicos. Esta abordagem metodológica revelou-se produtiva já que foram identificados e caracterizados diversos afloramentos de corpos e enxames pegmatíticos que não constavam da cartografia geológica existente.

O trabalho de campo realizado permitiu recolher amostras de aplitos-pegmatitos que continham petalite e cassiterite. Este facto constitui uma nova ocorrência de pegmatitos do tipo LCT, já que na bibliografia e cartografia geológica publicada não era mencionada a mineralização litinífera.

Para a área de prospecção foi estabelecida uma cronologia de instalação dos corpos filonianos de composição granítica, tendo-se identificado várias gerações, as quais se iniciaram com a instalação de aplitos sem mineralização e terminaram numa geração mais tardia, de fácies paroxismal e de instalação distal, de aplito-pegmatitos com mineralização do tipo LCT.

A metodologia aqui utilizada pode revelar-se útil no futuro, já que no âmbito da Estratégia Nacional para os Recursos Geológicos – Recursos Minerais, foi aprovada uma Lei de Bases dos Recursos Geológicos, que implementa um novo tipo de direitos sobre os recursos geológicos e minerais: os direitos de avaliação prévia. Esta avaliação permite ao titular realizar estudos e tratar a informação disponível sobre um determinado recurso, numa determinada área, durante o prazo de um ano. No final deste prazo, permite-se ao investidor avançar para o pedido de prospeção e pesquisa ou exploração. Este novo conceito é de saudar, pois pode constituir uma via para impulsionar projectos de prospecção e pesquisa com um baixo investimento financeiro (como foi o caso da metodologia delineada neste trabalho) e, embora sendo de pequena escala individual, a soma das partes poderá permitir o desenvolvimento de um sector mineiro sustentável em Portugal, beneficiando de matéria-prima produzida em território nacional.

## 6. Referências bibliográficas

- ALMEIDA, C. – **Estudo do filão aplitopegmatítico da mina da Bajoca, Almendra. Contribuição científico-tecnológica.** Porto: Universidade do Porto (2003). Dissertação de mestrado. 19-31
- ASSEMBLEIA DA REPÚBLICA; Lei 54/2015 - **Lei de Bases dos Recursos Geológicos**; Estratégia Nacional para os Recursos Geológicos – Recursos Minerais
- BRADLEY, D.; McCAULEY, A. – **A preliminary deposit model for lithium-caesium-tantalum (LCT) pegmatites.** United States Geological Survey. 2013.
- BRISBIN, W. C. - **Mechanics of pegmatite intrusion.** American Mineralogist. Canadá. Volume 71 (1986), p. 644-651.
- Carta militar de Portugal, Folhas 33 e 46, escala 1:25000; Serviços Cartográficos do Exército. Lisboa. 1949
- ČERNÝ, P.; ERCIT, T. – **The classification of granite pegmatites revisited.** The Canadian Mineralogist. Volume 43 (2005), p. 2005-2026.
- CHAUSSIER, J. – **Manuel du prospecteur minier.** Bureau de recherches géologiques et minières. França. 1981
- COELHO, C. – **Modelação e cálculo de recursos de um corpo do jazigo tungstífero de Covas, V.N. de Cerveira, NW Portugal.** Porto: Universidade do Porto, 2014. Dissertação de mestrado. 1-2
- CORREIA, V. – **Prospecção de filões aplito-pegmatíticos mineralizados em espodumena com recurso a métodos geofísicos na região da Serra do Barroso, Trás-os-Montes Ocidental.** Coimbra: Universidade de Coimbra, 1997. Dissertação de mestrado. 11-30
- DIAS, R. - **Evolução geodinâmica de Portugal no contexto do ciclo Varisco.** VIII Congresso Nacional de Geologia. ISSN 1645-0388. Volume 8, nº 3 (2010)
- EU AD-HOC WORKING GROUP ON RAW MATERIALS; 2014; **Report on critical raw materials for the EU**; European Commission; 41 p.
- FREITAS, J. – **Fluidos hidrotermais em pegmatitos graníticos.** Porto: Universidade do Porto, 2014. Dissertação de mestrado. 21-29, 45-48.
- LEAL GOMES, C. – **Análise paragenética das transições de estado e paroxismos evolutivos observados em sistemas pegmatíticos diversificados – Uso de indicadores estruturais, mineralógicos e geoquímicos expressos na Cintura Pegmatítica Centro-Ibérica.** VII Congresso Nacional de Geologia. Universidade de Évora
- LOPES, J.; PEREIRA, B.; GONÇALVES, J. – **Aplicação de técnicas fotogramétricas e detecção remota na caracterização estrutural de uma zona de cisalhamento aurífera no NW de Portugal**; VIII Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia. Amadora. 2015
- LOURENÇO, A. - **Paleofluidos e mineralizações associadas às fases tardias da Orogenia Hercínica.** Porto: Universidade do Porto, 2002. Tese de doutoramento. 41-46, 57-68.
- MARTINS, L. – **Mineral resources of Portugal.** Ministério da Economia e Emprego, Direção Geral da Energia e Geologia. 2012. 45-48
- NORONHA, F. – **Estudo metalogénico da área tungstífera da Borralha.** Porto: Universidade do Porto (1983). Tese de doutoramento. 8-33.

- NORONHA, F.; RIBEIRO, M.A.; ALMEIDA, A.; DÓRIA, A.; GUEDES, A.; LIMA, A.; MARTINS, H.C.; SANT´OVAIA, H.; NOGUEIRA, P.; MARTINS, T.; RAMOS, R.; VIEIRA, R. – Jazigos filonianos hidrotermais e aplitopegmatíticos espacialmente associados a granitos (norte de Portugal), In **“Geologia de Portugal, Volume I – Geologia Pré-mesozóica de Portugal”**. Escolar Editora. 2013. p. 403-438. 978-972-592-364-1
- PEREIRA, B.; **Métodos de detecção remota na prospecção de pegmatitos intra-graníticos do Norte e Centro de Portugal (Cintura Hercínica Centro Ibérica). Contributo para a elaboração de uma cartografia preditiva de ocorrência**. Braga: Universidade do Minho. 2009. Dissertação de mestrado.
- PEREIRA, B.; AZEVEDO, J.; OLIVEIRA, J.; DIAS, P.; LEAL GOMES, C.; FERNANDES, J.; CARVALHO, J. – **PROSPEG – Projecto de prospecção, análise distanciada e detecção remota de pegmatitos**. Sinergeo Lda. e Universidade do Minho. 2013
- PEREIRA, E.; RODRIGUES, J.; 2010 – Caracterização geológica do NW de Trás-os-Montes, In **Mineração e povoamento na antiguidade no alto Trás-os-Montes Ocidental**; Porto; 17-26.
- PINHO, R. – **Aplicação de técnicas de detecção remota para a identificação de lineamentos estruturais num sector do noroeste de Portugal e do sudoeste da Galiza**. Porto: Universidade do Porto (2009). Dissertação de mestrado. 11-17, 34-35, 51-55, 77.
- PITA, P.; RAMOS, J.; PEREIRA, A.; TORRALBA, M.; 2009 – **Plano regional de ordenamento do território do Norte – PROT – Norte, Recursos geológicos e Hidrogeológicos da região Norte**; Comissão de Coordenação da Região do Norte. 47-49, 54-59.
- RAMOS, J. – Principais recursos minerais dos concelhos de Chaves, Montalegre e Boticas, In **Mineração e povoamento na antiguidade no alto Trás-os-Montes Ocidental**; Porto; 27-45.
- RAMOS, R. - **Guias de Prospecção Geológica na Região de Chaves: Contributos Cartográfico, Tectono-estratigráfico e Litogeoquímico**. Porto: Universidade do Porto, 2003. Dissertação de mestrado. 26-32, 41-44.
- RAMOS, R. – **Condicionamentos tectono-estratigráficos e litogeoquímicos da evolução metamórfica varisca, nas unidades parautoctones (Trás-os-Montes Ocidental)**. Porto: Universidade do Porto, 2012. Tese de doutoramento. 9-12.
- RAUMER, J.; STAMPLIFI, G.; BUSSY, F. – Gondwana-derived microcontinents – the constituents of the Variscan and Alpine collisional orogens. Tectonophysics [Em linha]. 2002 [Consulta em 02 Fev. 2015]. Disponível em [www.unifr.ch/.../assets/.../publications-vRetal03.pdf](http://www.unifr.ch/.../assets/.../publications-vRetal03.pdf)
- ROMER, R.; KRONER, U. – Sediment and weathering control on the distribution of Paleozoic magmatic tin–tungsten mineralization. Mineralium Deposita, International Journal for Geology, Mineralogy and Geochemistry of Mineral Deposits. Springer, 2014
- ROMER, R.; KRONER, U. – **Two plates – Many subduction zones: The Variscan orogeny reconsidered**. Gondwana Research. China. N° 24 (2013). 298-329.
- SILVA, D. – **Spatial analysis applied to the Barroso-Alvão rare-elements pegmatite field (Northern Portugal)**. Porto: Universidade do Porto, 2014. Dissertação de mestrado. 5-11.
- SIMMONS, S. – **A look at pegmatite classifications**. Department of Geology and Geophysics, University of New Orleans. EUA.

- SIMMONS, S. – **Pegmatite Genesis: Recent Advances and Areas for Future Research**. Granite pegmatites: The state of art – International symposium (2007). Porto.
- TEIXEIRA, C; ASSUNÇÃO, C.T. e COELHO, A.V - **Carta Geológica de Portugal**, escala 1:50000; Notícia explicativa da folha 6-B, Chaves. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa. 1974
- THORNE, K. – **Tungsten, Mineral Commodity Profile No. 7**. Geological Surveys Branch Lands, Minerals and Petroleum Division. New Brunswick Department of Natural Resources. Canadá.



## ANEXOS

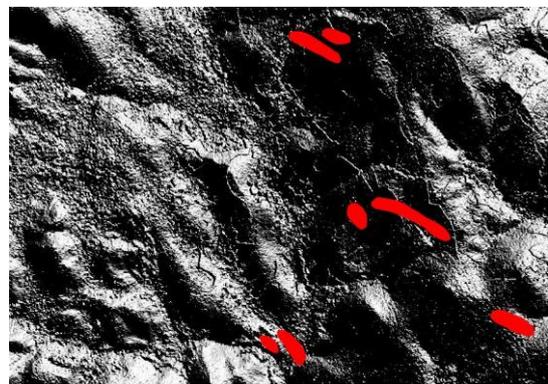
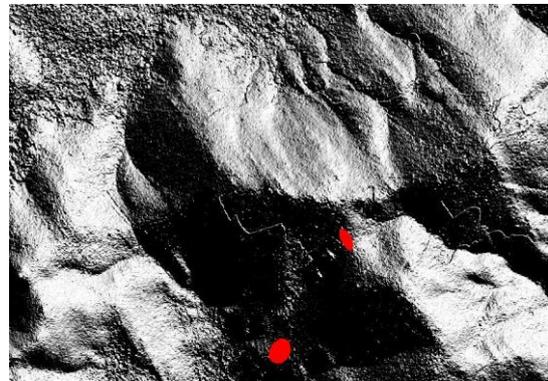
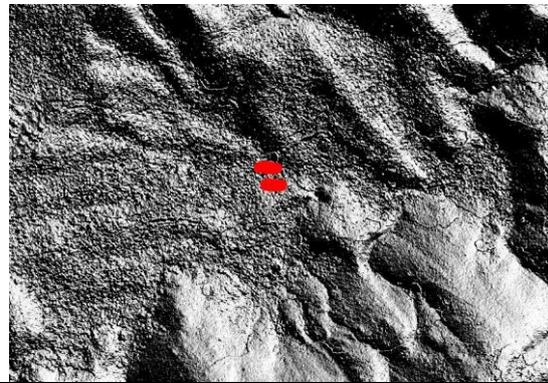
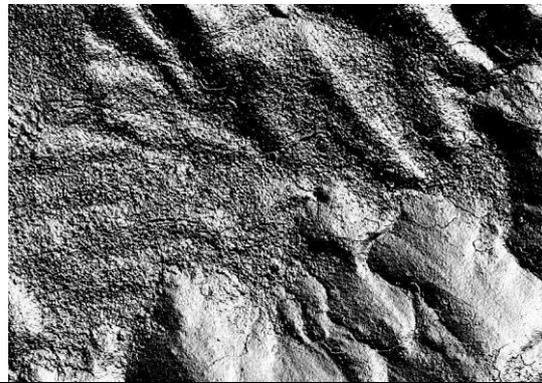
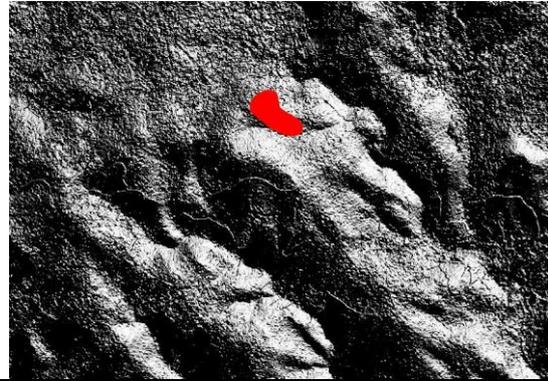
## ANEXO I

- Mapas de relevo sombreado nos azimutes de incidência de luminosidade 45°, 135°, 225° e 315° -

### Anexo I (azimute N45°)

Azimute N45° (sem litologias)

Azimute N45° (com litologias)

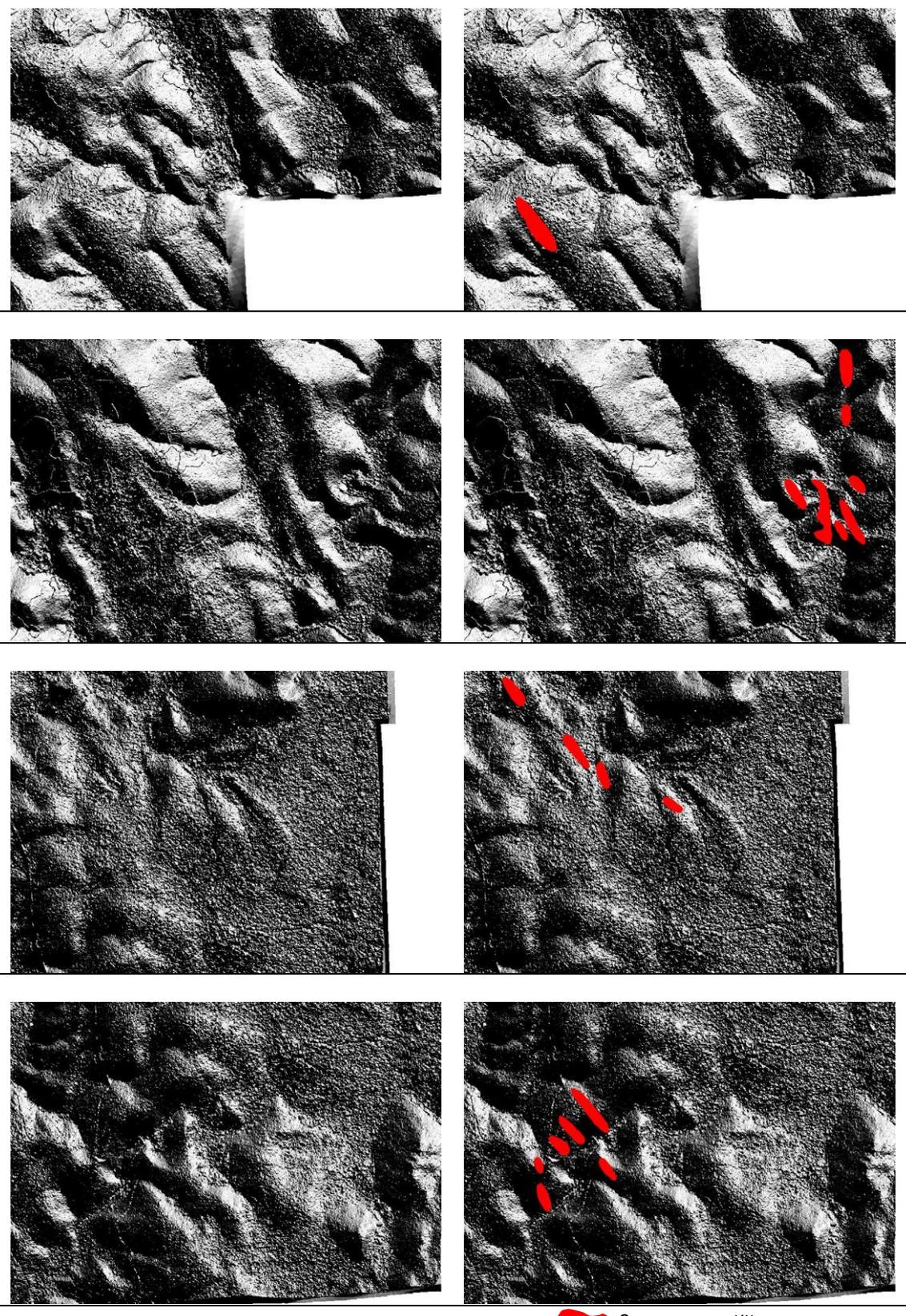


 Corpo pegmatítico

Anexo I (azimute N45° - continuação)

Azimute N45° (sem litologias)

Azimute N45° (com litologias)



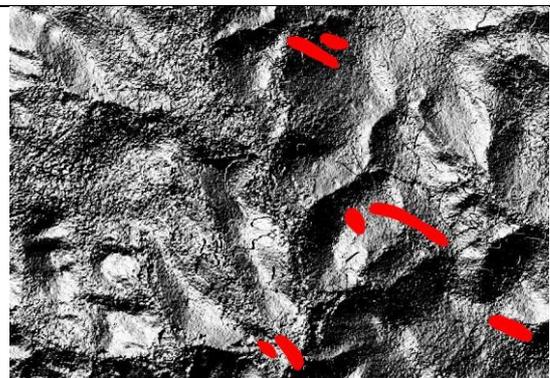
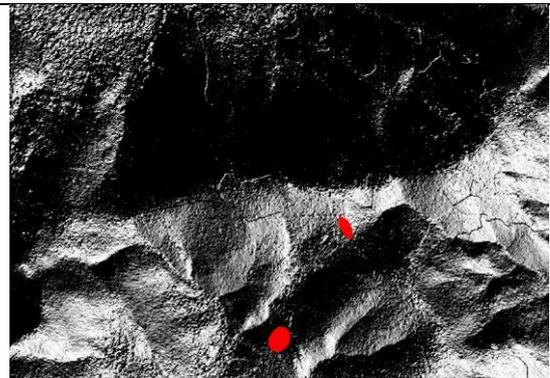
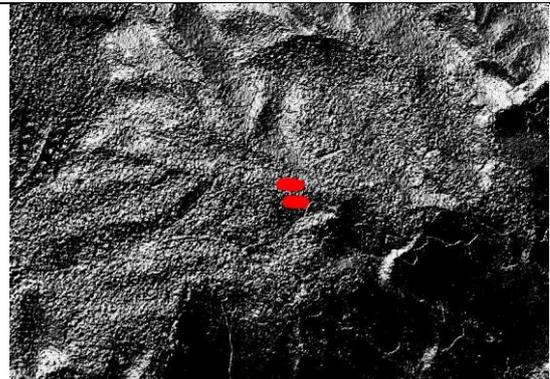
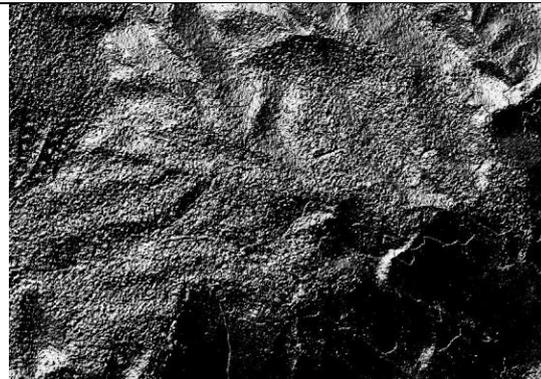
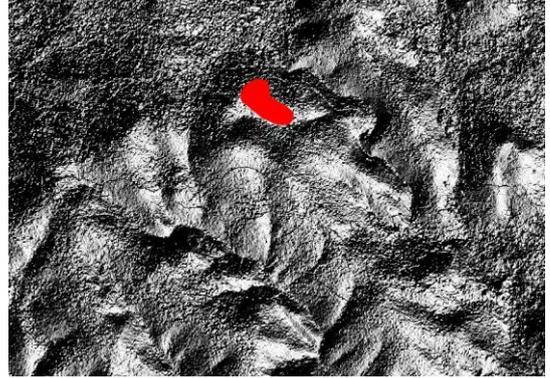
 Corpo pegmatítico

Anexo I (azimute N135°)

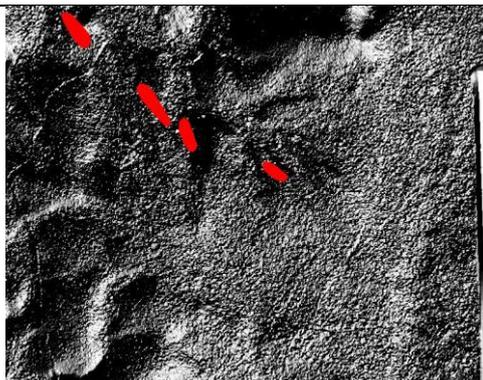
Azimute N135° (sem litologias)



Azimute N135° (com litologias)



Corpo pegmatítico

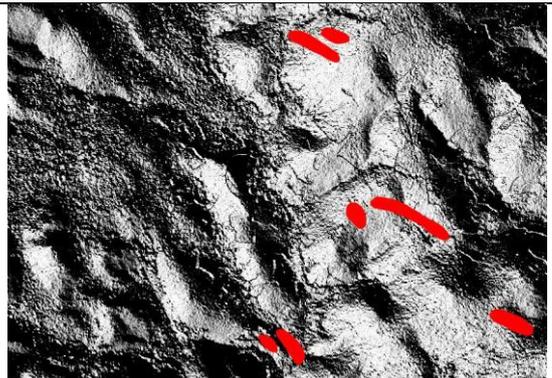
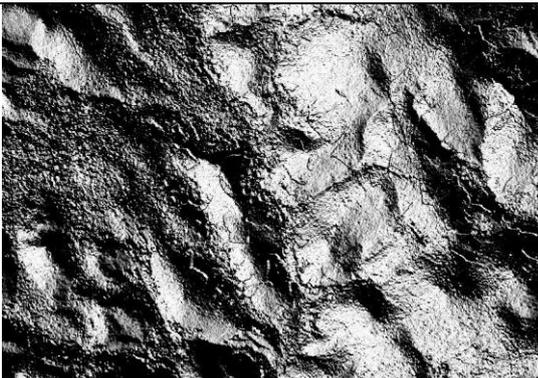
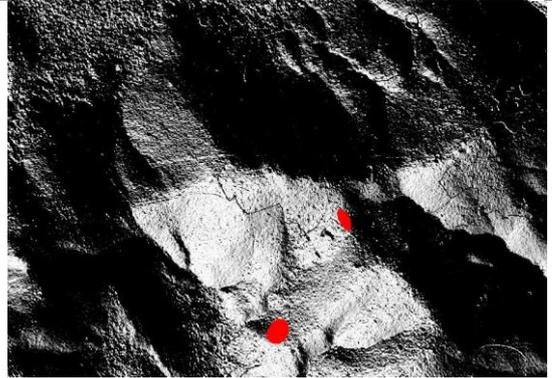
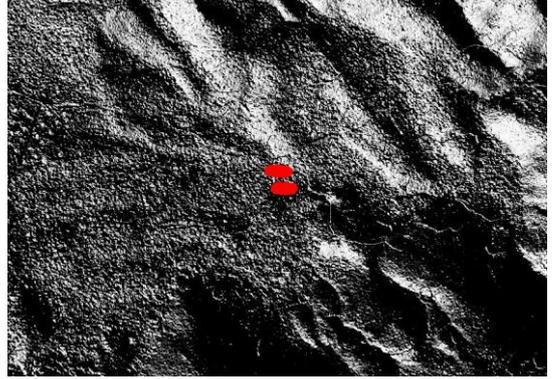
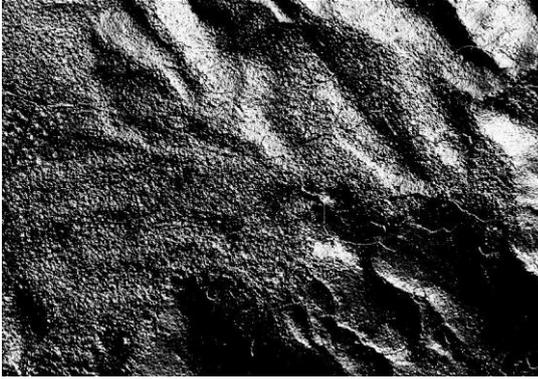
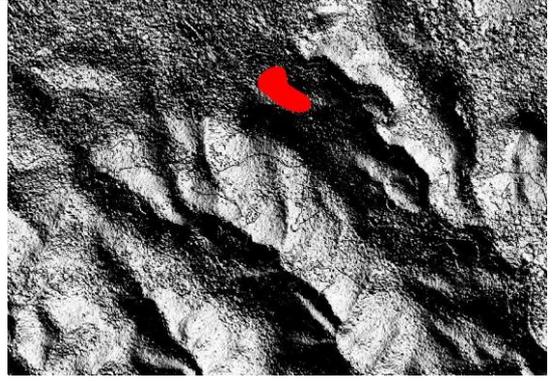


 Corpo pegmatítico

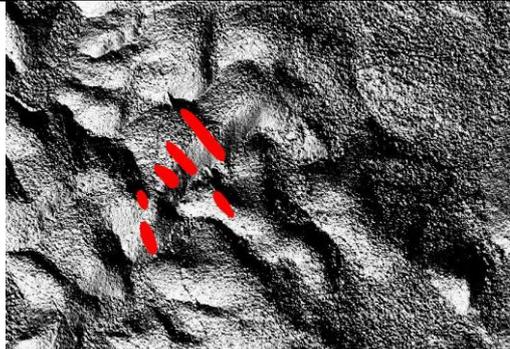
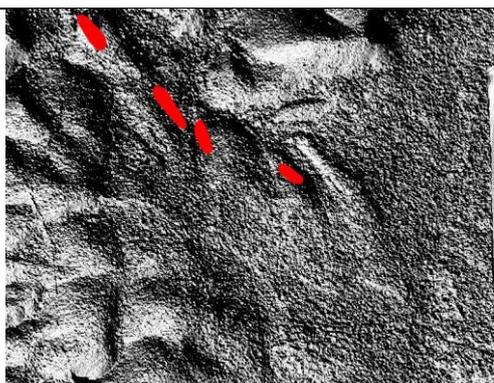
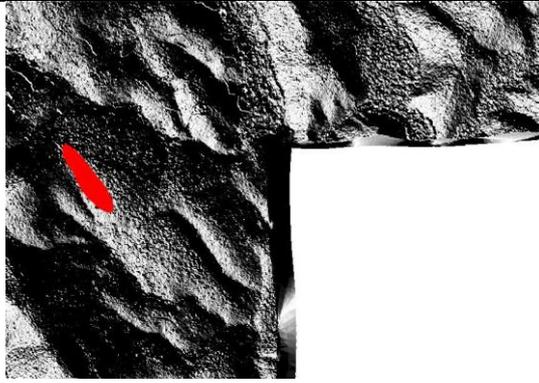
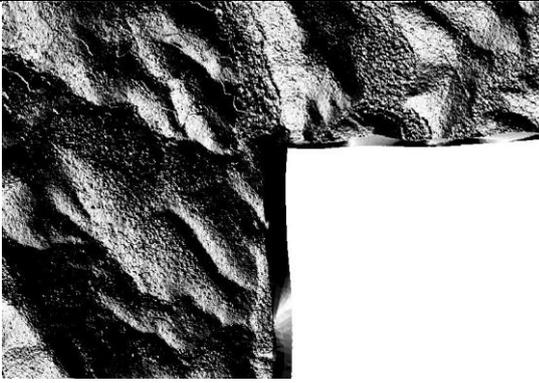
**Anexo I** (azimute N225°)

Azimute N225° (sem litologias)

Azimute N225° (com litologias)



 Corpo pegmatítico

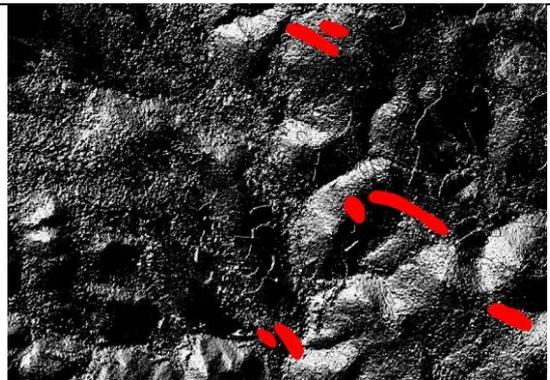
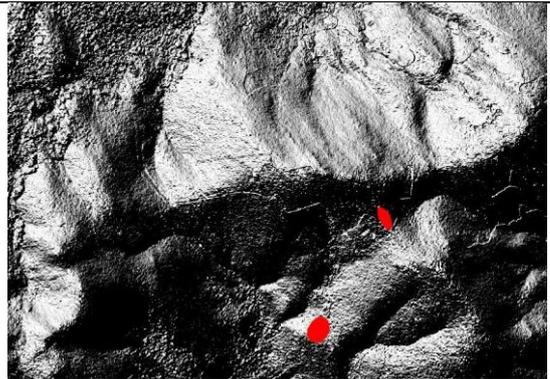
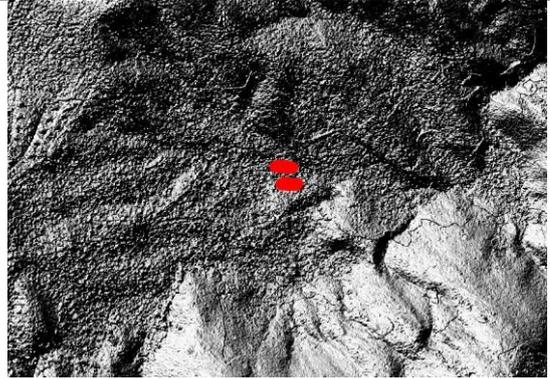
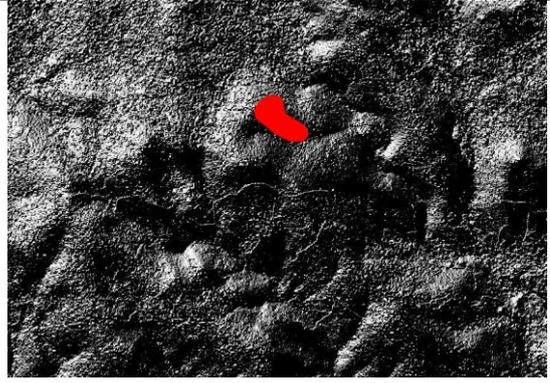


 Corpo pegmatítico

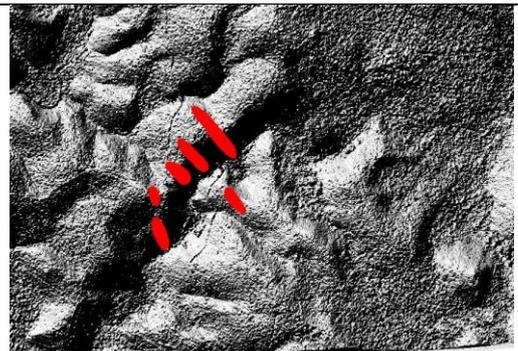
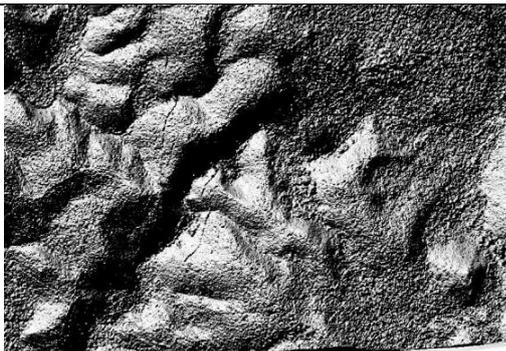
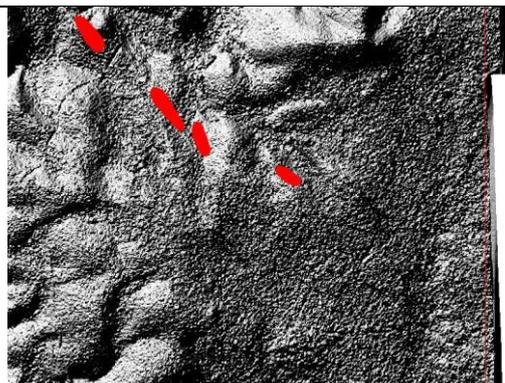
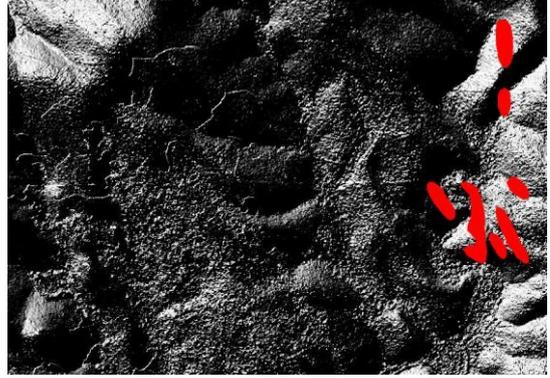
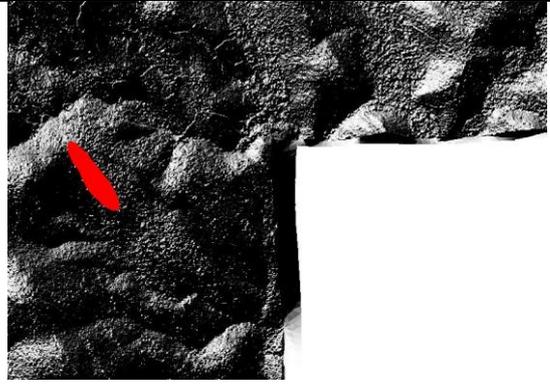
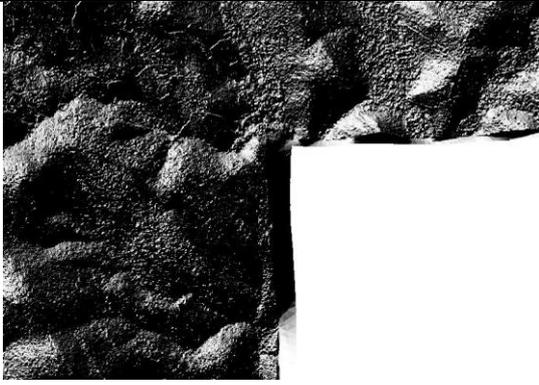
**Anexo I** (azimute N315°)

Azimute N315° (sem litologias)

Azimute N315° (com litologias)



 Corpo pegmatítico



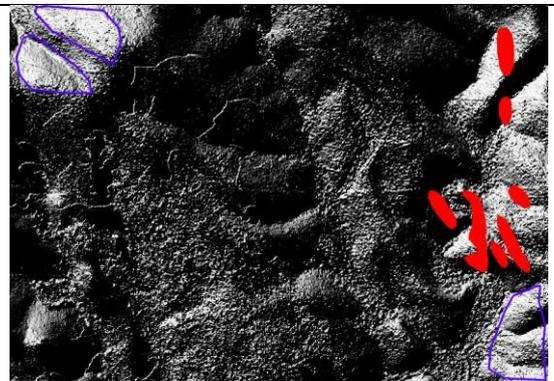
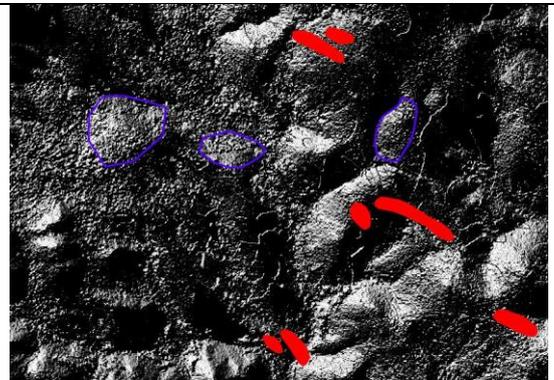
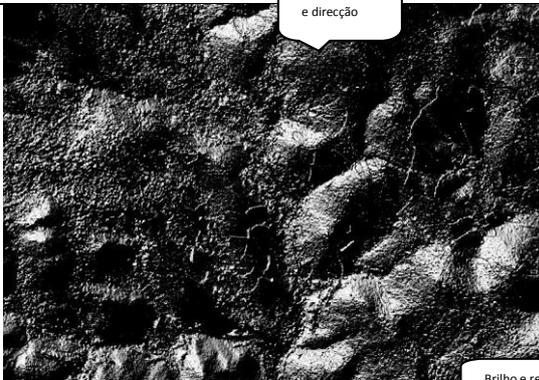
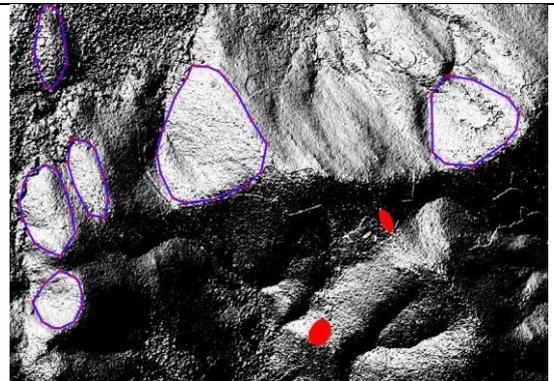
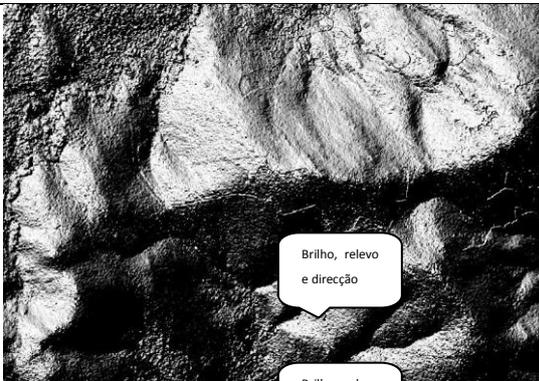
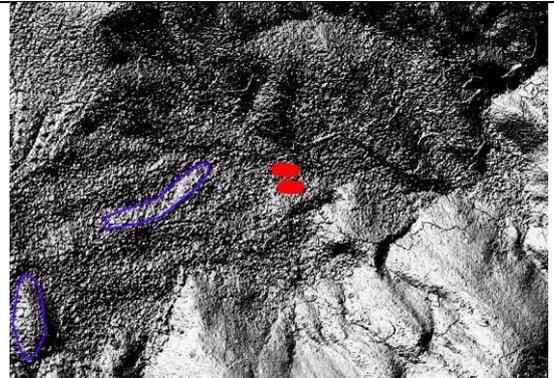
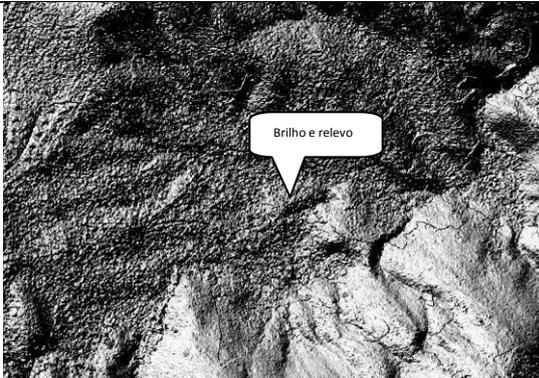
 Corpo pegmatitico

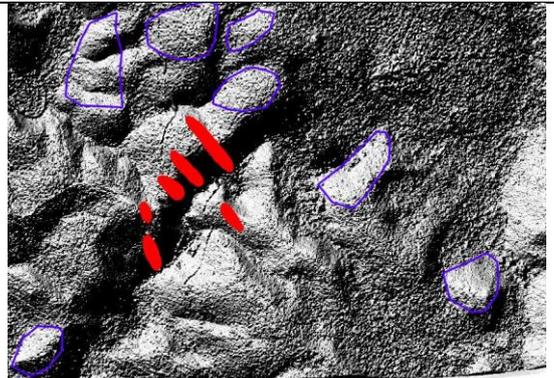
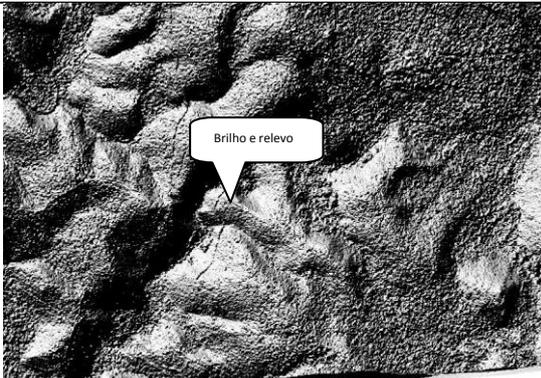
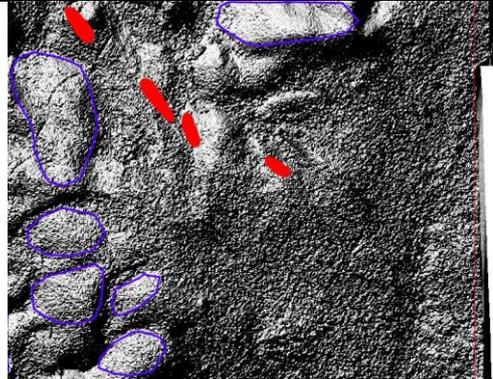
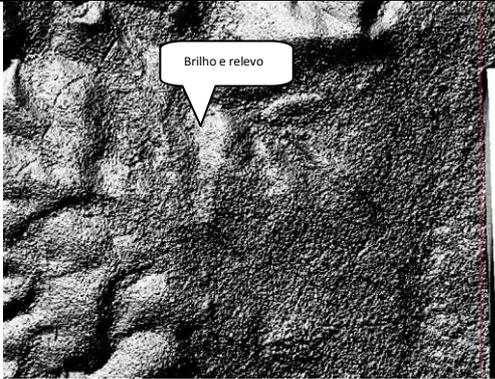
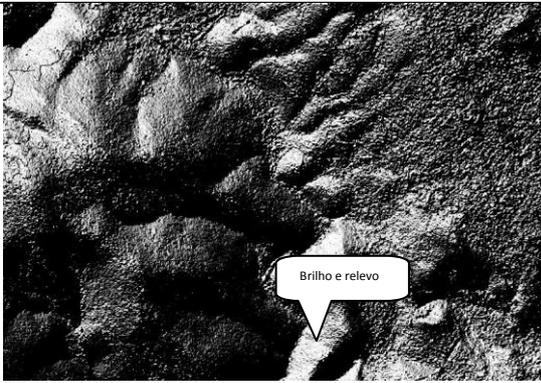


## ANEXO II

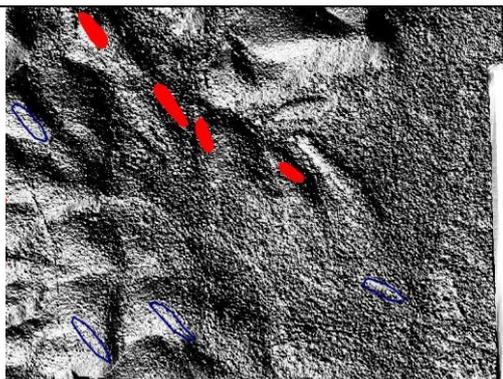
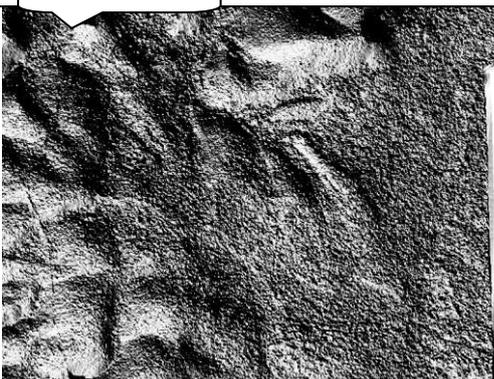
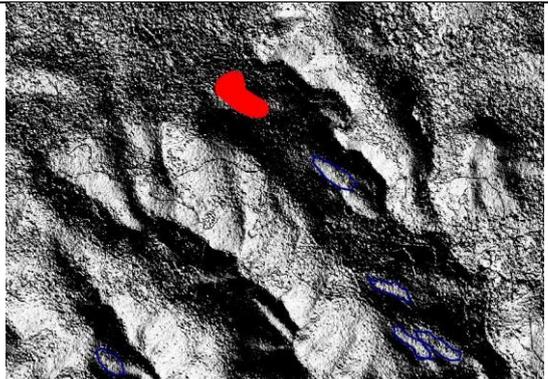
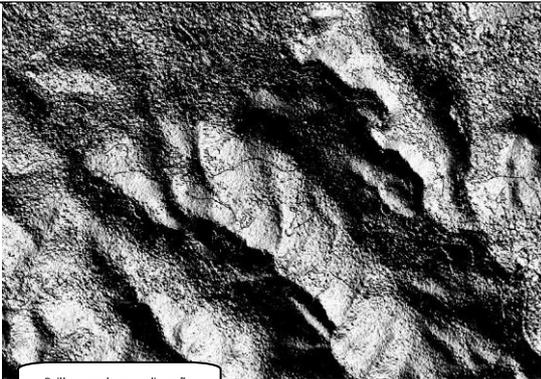
– Mapas de relevo sombreado nos azimutes de incidência de luminosidade 45°, 135°, 225° e 315°, com aplicação dos critérios de identificação de corpos pegmatíticos -

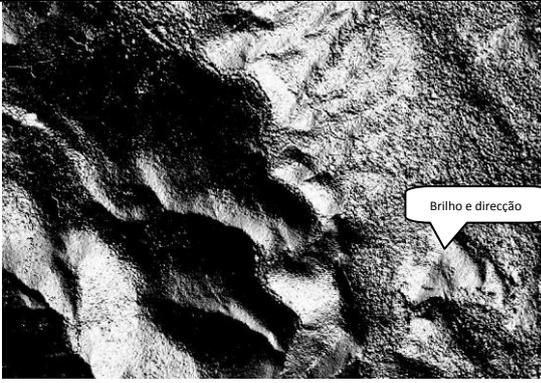
### Anexo II (azimute N315°)



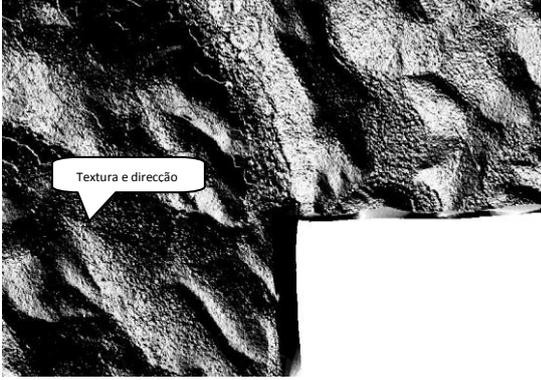
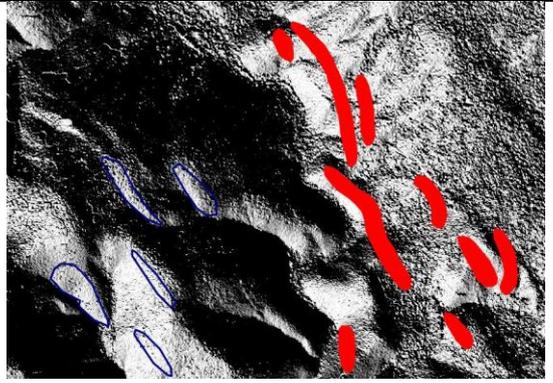


## Anexo II (azimute N225°)

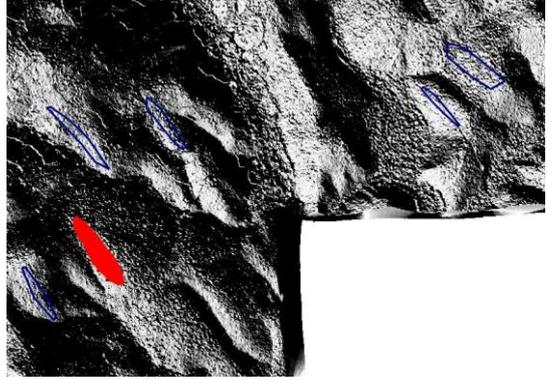




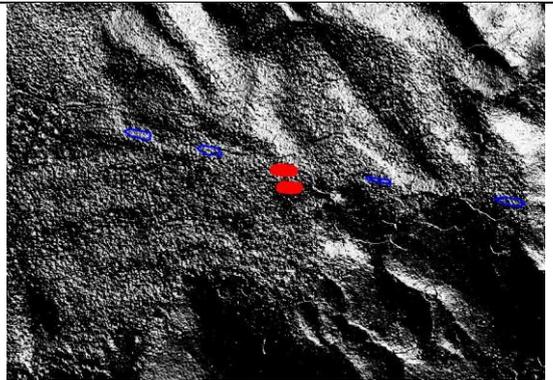
Brilho e direcção



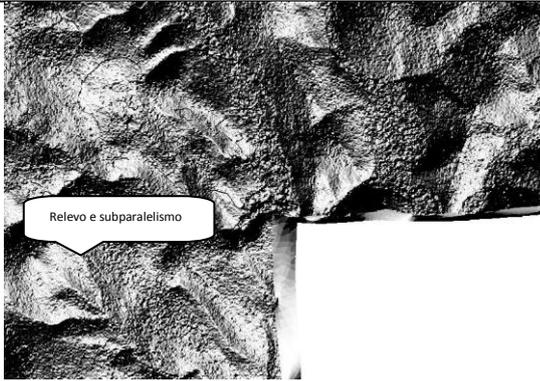
Textura e direcção



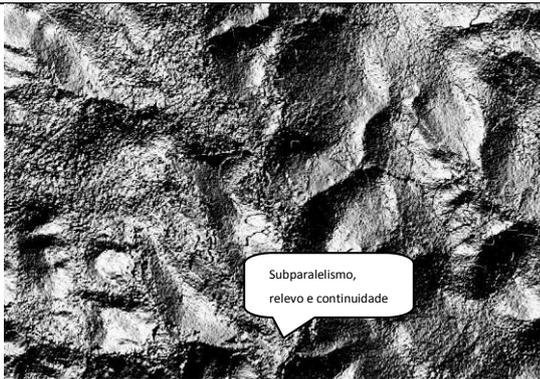
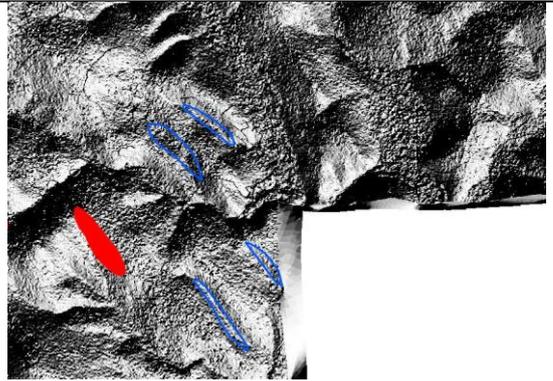
Continuidade, direcção e brilho



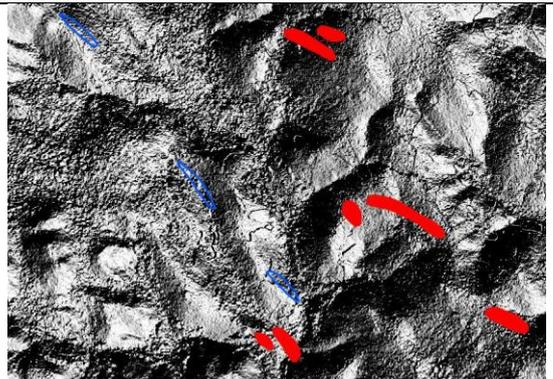
## Anexo II (azimute N135°)

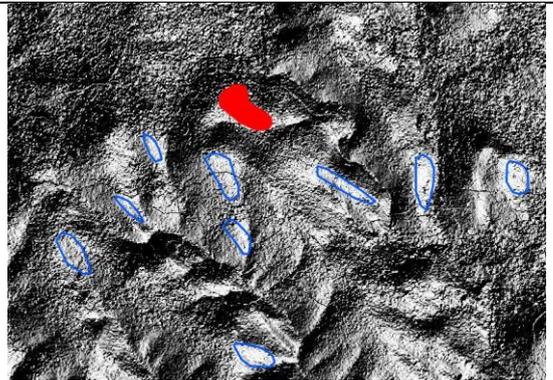
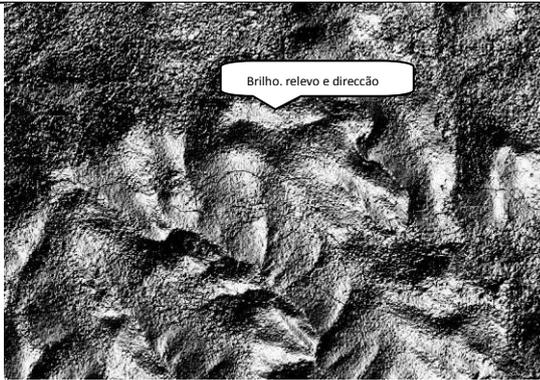
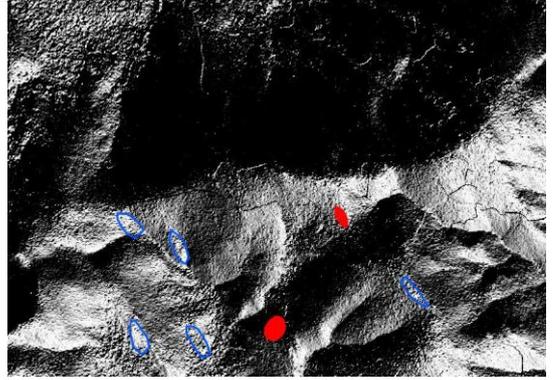
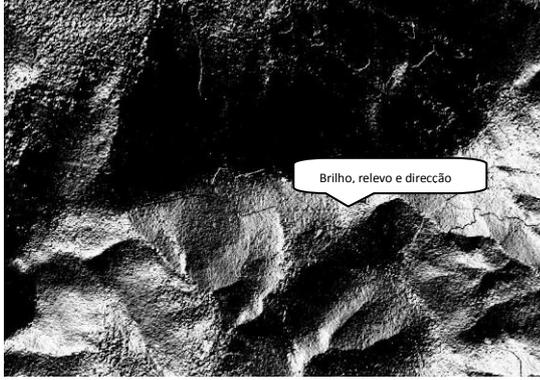
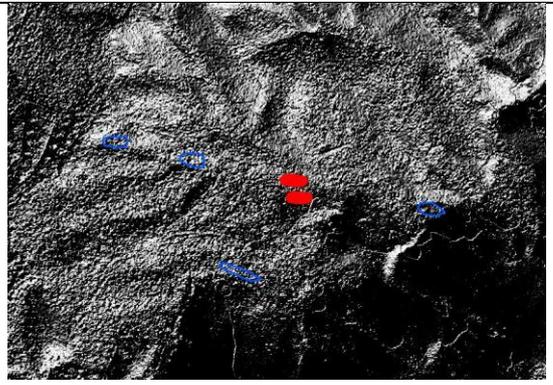
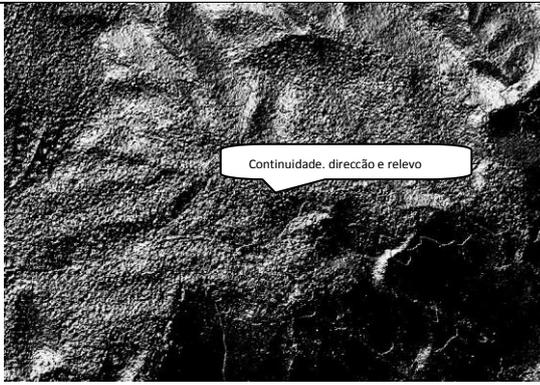


Relevo e subparalelismo

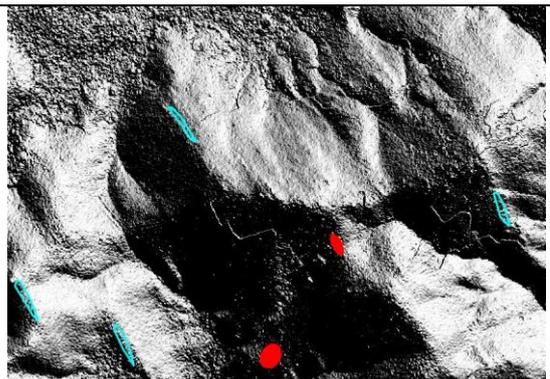
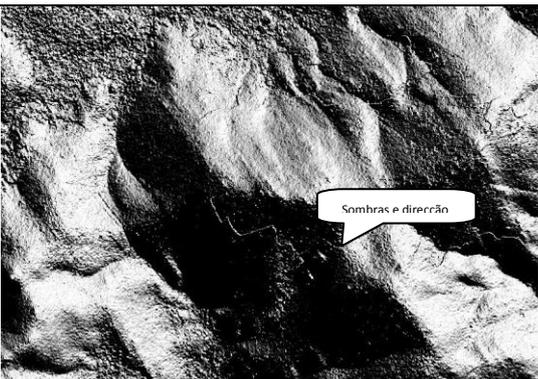
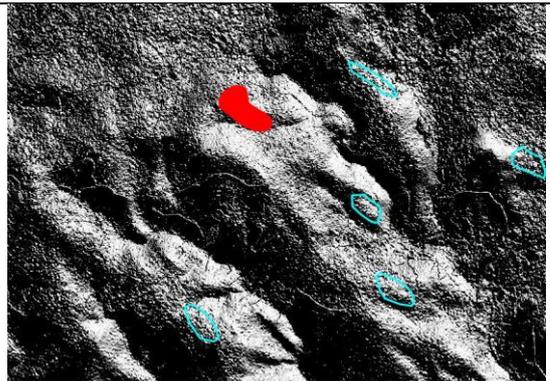
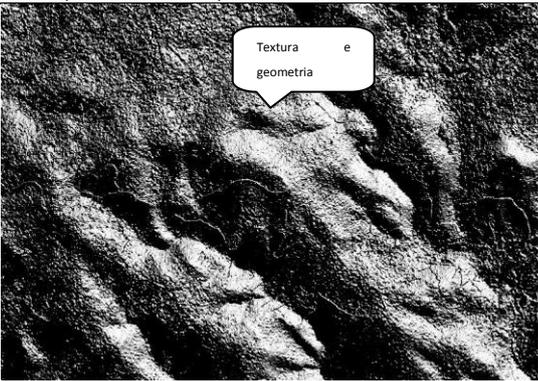


Subparalelismo, relevo e continuidade



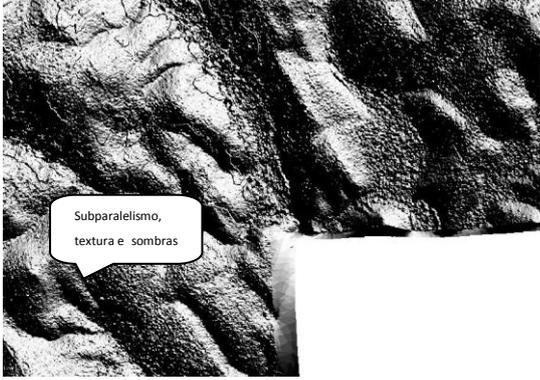
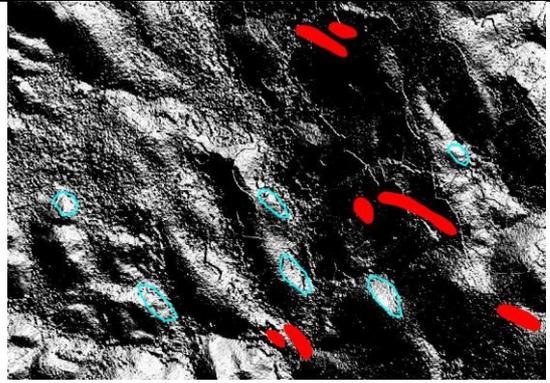


## Anexo II (azimute N45°)

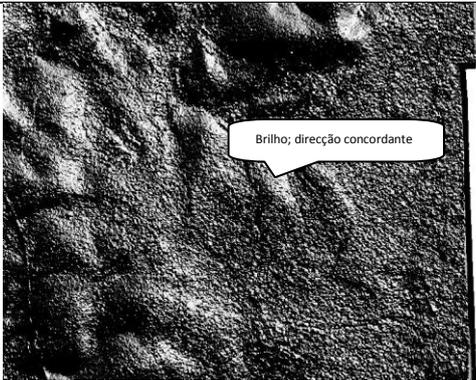
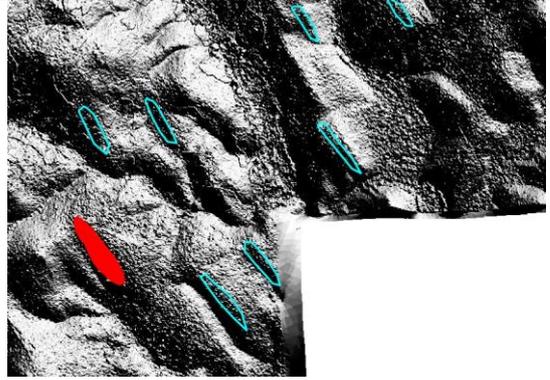




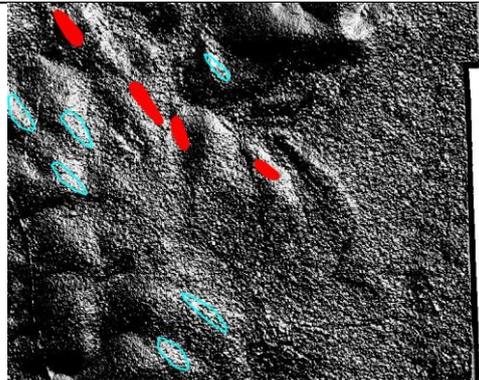
Geometria e relevo



Subparalelismo, textura e sombras



Brilho; direcção concordante

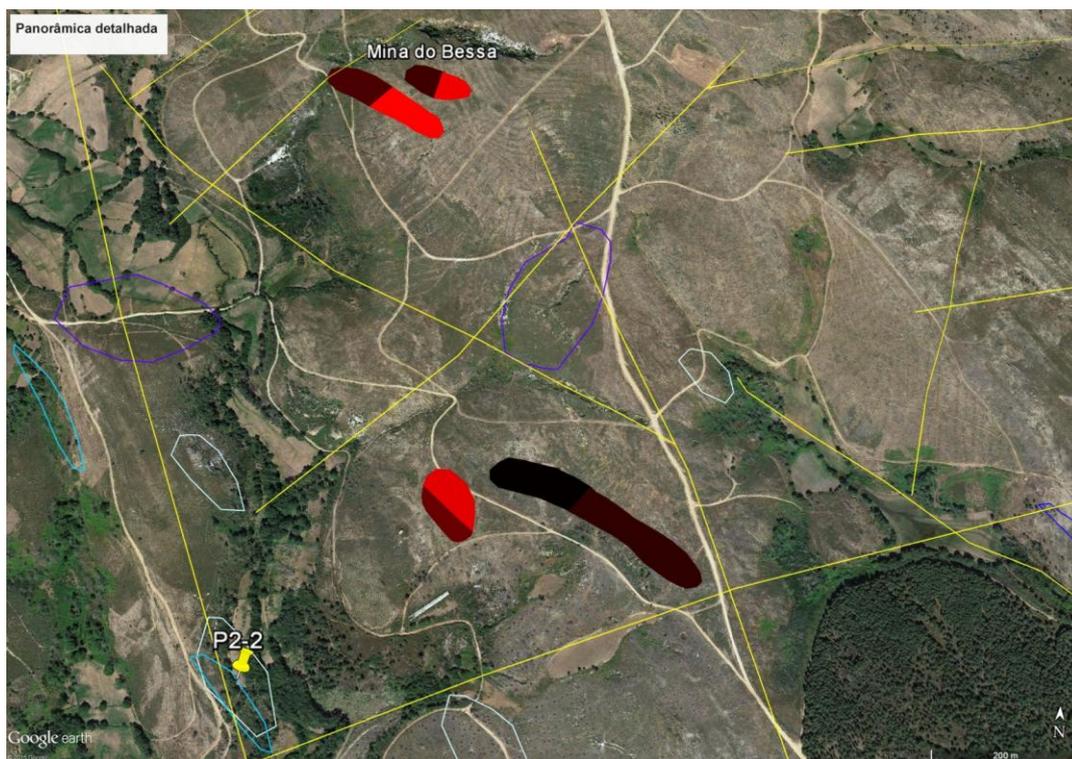
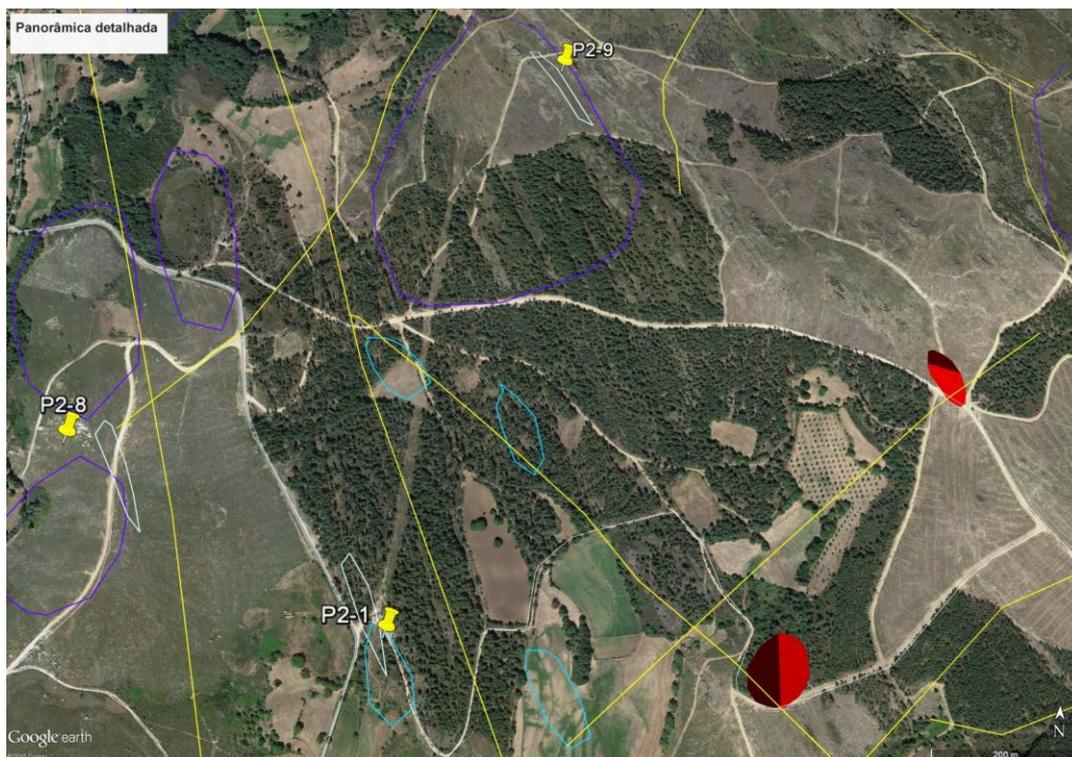


## ANEXO III

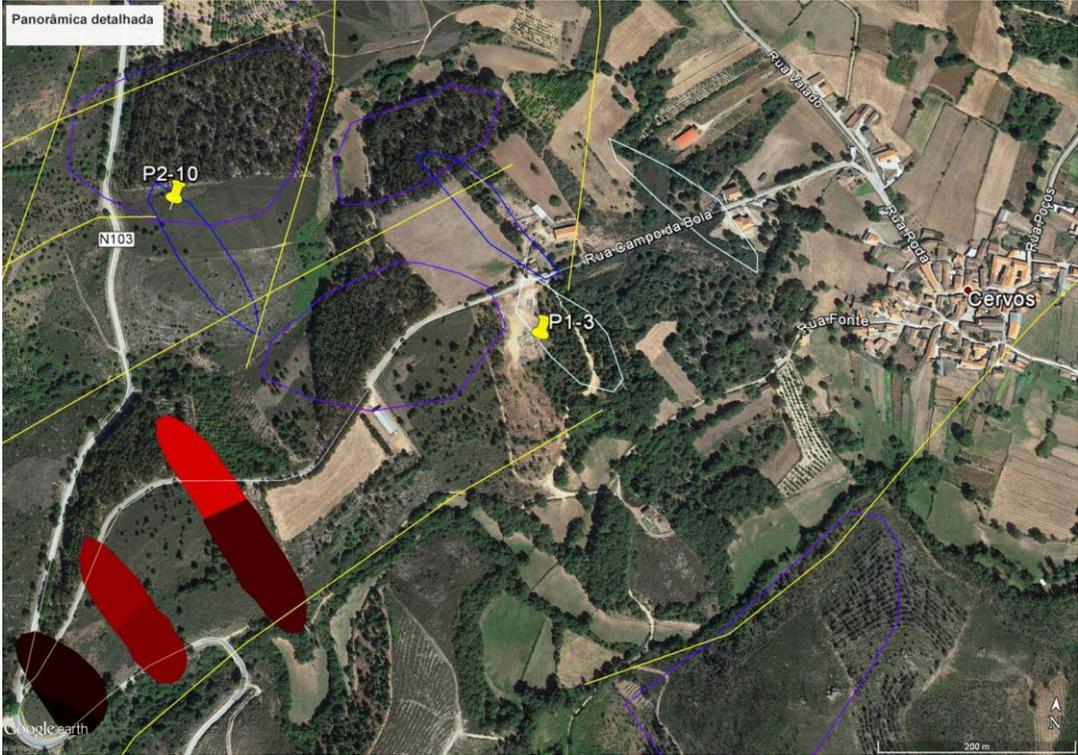
### Anexo III (panorâmica detalhada dos restantes locais a visitar)



Anexo III (continuação)



Anexo III (continuação)



Anexo III (continuação)



## ANEXO IV

- Nos pontos P2-3 e P3-3 (figura IV.1) não foi possível aceder aos locais devido a se encontrarem em terrenos particulares.



Figura IV.1 - Local a visitar P3-3 e P2-3 (Imagem de 31-08-2013, retirada de *Google Earth*)

O mesmo aconteceu nos pontos P3-1 e P3-2, com a agravante de se tratarem de campos agrícolas com remobilização de solo, embora a visualização prévia do local P3-2 (figura IV.2) se afigurasse promissora nas características requeridas, com os afloramentos pegmatíticos assinalados por elipses a vermelho.



Figura IV.2 - Local a visitar P3-2 (Imagem de 31-08-2013, retirada de *Google Earth*), com possíveis afloramentos de corpos pegmatíticos