



Modelação Geológica e Cálculo de Recursos do Depósito Mineral da Concessão Mineira Castanho Sul, Gonçalo-Guarda (Portugal)

Beatriz Coimbra Cruz

Mestrado em Geologia

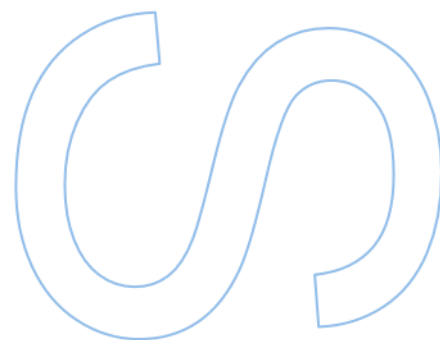
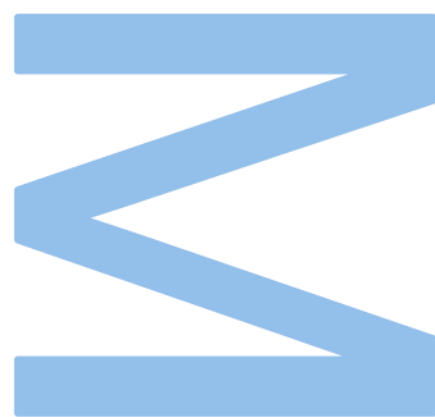
Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território
2023

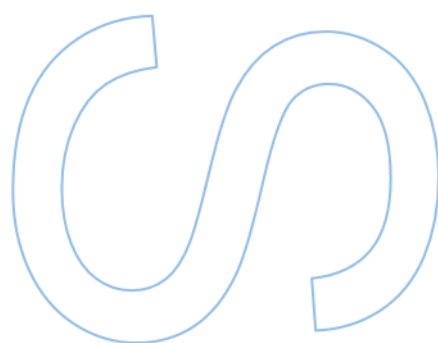
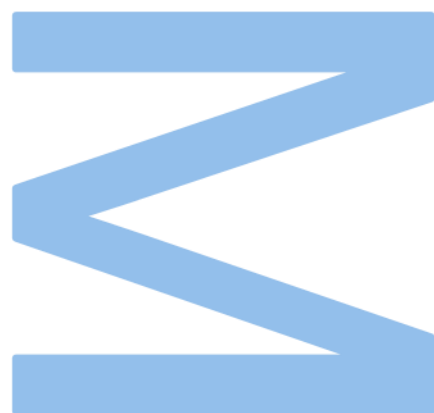
Orientador

Alexandre Martins Campos de Lima, Professor Associado,
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Supervisor

Paulo Jorge Lemos Santiago Moutela, Diretor Técnico de Minas e
Pedreiras, MOTA Ceramic Solutions S.A.





Declaração de Honra

Eu, Beatriz Coimbra Cruz, inscrita no Mestrado em Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto declaro, nos termos do disposto na alínea a) do artigo 14.º do Código Ético de Conduta Académica da U.Porto, que o conteúdo do presente relatório de estágio reflete as perspetivas, o trabalho de investigação e as minhas interpretações no momento da sua entrega.

Ao entregar este relatório de estágio, declaro, ainda, que a mesma é resultado do meu próprio trabalho de investigação e contém contributos que não foram utilizados previamente noutros trabalhos apresentados a esta ou outra instituição.

Mais declaro que todas as referências a outros autores respeitam escrupulosamente as regras da atribuição, encontrando-se devidamente citadas no corpo do texto e identificadas na secção de referências bibliográficas. Não são divulgados no presente relatório de estágio quaisquer conteúdos cuja reprodução esteja vedada por direitos de autor.

Tenho consciência de que a prática de plágio e auto-plágio constitui um ilícito académico.

Beatriz Coimbra Cruz

Porto, 30 de junho de 2023

Agradecimentos

O presente relatório de estágio foi desenvolvido na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP) e na empresa Felmica – Minerais Industriais S.A. (Felmica). Foi um projeto que não seria possível sem a ajuda e apoio, a nível académico e pessoal, de algumas pessoas que fui conhecendo ao longo da minha formação académica.

Na FCUP foi possível estar em contacto com grandes profissionais e professores da área, agradeço a todos por o apoio, ajuda e conhecimentos transmitidos ao longo da minha formação académica, que permitiram e ajudaram na realização deste relatório de estágio.

Em especial, agradeço ao professor Alexandre Lima, orientador deste estágio, pela oportunidade proporcionada, orientação, motivação, ajuda e disponibilidade para esclarecer qualquer dúvida que inevitavelmente foi surgindo ao longo da minha formação e realização deste projeto.

Do mesmo modo, agradeço também ao geólogo Paulo Moutela, supervisor deste estágio, pelo tempo dedicado na minha orientação, pelo apoio e ajuda para esclarecer qualquer dúvida, e pelo vasto conhecimento que me foi transmitido ao longo deste projeto.

Aos trabalhadores da empresa Felmica que fui conhecendo ao longo deste período, pela simpatia, amizade e ajuda, e pelo excelente ambiente de trabalho proporcionado.

Aos meus colegas e amigos de licenciatura e mestrado, pelo companheirismo e espírito de entreajuda e todo o apoio e motivação partilhado nos momentos mais difíceis.

Por último, mas não menos importante, à minha família e namorado, por aceitar e apoiar as minhas escolhas, e por todo o incentivo e ajuda nos momentos mais difíceis do meu percurso académico.

Resumo

A concessão C-43 "Castanho Sul" localiza-se na freguesia de Gonçalo, a cerca de 15 quilómetros sudoeste da cidade da Guarda, e os direitos desta área de concessão foram atribuídos à Felmica - Minerais Industriais S.A., do grupo MOTA *Ceramic Solutions* S.A., em 1995 para a exploração de feldspato e quartzo em soleiras aplitopegmatíticas do campo aplitopegmatítico de Seixo Amarelo - Gonçalo.

O trabalho apresentado neste relatório de estágio é o resultado de uma colaboração entre a Felmica - Minerais Industriais S.A. e a Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, que consistiu na compilação de todos os dados disponíveis sobre a área e a sua integração no software Leapfrog Geo (Seequent, 2023). O objetivo principal é visualizá-los num ambiente tridimensional, construindo uma série de modelos geológicos 3D, que representem os recursos minerais disponíveis de forma a realizar uma estimativa dos mesmos.

Para este trabalho foram considerados um total de dezassete furos de sondagem executados em duas áreas diferentes dentro da concessão com uma profundidade média total de 16,81 metros por sondagem, totalizando 285,77 metros. Utilizando maioritariamente dados gerados através de trabalhos de superfície e por análises de sondagens e testemunhos, foram construídos vários modelos geológicos simplificados, incluindo as três principais litologias da área: o granito da Guarda, os metassedimentos do Complexo Xisto – Grauváquico e as soleiras aplitopegmatíticas. Outros resultados de análises laboratoriais, como os dados ICP-MS (Espectrometria de Massa Acoplada a Plasma Indutivo) e XRF (Fluorescência de Raios-X), foram considerados e utilizados para gerar modelos de distribuição 3D capazes de calcular o teor do mineral lítio neste depósito mineral.

Os valores obtidos através dos dois métodos foram semelhantes. Para o bloco A foram calculadas 27 977,20 toneladas, o que corresponde a uma diferença de 838,58 toneladas comparando com as 28 815,78 toneladas calculadas através do método dos perfis. Para o bloco B, um total de 75 504,00 toneladas, o que corresponde a uma diferença de 1 305,20 toneladas comparando com as 74 198,80 toneladas calculadas através do método dos perfis. O cálculo de recursos a partir das funcionalidades do programa Leapfrog Geo mostrou ser eficaz e os resultados mostram ser positivos e vão de acordo com as interpretações e os cálculos efetuados pela empresa usando outros

métodos, o que torna esta metodologia apelativa para a aplicação em outras concessões atuais e futuras.

Palavras-chave: modelação geológica, aplitopegmatitos, 3-D, avaliação de recursos minerais, compilação de dados, visualização, ICP-MS, XRF.

Abstract

The C-43 “Castanho Sul” concession is located in Gonçalves parish, about 15 kilometres southwest of the city of Guarda, and the rights to this concession area have been attributed to Felmica – Minerais Industriais S.A., from the group MOTA Ceramic Solutions S.A., since 1995 for the exploration of feldspar and quartz in aplite-pegmatite sills of the Seixo Amarelo – Gonçalves aplite-pegmatite field.

The work presented in the internship report is the result of a collaboration between Felmica – Minerais Industriais S.A. and the Faculty of Sciences of the University of Porto, which consisted in compiling all the data available for the area and integrating it into Leapfrog Geo software. The primary goal is to visualize them in a three-dimensional environment and build a series of 3D models representing the mineral resources available and perform a resource and grade estimation.

A total of seventeen drill holes drilled in three different areas inside the concession with a mean total depth of 16,81 metres were considered for this work.

Using mostly data generated by surface work and by drilling and core analysis, several simplified geological models were built including the three major lithologies in the area: the Guarda granite, the Schist – Greywacke Complex metasediments and the aplite-pegmatite sills. Other laboratory analysis results, such as ICP-MS and XRF, were taken into consideration and used to generate 3D distribution models able to calculate the mineral deposit's grade in relation to the mineral lithium.

The values obtained by the two methods were similar. For block A, a total of 27 977.20 tonnes were calculated, which corresponds to a difference of 838.58 tonnes compared to the 28 815.78 tonnes obtained using the traditional method. For block B, a total of 75 504.00 tonnes, which corresponds to a difference of 1 305.20 tonnes compared to the 74 198.80 tonnes previously calculated. The resources estimation from the Leapfrog Geo programme's functionalities proved to be effective and the results are positive and in line with the interpretations and calculations made by the company using other methods, which makes this methodology viable for application in current and future projects.

Keywords: geological modelling, aplite-pegmatites; 3-D; resource estimation, data compilation, visualization, ICP-MS, XRF.

Índice

Índice de Tabelas	3
Índice de Figuras	5
Lista de Abreviaturas	1
1. Introdução	2
1.1. Interesse e Objetivos	3
1.2. Estrutura	3
1.3. Estado de Arte	4
2. Pegmatitos Graníticos	7
2.1. Génese	9
2.2. Classificação de Pegmatitos Graníticos	10
2.2.1. Classificação Geoquímica e Paragenética.....	10
2.2.2. Classificação Petrogenética.....	12
2.2.3. Pegmatitos em Portugal	14
3. Recursos e Reservas Minerais	16
3.1. Recurso Mineral	17
3.2. Reserva Mineral	18
4. Gestão do Território Português	20
4.1. Instrumentos de Gestão Territorial	21
4.2. Áreas Sensíveis	23
5. Enquadramento da Área em Estudo.....	26
5.1. Enquadramento Geográfico	26
5.2. Gestão do Território	29
5.3. Enquadramento Geológico Regional.....	33
5.4. Enquadramento Geológico Local	36
6. Modelação Geológica 3D.....	38
7. Dados e Metodologias	41
7.1. Recolha de Dados.....	41
7.1.1. Bloco A – “Qta. da Granja”	43
7.1.2. Bloco B – “Galindra”	47

7.2.	Importação de Dados	53
7.3.	Modelo Geológico	57
7.4.	Modelo de Escavação a Céu Aberto	61
7.5.	Modelo de Blocos.....	62
7.6.	Teores de Lítio	64
8.	Resultados e Discussão	66
9.	Conclusão	69
	Referências Bibliográficas	71
	Anexos	76
	Anexo I – Perfis Geológicos do Bloco A	76
	Anexo II – Perfis Geológicos do Bloco B	77

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Classificação dos pegmatitos graníticos (adaptado de Černý & Ercit, 2005).	11
Tabela 2 – Classificação de pegmatitos graníticos das classes Elementos Raros e Miarolítica por famílias.	13
Tabela 3 – Coordenadas dos vértices da área de concessão da mina Castanho Sul, na freguesia de Gonçalo (Guarda, Portugal), no sistema ETRS89 PT-TM06.....	27
Tabela 4 – Enquadramento da área de concessão no PDM da Guarda.	30
Tabela 5 – Coordenadas dos vértices da área de concessão "Qta da Granja", no sistema de coordenadas ETRS89 PT-TM06.	43
Tabela 6 – Informações sobre a campanha de sondagens GJ, da concessão "Qta da Granja" – bloco A.	44
Tabela 7 – Os logs simplificados das sondagens GJ, da concessão "Qta. da Granja" – bloco A.	45
Tabela 8 – Amostragem das sondagens de GJ.	46
Tabela 9 – Análises químicas dos elementos maiores com XRF das amostras das sondagens GJ.	47
Tabela 10 – Coordenadas dos vértices da área de concessão "Galindra", no sistema de coordenadas ETRS89 PT-TM06.	48
Tabela 11 – Informações sobre a campanha de sondagens GLD, da concessão "Galindra" – bloco B.	49
Tabela 12 – Os logs simplificados das sondagens GLD.	50
Tabela 13 – Amostragem das sondagens GLD.	51
Tabela 14 – Análises químicas dos elementos maiores com XRF das amostras das sondagens GLD.	52
Tabela 15 – Ficheiros necessários para a importar as sondagens e os respetivos dados que representam.	53
Tabela 16 – Excerto da tabela de pontos georreferenciados no sistema de coordenadas ETRS89 PT-TM06. X – Meridiana; Y – Perpendicular; Z – Cota.	55
Tabela 17 – Volumes das litologias nos modelos geológicos do bloco A e B.	67
Tabela 18 – Toneladas de minério, para cada bloco, calculadas através dos volumes dos modelos geológicos.	67
Tabela 19 – Toneladas de minério e estéril presentes nos modelos geológicos com o <i>buffer</i> de distância.	68

Tabela 20 – Toneladas de minério e estéril presentes nos modelos geológicos com o filtro da área do <i>pit model</i>	68
---	----

Índice de Figuras

Figura 1 – Textura gráfica com o intercrescimento de cristais esqueléticos de quartzo (cinzento-escuro), e feldspato potássico (bege), mais precisamente, microclina pertítica (London, 2008).	8
Figura 2 – Principais ocorrências de lítio em Portugal Continental (adaptado de Carvalho & Farinha (2004)).	15
Figura 3 – Esquema de classificações dos Recursos e Reservas Minerais, as suas subcategorias e a correlação entre eles (PERC, 2021).	17
Figura 4 – Esquema dos Sistemas de Gestão Territorial. Legenda: PNPOT – Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território; PS – Planos Sectoriais; PE(OT) – Planos Especiais (do Ordenamento do Território); PROT – Planos Regionais de Ordenamento do Território; PI – Plano Intermunicipal; PDM – Plano Diretor Municipal; PU – Plano de Urbanização; PP – Plano de Pormenor; PDI – Plano Diretor Intermunicipal; PUI – Plano de Urbanização Intermunicipal; PPI – Plano de Pormenor Intermunicipal.	21
Figura 5 – Localização da área de concessão "Castanho Sul" de acordo com a Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP).	26
Figura 6 – Localização da área de concessão mineira "Castanho Sul" no excerto da folha 214 – Gonçalo (Guarda), à escala 1:25 000, da Carta Militar do Instituto Geográfico do Exército.	28
Figura 7 – Carta de Ordenamento do concelho, à escala de 1:50 000, do PDM da Guarda, delimitação da concessão (a laranja) e respetiva legenda.	30
Figura 8 – Carta de Ordenamento do Aglomerado de Gonçalo, à escala de 1:10 000, do PDM da Guarda, delimitação da concessão (a laranja) e respetiva legenda.	31
Figura 9 – Carta de Condicionantes REN, à escala de 1:25 000, do PDM da Guarda, delimitação da concessão (a laranja) e respetiva legenda.	31
Figura 10 – Carta de Condicionantes RAN, à escala de 1:25 000, do PDM da Guarda, delimitação da concessão (a laranja) e respetiva legenda.	32
Figura 11 – Carta de Outras Condicionantes, à escala de 1:50 000, do PDM da Guarda, delimitação da concessão (a laranja) e respetiva legenda.	32
Figura 12 – A Península Ibérica e as principais unidades variscas do Maciço Ibérico de acordo com Lotze (1945) e Julivert et al. (1974). Adaptado de Ferriday & Montenari (2016).	34

Figura 13 – Principais fases de deformação que afetaram a Península Ibérica durante a orogenia Varisca, no setor norte e sul (Dias & Ribeiro, 1995).....	35
Figura 14 – Enquadramento geológico da concessão mineira C-43 “Castanho Sul” no excerto da folha 18 – C (Guarda), à escala de 1:50 000, da Carta Geológica de Portugal.	36
Figura 15 – Localização das áreas de concessão "Galindra", "Gonçalo" e a da sub-área "Qta. da Granja" em relação a área em estudo, a concessão "Castanho Sul".	42
Figura 16 – Representação geográfica, relativamente às áreas de concessão, dos levantamentos topográficos.	43
Figura 17 – Localização geográfica relativa às concessões de "Galindra", "Qta. da Granja", "Gonçalo" e "Castanho Sul" das sondagens de "Qta. da Granja".	44
Figura 18 – Localização geográfica, relativamente às concessões mineiras "Qta. da Granja", "Galindra" e "Castanho Sul", das sondagens GLD.	49
Figura 19 – Fotografias de três caixas das sondagens GLD. a) GLD1, caixa nº 2; b) GLD5, caixa nº 2; c) GLD6, caixa nº 2.	50
Figura 20 – Representação esquemática dos procedimentos realizados durante a importação dos dados.....	54
Figura 21 – Representação tridimensional das sondagens GJ do bloco A.	54
Figura 22 – Representação tridimensional das sondagens GLD do bloco B.	55
Figura 23 – Esquemática da elaboração da topografia e a representação tridimensional dos levantamentos topográficos e da superfície criada através dos mesmos.	56
Figura 24 – Representação esquemática da criação do modelo geológico e o exemplo das superfícies de contacto do granito com os metassedimentos geradas.	57
Figura 25 – Processo de ativação das litologias para a geração do modelo geológico tridimensional.....	58
Figura 26 – Modelo geológicos. a) Bloco A, sem a camada solo; b) Bloco B.	59
Figura 27 – Representação tridimensional das soleiras aplitopegmatíticas e a comparação com as sondagens GJ (bloco A).....	60
Figura 28 – Representação tridimensional das soleiras aplitopegmatíticas e a comparação com as sondagens GLD (bloco B).	60
Figura 29 – Representação tridimensional do modelo <i>open pit</i>	61
Figura 30 – Modelos de blocos do bloco A e bloco B com a representação da litologia.	62
Figura 31 – Representação da porção do modelo geológico, e as respetivas litologias, presentes no interior do modelo <i>open pit</i> do bloco A.....	63

Figura 32 – Representação das soleiras aplitopegmatíticas presentes no interior do modelo <i>open pit</i> do bloco A.....	64
Figura 33 – Filões aplitopegmatíticos litiníferos e estaníferos do bloco A com as respetivas análises químicas ao Li_2O realizadas.....	65
Figura 34 – Modelo número representativos dos teores de Li_2O no filão aplitopegmatítico litinífero.	65

Lista de Abreviaturas

CAOP	Carta Administrativa Oficial de Portugal
CRISCO	Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards
CXG	Complexo Xisto-Grauváquico
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
ENU	Empresa Nacional de Urânio, S.A.
FCUP	Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
LCT	Lítio – Césio – Tântalo
NYF	Nióbio – Ítrio – Fluor
PDM	Plano Diretor Municipal
PERC	Pan-European Reserves and Resources Reporting Committee
PNPOT	Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território
ZCI	Zona Centro Ibérica

1. Introdução

O presente relatório de estágio de mestrado com o título “Modelação e Cálculo de Recursos do Depósito Mineral da Concessão Mineira de Castanho Sul (Guarda, Portugal)” serve para a conclusão do mestrado em Geologia na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP).

Neste relatório apresentam-se os principais resultados da modelação geológica tridimensional de duas subáreas da concessão C-43 “Castanho Sul” onde se apresentam, para cada uma delas, o cálculo de recursos minerais e os teores de lítio para as soleiras aplitopegmatíticas presentes.

Deste modo, é possível determinar de uma forma mais exata a localização dos respetivos recursos minerais e aperfeiçoar o cálculo de recursos de modo a diminuir as margens de erro, tornando-se este trabalho uma mais-valia para o planeamento de uma futura atividade extrativa na concessão.

O trabalho realizado durante este estágio foi desenvolvido em contexto empresarial e em colaboração com a empresa Felmica - Minerais Industriais S.A. (Felmica), do grupo MOTA *Ceramic Solutions* S.A (MOTA).

O grupo MOTA teve início em 1950, com a fundação de Adelino Duarte da Mota, S.A. (ADM). A ADM é uma das primeiras empresas em Portugal a dedicar-se à extração e transformação de matérias-primas para a indústria cerâmica. Com sede em Meirinhos (Pombal), a ADM tem desempenhado um papel importante no desenvolvimento da indústria cerâmica portuguesa. Atualmente, o Grupo MOTA é constituído por seis empresas:

- Adelino Duarte da Mota, S.A. (ADM);
- Felmica – Minerais Industriais, S.A. (Felmica);
- MOTA Pastas Cerâmicas, S.A.;
- MOTAMINERAL, Minerais Industriais, S.A.;
- MOTA II Soluções Cerâmicas, S.A.;
- MOTALOG, S.A.

A Felmica, fundada em 1967, detém atualmente direitos sobre mais de vinte e cinco concessões de exploração de quartzo, feldspato e, em alguns casos, minerais de lítio.

A principal unidade de processamento de matéria-prima da Felmica localiza-se em Mangualde, sede do edifício administrativo, onde foi realizado este estágio.

1.1. Interesse e Objetivos

Este relatório de estágio tem como objetivo a realização da modelação geológica tridimensional dos depósitos de aplitopegmatito presentes na zona sul da concessão mineira C-43 “Castanho Sul”, e o cálculo de recursos presentes. Com a integração dos dados recolhidos sobre a área no software de modelação Leapfrog Geo, tenta-se definir vários modelos geológicos tridimensionais, e, através da interpretação desses modelos sugeridos, calcula-se os recursos minerais, valores que serão comparados aos obtidos em estudos anteriores utilizando métodos distintos.

A viabilidade económica da exploração de um depósito mineral envolve diversas variáveis, como os teores e volumes do minério, geometria do depósito, método de lavra, aprovação do licenciamento com base nas leis de gestão do território, infraestrutura e mão de obra próxima da localização do depósito, entre outros fatores. Desta forma, numa fase inicial de prospeção e pesquisa, é necessário quantificar os recursos minerais presentes com o mínimo de incerteza possível, de forma a diminuir o risco financeiro do projeto. A criação e atualização fácil e rápida de modelos geológicos exatos é uma necessidade, uma vez que a qualidade do modelo irá influenciar vários fatores nos processos de prospeção e pesquisa e, no futuro, exploração. A determinação do minério presente e a estimativa do teor facilita substancialmente o planeamento da mina que, em última análise, reduz os custos do projeto. As tecnologias de modelação e visualização 3D digitais são atualmente a opção superior em várias áreas das geociências, relativamente aos métodos mais clássicos de digitalização manual. Estas tecnologias introduziram grandes mudanças nos métodos de aquisição, armazenamento, processamento e apresentação de dados geológicos (Birch, 2014; Cowan et al., 2003).

1.2. Estrutura

O presente relatório encontra-se estruturado em nove capítulos.

O atual capítulo 1 é dado a conhecer o enquadramento geral deste projeto, objetivos, âmbito de estudo e estado de arte com uma breve introdução aos estudos, e respetivos autores, realizados ao longo dos anos sobre a área e sobre o minério em questão, os pegmatitos. Apresenta-se brevemente a empresa Felmica, que contribuiu para que este trabalho fosse possível.

No capítulo 2 abordam-se a definição de pegmatitos, as suas características, formação e classificação.

No capítulo 3 é realizada uma pequena introdução às definições de recursos e reservas minerais e à sua importância na exploração, mais precisamente na publicação dos relatórios públicos dos estudos de prospeção e pesquisa.

No capítulo 4 vai ser abordado o plano de gestão para o território português que coloca limitações relativamente ao uso de terreno para trabalhos de exploração mineira.

No capítulo 5 é apresentado um enquadramento geográfico, geológico e legal da região da concessão de Castanho Sul, com especial incidência na geologia regional, local e mineralizações presentes.

O capítulo 6, 7 e 8 representa a parte prática deste relatório de estágio, com a apresentação dos dados utilizados, as especificações das abordagens, metodologias utilizadas e a apresentação dos resultados, sujeita depois a análise e discussão no capítulo seguinte.

O capítulo 9 são conhecidas as considerações finais retiradas sobre os resultados obtidos juntamente com todas as informações adquiridas ao longo deste trabalho. É mencionado o grau de confiança dos resultados, a sua aplicabilidade, os contratempos e problemas encontrados e como estes podem afetar os resultados. São também feitas sugestões e alternativas para consideração futura.

1.3. Estado de Arte

O estudo de pegmatitos teve início no século XIX devido a, maioritariamente, razões económicas. Os primeiros trabalhos realizados focaram-se na caracterização mineralógica, morfológica e química destes depósitos, como os trabalhos de Sorby (1858), Brush (1862, 1863), Brush & Dana (1878, 1879a, 1879b, 1880, 1890), Fersman (1926) e Cameron et al. (1949). Dos primeiros trabalhos realizados sobre a génese dos

pegmatitos destacam-se De Beaumont (1847) e Hitchcock (1883), dos primeiros autores a atribuir uma origem ígnea a estes depósitos. Mais tarde, foi proposta uma génese hidrotermal com os primeiros trabalhos sendo de Hunt (1871), Ramberg (1952), Gresens (1969) e Roedder (1981). Outros investigadores, como Brogger (1890a), Lindgren (1913, 1937), Schaller (1925, 1933), Fersmann (1931), Landes (1933, 1937) e Bjorlykke (1937), sugerem uma génese que representa a transição entre regimes magmáticos e hidrotermais (London, 2008). Relativamente à classificação dos pegmatitos, temos como primeiras classificações as publicadas por Buddington (1959), Ginsburg & Rodionov (1960) e Ginsburg et al. (1979). Baseada nestas classificações, a classificação proposta por Černý & Ernit (2005) é a mais aceite e utilizada nos dias de hoje. Mais recentemente, temos autores como Müller et al. (2022) e Wise et al. (2022) a propor uma nova classificação, justificado a sua necessidade na correção de problemas importantes na classificação precedente (como citado em London, 2008).

A região onde se insere a concessão mineira “Castanho Sul” está coberta, na sua totalidade, com o levantamento geológico à escala 1:50.000 da folha 18-C (Guarda), da Carta Geológica de Portugal, na qual se definem as unidades geológicas fundamentais: xistos do Complexo Xisto-Grauváquico (CXG) ante – Ordovícico, granitos porfíroides predominantemente biotíticos, granitos de duas micas, pequenas intrusões gabróicas, rochas filonianas e aluviões.

Quanto ao estudo da região Seixo Amarelo – Gonçalo, onde se insere a concessão, o autor que se destaca é João Manuel Farinha Ramos. Para a sua tese de mestrado, em 1984, intitulada “Geologia, geoquímica e interesse mineiro da área de Gonçalo – Seixo Amarelo – Benespera (Guarda)” estudou a área de Seixo Amarelo – Gonçalo e, posteriormente, aprofundou-o esse conhecimento na sua tese de doutoramento de 1998 intitulada “Mineralizações de metais raros de Seixo Amarelo-Gonçalo (Guarda): contribuição para o seu conhecimento”. Ambos estes trabalhos tiveram como objetivo o estudo aprofundado do campo aplitopegmatítico que aflora na região, sob os pontos de vista geológicos, estruturais, mineralógicos e químicos, e determinar o seu interesse económico para a indústria mineira portuguesa.

Ramos et al. (1994) apresenta, resumidamente, a geologia, mineralogia e geoquímica do campo aplitopegmatítico de metais raros de Seixo Amarelo – Gonçalo e Ramos (2010) um enquadramento geológico e algumas das características mineralógicas destes filões, com base nos antigos trabalhos deste autor, Ramos (1984) e posteriores estudos que culminaram em Ramos (1998).

Neiva & Ramos (2009) e Neiva et al. (2011) estudaram as características químicas e as relações petrogénicas entre os filões aplitopegmatíticos graníticos das regiões centro e norte de Portugal, em especial das soleiras aplitopegmatíticas da região Guarda – Belmonte, e a rocha encaixante, o granito.

Carvalho & Farinha (2004) e Antão et al. (2018) com o estudo das ocorrências destes depósitos em Portugal e a sua importância económica, em especial os filões aplitopegmatitos litiníferos de Gonçalo, para a indústria mineira portuguesa e para o desenvolvimento sustentável de regiões com baixa densidade populacional no âmbito do projeto IC/DT Lítio.

Por último, vários relatórios técnicos realizados por empresas com concessões nesta área, inclusive da Felmica, são fontes importantes de informação sobre a caracterização geológica pormenorizada e análises químicas e tecnológicas dos depósitos minerais da região.

2. Pegmatitos Graníticos

O alvo de estudo do presente relatório de estágio são as soleiras aplitopegmatíticas existentes na área da concessão “Castanho Sul”. Para conhecer melhor as suas características é necessária uma pequena introdução aos pegmatitos, a sua formação e classificação.

O significado da palavra pegmatito tem evoluído ao longo dos anos, em paralelo com o aprimoramento do conhecimento acerca destas rochas. Esta palavra, originária do Grego Homérico “πήγνυμι” (*pēgnymi*), tem como significado “tornar forte através da união”. Era originalmente utilizada para se referir à textura do granito gráfico, caracterizada pelo intercrescimento de quartzo e microclina peritítica. Mais tarde, Haidinger (1845), entre outros autores, alteraram o seu significado para abranger também segregações e diques graníticos de granulometria grosseira, independentemente da presença do granito gráfico. Atualmente, e de acordo com London (2008), a definição mais utilizada diz-nos que um pegmatito é uma rocha ígnea intrusiva, geralmente de composição granítica, caracterizada por uma granulometria grosseira, mas muito variável, e/ou pela presença de texturas de crescimento dos grãos fortemente direcionais, como por exemplo, a textura gráfica, entre outras (Figura 1).

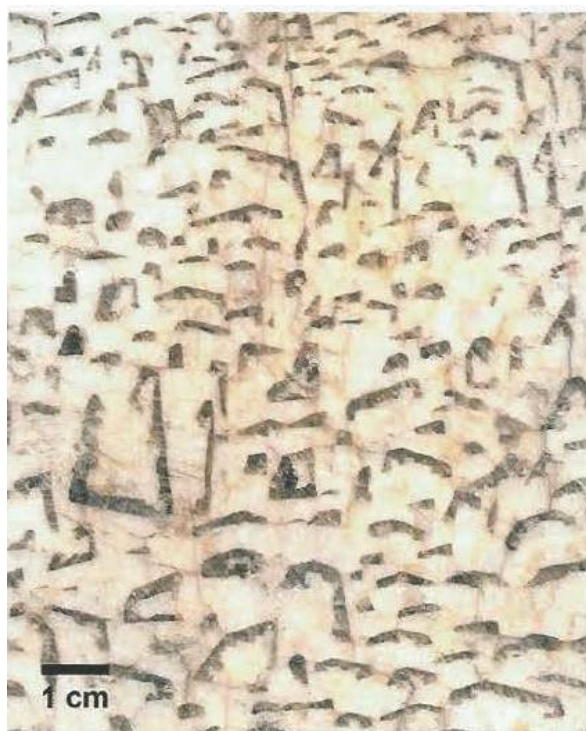


Figura 1 – Textura gráfica com o intercrescimento de cristais esqueléticos de quartzo (cinzento-escuro), e feldspato potássico (bege), mais precisamente, microclina pertítica (London, 2008).

É geralmente utilizado para se referir a pegmatitos de composição granítica, que são os mais comuns. No entanto, estas rochas podem ter uma composição semelhante a qualquer tipo de rocha ígnea intrusiva, como rochas de composições ultramáficas, máficas ou sieníticas. São corpos geralmente zonados que podem assumir várias formas, tal como corpos tabulares, em forma de nabo, massas bulbosas ou irregulares, que intruem ao longo de juntas e fraturas ou seguem estruturas planares como a estratificação e a foliação nas rochas encaixantes, que podem ser ígneas ou metamórficas (London, 2008).

Relativamente à mineralogia, consistem essencialmente em quartzo, feldspato (plagioclase e feldspato potássico geralmente em proporções quase iguais que compreendem mais de dois terços do volume de pegmatitos graníticos típicos), sendo fontes importantes destes minerais industriais que são extraídos essencialmente para a indústria cerâmica e vidreira, e de micas acessórias, que são utilizadas em materiais de construção e isolamento (London, 2008).

São também fontes importantes de elementos raros, como o berilo (Be), o nióbio (Nb), o tântalo (Ta), o estanho (Sn), o lítio (Li), o rubídio (Rb), o cézio (Cs) e o gálio (Ga).

Estes elementos podem ser utilizados numa variedade de aplicações tecnológicas, sendo que o mais importante para este relatório é o lítio (Li), que tem aplicações na indústria cerâmica e vidreira, na farmacêutica, em lubrificantes, no processamento de minérios de alumínio e, umas das aplicações mais importantes nos últimos anos, nas baterias de lítio, entre outras. As suas características são especialmente importantes para a indústria cerâmica e vidreira porque permitem (Ultralithium, 2018):

- Reduzir a expansão térmica;
- Aumentar a resistência e durabilidades;
- Melhorar a consistência da cor;
- Baixar o ponto de fusão;
- Diminuir a viscosidade.

2.1. Génese

Não existe atualmente um modelo de génese de pegmatitos que explique, de uma forma satisfatória, todas as diversas características dos pegmatitos graníticos. Contudo, a génese através de *melts* residuais derivados da cristalização fracionada de plutões graníticos é umas das hipóteses mais aceites atualmente. Com o avançar da cristalização, os elementos incompatíveis, os voláteis e os elementos raros vão-se concentrando nos *melts* residuais. A presença de fluxos e voláteis, que diminuem a temperatura de cristalização, as taxas de nucleação, e a polimerização e viscosidade do *melt*, mas aumentam as taxas de difusão e a solubilidade, são considerados críticos para o desenvolvimento de grandes cristais e texturas pegmatíticas. A maioria dos pegmatitos tendem a formar-se a partir de um único evento magmático intrusivo, passando por uma complexa cristalização interna que pode resultar numa grande variedade de granulometrias, mudanças consistentes da composição química da parede para o núcleo, concentrações crescentes de fluxos, voláteis e elementos raros e, em casos raros, a formação de cavidades com cristais com qualidade de gema (cavidades miarolíticas). Além disso, acredita-se que os pegmatitos tenham um sentido de cristalização do exterior para o interior, com base numa variedade de fatores, incluindo estudos de geotermometria e textura de estruturas em pente com cristais em forma de cunha orientados perpendicularmente às paredes do pegmatito (London, 2008; Simmons & Webber, 2008).

2.2. Classificação de Pegmatitos Graníticos

Devido à incrível variedade de características destas rochas, várias classificações foram propostas aos longo dos anos, considerando diferentes parâmetros, de forma a fornecer uma maneira sistemática e clara de descrever os pegmatitos graníticos e suas variantes. Atualmente, tal como nos modelos de génese destas rochas, não existe uma classificação universalmente aceite que permita concretizar esse objetivo.

Contudo, a classificação proposta por Černý (1991a) e reformulada por Černý & Ercit (2005) é a mais aceite e utilizada atualmente (Tabela 1). Embora esta classificação tenha sido útil à comunidade científica, não está isenta de problemas, tendo alguns autores criticado esta classificação por ser muito simplista ou muito complexa, dando origem a erros de interpretação, criando confusão dentro da comunidade científica e uma incorreta classificação de corpos pegmatíticos (Wise et al., 2022).

As classificações modernas de pegmatitos são fortemente influenciadas pelas classificações publicadas por Buddington (1959), Ginsburg & Rodionov (1960) e Ginsburg et al. (1979), classificações que categorizam os pegmatitos de acordo com a profundidade de instalação e a sua relação com os plutões granitos e o metamorfismo (Simmons & Webber, 2008).

2.2.1. Classificação Geoquímica e Paragenética

Baseada fortemente nas classificações anteriormente referidas, a classificação Černý – Ernit, tal como as precedentes, baseia-se na profundidade de instalação e na sua relação com o metamorfismo e os plutões graníticos, mas relaciona também outros dados geoquímicos e paragenéticos. De acordo com Černý & Ercit (2005), esta classificação é constituída por cinco classes:

- Abissal (AB - *Abyssal*);
- Moscovítica (MS - *Muscovite*);
- Moscovítica – Elementos raros (MSEL – *Muscovite – Rare-element*);
- Elementos raros (REL – *Rare-element*);
- Miarolítica (MI - *Miarolitic*).

Estas classes têm por base as estimativas das condições de pressão e temperatura (P-T) de consolidação destes pegmatitos. À exceção da classe MS, estas são posteriormente divididas em subclasses, distinguidas pelas diferenças na assinatura geoquímica. No caso das classes MSEL, REL e MI, existe ainda uma subdivisão em tipos e subtipos, diferenciados pelas associações minerais presentes, assinaturas geoquímicas, condições de consolidação ou uma combinação destes fatores.

Tabela 1 – Classificação dos pegmatitos graníticos (adaptado de Černý & Ercit, 2005).

CLASSE	SUBCLASSE	TIPO	SUBTIPO	
Abissal (AB)	AB – HREE			
	AB – LREE			
	AB – U			
	AB – BBe			
Moscovítica				
Moscovítica – Elementos Raros (MSREL)	MSREL – REE			
	MSREL – Li			
Elementos Raros (REL)	REL – REE	Allanite – Monzanite		
		Euxenite		
		Gadolinite		
	REL – Li	Berilo	Berilo – Columbite	
			Berilo – Columbite – Fosfato	
		Complexo	Espodumena	
			Petalite	
			Lepidolite	
			Elbaíte	
			Ambligonite	
			Albite – Espodumena	
		Albite		
MI – REE	Topázio – Berilo			
	Gadolinite – Fergusonite			
	MI – Li	Berilo – Topázio		
		MI – Espodumena		
		MI – Petalite		
		MI – Lepidolite		

As classes são baseadas em critérios geológicos, mas dentro destas, a subdivisão segue características geoquímicas, associações mineralógicas e atributos texturais que

refletem as condições P-T de consolidação. Assim, a hierarquia acima serve para colocar um determinado pegmatito num contexto geológico geral e posteriormente numa categoria geoquímico-paragenética detalhada (Černý & Ercit, 2005; London, 2008; Wise et al., 2022)

2.2.2. Classificação Petrogenética

A classificação Černý – Ercit também conta com uma abordagem petrogenética criada especificamente para pegmatitos formados a partir da diferenciação magmática de diversas fontes plutónicas, sendo assim um conceito apenas aplicado aos pegmatitos das classes REL e MI, correlaciona as assinaturas geoquímicas baseadas nas litologias de origem. Esta classificação divide os pegmatitos em três famílias petrogenéticas distintas (Černý & Ercit, 2005; Wise et al., 2022):

- LCT (Lítio-Césio-Tântalo);
- NYF (Nióbio-Ítrio-Flúor);
- Misto (LCT + NYF).

Os pegmatitos LCT são os mais abundantes e, por consequência, os que foram alvo de mais estudo ao longo dos anos. Para além do enriquecimento em Li, Cs e Ta, estas rochas também tendem para um enriquecimento em Be, B, F, P, Mn, Ga, Rb, Nb, Sn e Hf. O granito que lhes deu origem é peraluminoso, do tipo S, I ou S + I, devido à presença de moscovite, turmalina, granada e raramente gahnite, topázio ou andaluzite. O enriquecimento em Li é expresso com a presença de aluminossilicatos de Li como a espodumena e a petalite, e mais raramente, lepidolite, amblygonite-montebrazite ou elbaite. Existem três fontes principais de fusão parental da LCT, que podem ser (London, 2008; Černý & Ercit, 2005):

- Anatexia dos protólitos metassedimentares e metavulcânicos de rochas supra-a mesocrustais enriquecidas;
- Baixa percentagem de anatexia de rochas ígneas enriquecidas;
- Uma mistura de ambas as situações;

Os pegmatitos NYF, para além do enriquecimento em Nb, Y e F, também tendem para um enriquecimento em elementos de Terras Raras pesados (HREE), Be, Tu, Sc, and Zr. O granito que lhes deu origem é do tipo A ou I, pera-, sub- a metaluminoso, com uma composição alcalina devido à presença de piroxenas sódicas e anfíbolites. Estão associados a um magmatismo granítico que se pensa ter origem na fusão em zonas de riftes continentais, normalmente com alguma contribuição de fontes mantélicas (London, 2008; Černý & Ercit, 2005).

A família NYF + LCT é constituída por granitos e pegmatitos que apresentam características geoquímicas e mineralógicas mistas (London, 2008; Černý & Ercit, 2005).

Tabela 2 – Classificação de pegmatitos graníticos das classes Elementos Raros e Miarolítica por famílias.

Família	Subclasse	Assinatura Geoquímica	Composição do Pegmatito	Granitos Associados	Composição do Granito	Litologias Fonte
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 anarogénicos), maioritariamente heterogénos.	Peraluminoso Tipo A, I ou misto S+I.	Rochas supra-a mesocrustais enriquecidas; Gnaisses de base.
NYF	REL-REE MI-REE	Nb>Ta, Ti, Y, Sc, REE, Zr, U, Th, F	Subaluminoso a metaluminoso.	Sin-, tardi- e pós-a maioritariamente anorogénicos; Quasi-homogéneos.	Peraluminoso a subaluminoso e metaluminoso Tipo A e I.	Granulitos meso- a infracrustais empobrecidos ou granitóides juvenis.
Misto	-	Misto	Metaluminoso a moderadamente peraluminoso	Pós-orogénicos a anarogénicos Heterogénicos	Subaluminoso a ligeiramente peraluminoso	Protólitos mistos ou assimilação de rochas supracrustais pelos granitos NYF

Como referido pelos autores desta classificação e demonstrado ao longo deste capítulo, os dois sistemas de classificação apresentados por Černý & Ercit (2005) convidam a uma revisão e expansão após futuros estudos mais aprofundados. Alterações a esta classificação de forma a reduzir os problemas referidos anteriormente, foram propostas recentemente por Müller et al. (2022) e Wise et al. (2022).

2.2.3. Pegmatitos em Portugal

O território português tem muitas ocorrências minerais ricas em Li que estão principalmente associadas a diques e soleiras de aplitopegmatitos intrudidos maioritariamente em rochas graníticas e, em alguns casos, em rochas metassedimentares (Figura 2). Estas ocorrências encontram-se mais predominantes nas zonas geotectónicas Centro Ibérica (ZCI) e Galiza – Trás-os-Montes (ZGTM). De acordo com Ramos (2000), os principais depósitos nestas zonas, sem nenhuma ordem específica, são os seguintes:

- Serra de Arga: filões aplitopegmatitos com petalite, espodumena, ambligonite, elbaite e lepidolite;
- Covas do Barroso: filões aplitopegmatitos ricos em espodumena intrudidos em rochas metassedimentares do Silúrico;
- Barca d'Alva: filões aplitopegmatitos intrudidos no CXG com ambligonite, lepidolite e espodumena;
- Guarda: esta grande região compreende 3 ocorrências principais que são Massueime, Gouveia e Gonçalo. As primeiras duas, Massueime e Gouveia, são compostos por soleiras que foram parcialmente explorados para o estanho ou indústria cerâmica, respetivamente. A área de Gonçalo, onde se insere a concessão, é um grande campo de soleiras aplitopegmatíticas, principalmente intrudidas no granito da Guarda que a presença de lepidolite, ambligonite e petalite. Estão atualmente a ser exploradas para a indústria cerâmica e vidreira.
- Mangualde: corpos pegmatíticos com litiofilite numa intrusão granítica explorados pelo quartzo, feldspato e berilo.
- Segura: diques com cassiterite, lepidolite e ambligonite-montebrazite intrudidos em rochas do CXG.

Algumas destas ocorrências têm um maior potencial económico, como é o caso da região de Gonçalo, no distrito da Guarda, e da região de Barroso - Alvão, no distrito de Vila Real. Alguns estudos realizados pelo antigo Instituto Geológico e Mineiro de Portugal (IGM) concluíram que estas áreas são zonas atrativas para a exploração de matéria-prima rica em lítio para as indústrias cerâmica e vidreira ou até mesmo para concentrados de minério ricos em lítio (Carvalho & Farinha, 2004).

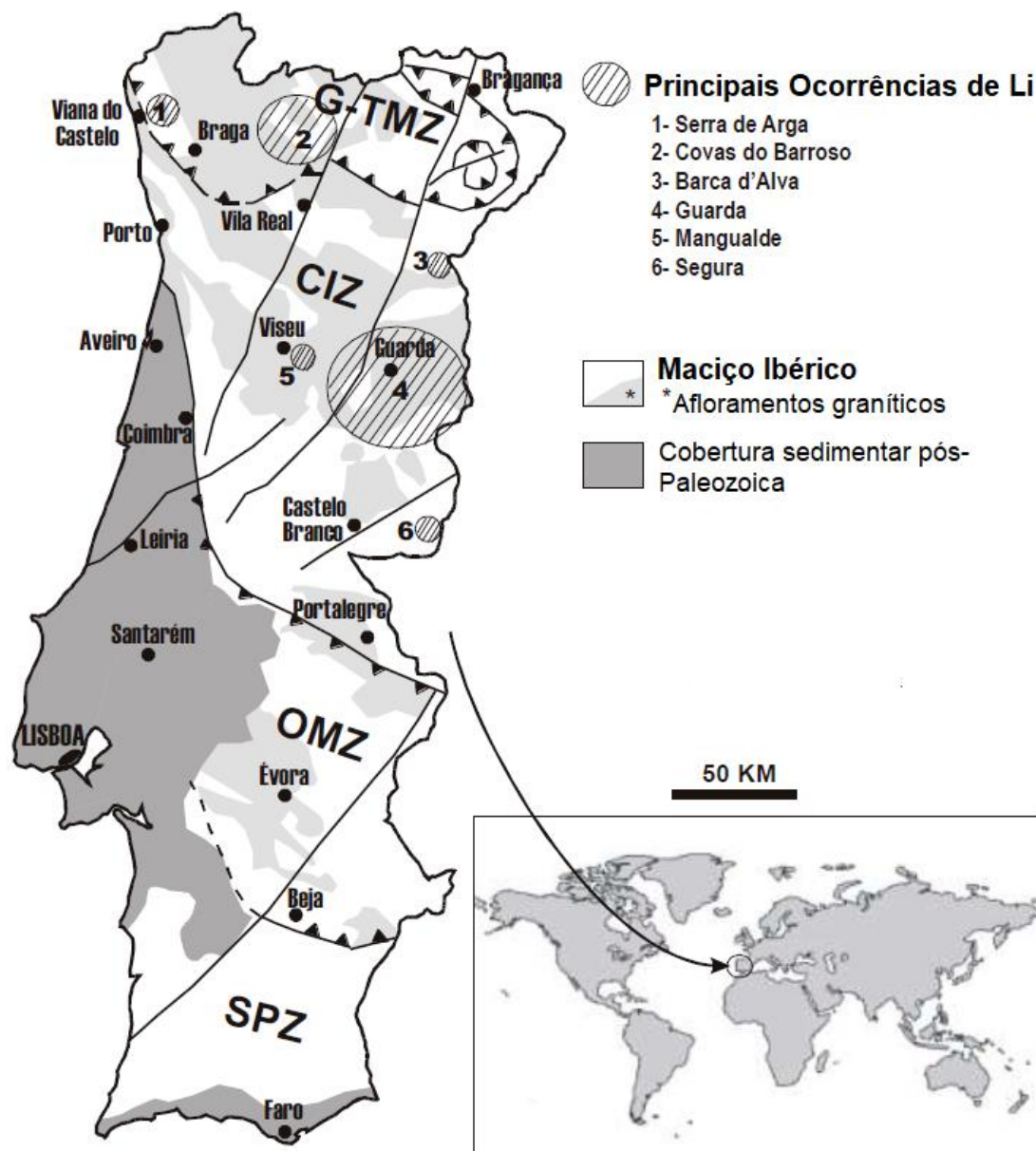


Figura 2 – Principais ocorrências de lítio em Portugal Continental (adaptado de Carvalho & Farinha (2004).

3. Recursos e Reservas Minerais

Neste capítulo 3 será realizada uma pequena introdução às definições de recursos e reservas minerais e à sua importância na exploração, mais precisamente na publicação dos relatórios públicos dos estudos de prospeção e pesquisa.

Em Portugal, as classificações de recursos e reservas para exploração mineral reconhecidas como padrão são da família de relatórios-padrão do *Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards* (CRIRSCO) e da *United Nations Framework Classification* (UNFC). Estes dois sistemas estão intimamente relacionados pois a CRIRSCO, desde 1999, fornece as especificações detalhadas para as categorias definidas pela UNFC.

O CRIRSCO foi criado em 1994 com a ajuda e suporte do *Council of Mining and Metallurgical Institutes* (CMMI). Foi inicialmente estabelecido como um grupo de organizações representativas responsáveis pelo desenvolvimento de códigos e linhas guia para relatórios públicos sobre recursos minerais. No caso da Europa, a organização representativa é o comité multinacional *Pan-European Reserves & Resources Reporting Committee* (PERC). Todos os relatórios-padrão do CRIRSCO seguem as mesmas diretrizes e princípios e utilizam a mesma classificação.

De acordo com estas instituições foram definidas, em 1997, duas categorias principais: recursos minerais e reservas minerais, com as suas respetivas subcategorias, recursos minerais medidos, indicados e inferidos e reservas minerais prováveis e provadas (Figura 3).

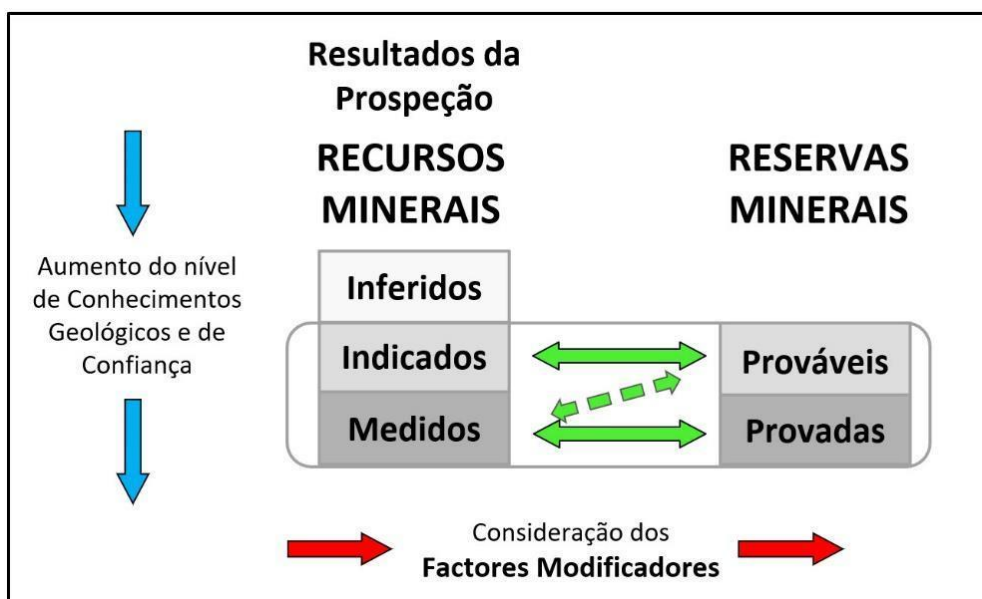


Figura 3 – Esquema de classificações dos Recursos e Reservas Minerais, as suas subcategorias e a correlação entre eles (PERC, 2021).

3.1. Recurso Mineral

Um recurso mineral é uma concentração ou ocorrência de material sólido, com interesse económico, na ou sobre a crosta terrestre sob tal forma, teor ou qualidade e quantidade que tenha uma perspectiva razoável de uma eventual extração económica. A localização, quantidade, grau ou qualidade, continuidade e outras características geológicas de um recurso mineral são conhecidas, estimadas ou interpretadas a partir de evidências e conhecimentos geológicos específicos, incluindo a amostragem (PERC, 2021).

Os recursos minerais podem ser ainda subdivididos, por ordem de aumento da confiança, nas categorias inferido, indicado e medido. Um recurso mineral inferido é a parte de um recurso mineral para a qual a quantidade e o teor ou qualidade são estimadas com base em dados geológicos e amostragem limitadas. Os dados geológicos são suficientes para sugerir, mas não verificar, a continuidade geológica, de teor ou de qualidade. Tem um nível de confiança inferior ao recurso mineral indicado e não pode ser convertido em reserva mineral. Um recurso mineral indicado é a parte de um recurso mineral para a qual a quantidade, qualidade, densidade, forma e características físicas são estimadas com confiança suficiente para permitir a aplicação de factores modificadores com detalhe suficiente para apoiar o planeamento de minas e a avaliação da viabilidade económica do depósito. As provas geológicas são derivadas

de exploração adequadamente detalhada e fiável, amostragem e análises e é suficiente para assumir a qualidade e continuidade geológica entre os pontos de observação. Um recurso mineral indicado tem um nível de confiança inferior ao de um medido e só pode ser convertido para uma reserva mineral provável. Um recurso mineral medido é a parte do recurso mineral a qual a quantidade, qualidade, densidade, forma e características físicas são estimadas com confiança suficiente para permitir a aplicação de fatores modificadores para apoiar a planeamento detalhado de mina e a avaliação final da viabilidade económica do depósito. As evidências geológicas derivam da exploração detalhada e fiável, amostragem e análise e é suficiente para confirmar a qualidade geológica e continuidade entre os pontos de observação. Tem um nível de confiança mais elevado do que um recurso indicado ou inferido. Pode ser convertido para uma reserva mineral provável ou provada (PERC, 2021).

3.2. Reserva Mineral

Uma reserva mineral é a parte economicamente extraível de um Recurso Mineral Medido e/ou Indicado. Inclui fatores de diluição e recuperação, que podem ocorrer quando o material é desmontado ou extraído e é definida por estudos de pré-viabilidade ou viabilidade, conforme o caso, que incluem a aplicação de fatores modificadores. Tais estudos demonstram que, no momento da elaboração do relatório, a extração poderia ser razoavelmente justificada. As reservas minerais são subdivididas, por ordem de aumento da confiança, nas categorias provável e provada. Uma reserva mineral provável é a parte de um recurso mineral indicado e até por vezes medido, em que a sua exploração é economicamente viável. Uma reserva mineral provada é a parte de um recurso mineral medido em que a sua exploração é economicamente viável (PERC, 2021).

Os recursos minerais podem ser transformados em reservas minerais através de uma série de considerações, os fatores modificadores, que estão incluídos, mas não limitados à exploração, processamento, metalurgia, infraestruturas, fatores económicos, marketing, legais, ambientais, sociais e de governação e regulamentares (PERC, 2021).

O âmbito do CRIRSCO inclui os recursos minerais sólidos (minerais metálicos, gemas, matérias-primas em concentrados, agregados, minerais industriais, minerais energéticos, como o carvão e o uranio). A sua missão principal é a de promover

internacionalmente as melhores práticas nos relatórios públicos de resultados de pesquisa e prospeção de recursos e reservas minerais, de modo a alcançar um consenso internacional nos relatórios-padrão, encorajando a alta qualidade dos mesmo através da exigência e manutenção dos *standards* relacionados com a Pessoa Competente. Uma Pessoa Competente é um profissional da indústria mineral, definido como um membro profissional, registado ou licenciado numa Organização Profissional Reconhecida (*Recognised Professional Organizations*, RPO) na lista de organizações profissionais reconhecidas pela PERC. Uma pessoa competente deve ter um mínimo de cinco anos de experiência relevante no estilo de mineralização ou tipo de depósito mineral em consideração e na atividade que essa pessoa exerce (PERC, 2021).

4. Gestão do Território Português

As estimativas de recursos ou reservas minerais não são os únicos condicionantes que determinam a viabilidade da exploração de um depósito mineral. Outros condicionantes, como as restrições relacionadas com os fatores económicos, ambientais, climáticos e sociais, são decisivos na aprovação de um projeto de exploração (Dumakor-Dupey & Arya, 2021). Neste capítulo 4 vai ser abordado o plano de gestão para o território português que engloba, de certa forma, todos os fatores referidos anteriormente, e coloca limitações relativamente aos possíveis usos de terreno.

O conhecimento geológico de uma região é muito importante, especialmente nos dias de hoje, em que as pessoas estão cada vez mais preocupadas com a preservação do meio ambiente. Com o rápido desenvolvimento das cidades e com a crescente ocupação de espaços naturais, tem-se cada vez mais preocupado com as questões ambientais e é do interesse do município e de seus habitantes que as áreas naturais sejam preservadas para manter os índices de poluição baixos e preservar a biodiversidade e beleza paisagística da região. No entanto, é também importante que a conservação não impeça o desenvolvimento económico do município e do país.

Um dos principais obstáculos à prospeção e pesquisa é o Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT), mais especificamente, o Planeamento Especial (PE), onde se encaixam os Planos Diretores Municipais (PDM). Muitas vezes, não estão incluídas nestes planos as áreas para a indústria extrativa ou, quando as contemplam, restringem-nas a explorações já existentes ou abandonadas e, por vezes, mal definidas. Os recursos minerais só podem ser explorados onde ocorrem e, se esses locais não estiverem previstos nos respetivos PDM, podem dificultar o processo de licenciamento das explorações.

Para além disso, depósitos pegmatíticos importantes em território nacional encontram-se inseridos em áreas sensíveis, áreas com restrições ambientais e de utilização dos solos que são discutidas mais à frente neste capítulo. As áreas inseridas na Rede Natural 2000, o sistema principal de preservação da natureza e da biodiversidade na Comunidade Europeia, representam mais de 21% do território continental nacional (Almeida, 2007).

A revisão destes planos, tendo em conta um estudo geológico, é extremamente importante para a definição de áreas de interesse económico que podem impulsionar o desenvolvimento do município e do país. De acordo com a legislação, os PDM têm de ser obrigatoriamente revistos quando se regista uma alteração nas “condições ambientais, económicas, sociais e culturais” que obriguem à modificação do modelo territorial definido (Decreto-Lei n.º 80-2015 de 14 de maio, 2015). Contudo, em 2022, existiam cerca de 144 municípios portugueses onde o PDM se encontrava em vigor há mais de 10 anos sem qualquer alteração (Silvares, 2022).

4.1. Instrumentos de Gestão Territorial

De acordo com o atual Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial (RJIGT) português, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 80/2015 de 14 de maio, o sistema de gestão territorial é organizado em 4 âmbitos distintos que interagem entre si (Figura 4):

- O âmbito nacional;
- O âmbito regional;
- O âmbito intermunicipal;
- O âmbito municipal.

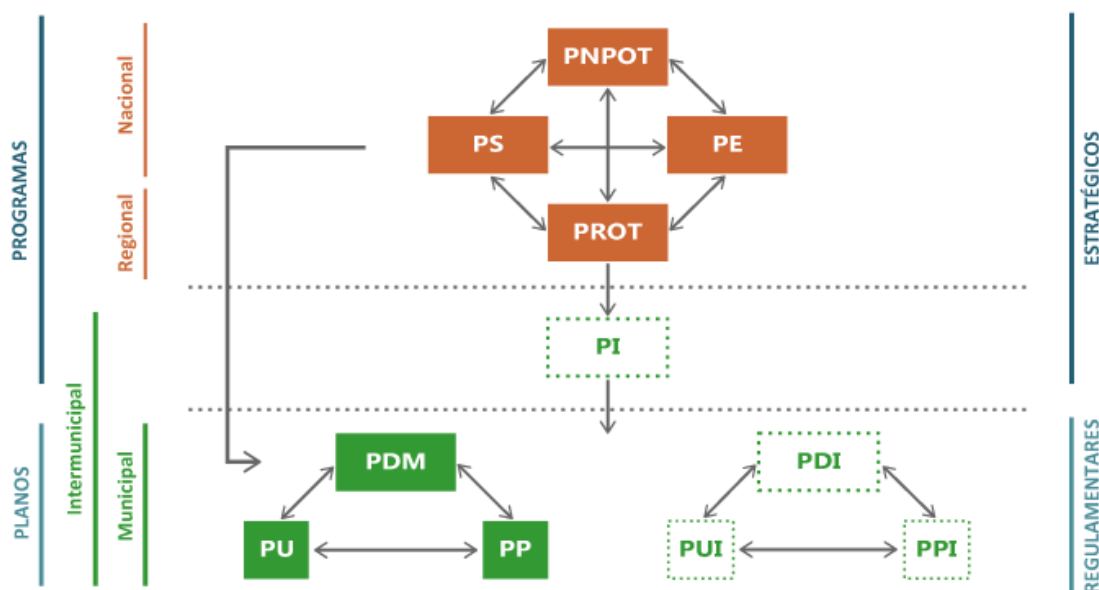


Figura 4 – Esquema dos Sistemas de Gestão Territorial. Legenda: PNPOT – Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território; PS – Planos Sectoriais; PE(OT) – Planos Especiais (do Ordenamento do Território); PROT

– Planos Regionais de Ordenamento do Território; PI – Plano Intermunicipal; PDM – Plano Diretor Municipal; PU – Plano de Urbanização; PP – Plano de Pormenor; PDI – Plano Diretor Intermunicipal; PUI – Plano de Urbanização Intermunicipal; PPI – Plano de Pormenor Intermunicipal.

Podemos ainda dividir estes âmbitos em dois grupos: programas e planos. Nos programas incluem-se os instrumentos da competência do governo, destinados a estabelecer o quadro estratégico do desenvolvimento territorial, as diretrizes programáticas ou a incidência espacial de políticas nacionais. Neste grupo estão incluídos o Programa Nacional de Política de Ordenamento de Território (PNPOT), os programas setoriais (PS), os programas especiais (PE), os programas regionais (PROT) e os programas intermunicipais (PI).

Nos planos incluem-se os instrumentos da competência dos municípios, destinados a estabelecer opções e ações concretas de planeamento e organização do território e a definirem o uso do solo. Neste grupo estão incluídos os planos diretores municipais e intermunicipais (PDM e PDI), os planos de urbanização municipais e intermunicipais (PU e PUI) e os planos de pormenor municipais e intermunicipais (PP e PPI).

De acordo com o Decreto-Lei n.º 80/2015 de 14 de maio, os planos territoriais municipais possuem os seguintes objetivos:

- I. Traduzir o quadro de desenvolvimento do território estabelecido nos programas nacional e regional;
- II. Expressar territorialmente a estratégia de desenvolvimento local;
- III. Articular as políticas setoriais com incidência local;
- IV. Definir os princípios e regras de garantia da qualidade ambiental, da integridade paisagística e da preservação do património cultural;
- V. Definir os princípios e critérios subjacentes às opções de localização de infraestruturas, equipamentos, serviços e funções;
- VI. Definir os critérios de localização e distribuição dos diferentes usos que decorrem da estratégia de desenvolvimento local.

Das três figuras de plano territorial de âmbito municipal previstas no RJIGT, é apenas obrigatório a realização do PDM, salvo a existência de um PDI. Este plano tem como objetivo estabelecer o modelo territorial municipal, que serve de base para todos os

restantes planos municipais, através da classificação e qualificação o solo. É constituído por os seguintes documentos:

- Regulamento - que constitui o elemento normativo do PDM e que estabelece e as regras e parâmetros aplicáveis à ocupação, uso e transformação do solo, vinculando as entidades públicas e ainda, direta e imediatamente, os particulares;
- Planta de Ordenamento, que representa o modelo de organização espacial do território municipal;
- Planta de Condicionantes, que identifica as servidões administrativas e as restrições de utilidade pública em vigor que possam constituir limitações ou impedimentos a qualquer forma específica de aproveitamento do solo.

Estes documentos, mais precisamente a Planta de Ordenamento e de Condicionantes, são constituídos por várias cartas que permitem identificar:

- a) As áreas afetas à defesa nacional, à segurança e à proteção civil;
- b) Os recursos e valores naturais;
- c) As áreas perigosas e as áreas de risco;
- d) As áreas agrícolas e florestais;
- e) As áreas de exploração de recursos energéticos e geológicos;
- f) A estrutura ecológica;
- g) O património arquitetónico, arqueológico e paisagístico;
- h) O sistema urbano;
- i) A localização e a distribuição das atividades económicas;
- j) As redes de transporte e mobilidade;
- k) As redes de infraestruturas e equipamentos coletivos.

4.2. Áreas Sensíveis

De acordo com a alínea a) do artigo 2.º do Decreto-Lei n.º 151-B/2013 de 31 de outubro, alterado e republicado pelo Decreto-Lei n.º 152-B/2017 de 11 de dezembro, entendem-se por áreas sensíveis:

- i) Áreas incluídas na Rede Fundamental de Conservação da Natureza (RFCN);
- ii) Áreas do Sítio da Rede Natura 2000;

- iii) Zonas de proteção dos bens imóveis classificados ou em vias de classificação, definidas nos termos da Lei n.º 107/2001 de 8 de setembro.

As áreas sensíveis da alínea i) fazem referência as áreas incluídas na Rede Fundamental de Conservação da Natureza (RFCN) estruturada pelo Decreto-Lei n.º 142/2008 de 24 de julho, alterado e republicado pelo Decreto-Lei n.º 242/2015 de 15 de outubro.

A RFCN é composta pelo Sistema Nacional de Áreas Classificadas (SNAC) e pelas áreas de continuidade que estabelecem ou salvaguardam a ligação e o intercâmbio genético de populações de espécies selvagens entre as diferentes áreas nucleares de conservação.

A SNAC é constituída pela Rede Nacional de Áreas Protegidas (RNAP), pelas áreas classificadas que integram a Rede Natura 2000 e pelas demais áreas classificadas ao abrigo de compromissos internacionais assumidos pelo Estado Português como os Sítios da Convenção RAMSAR e Geoparques Mundiais da UNESCO (Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas, 2023).

Por sua vez, as áreas de continuidade são constituídas pela Reserva Ecológica Nacional (REN), Reserva Agrícola Nacional (RAN), incluídas no PDM, e o Domínio Público Hídrico (DPH).

As áreas sensíveis da alínea ii) fazem parte das áreas classificadas da Rede Natura 2000 (RN2000), também incluída na alínea i). A RN2000 representa as zonas especiais de conservação e zonas de proteção especial classificadas nos termos definidos pelo Decreto-Lei n.º 140/99 de 24 de abril, no âmbito das Diretivas n.ºs 79/409/CEE, do Conselho, de 2 de abril de 1979, relativa à conservação das aves selvagens, e 92/43/CEE, do Conselho, de 21 de maio de 1992, relativa à preservação dos habitats naturais e da fauna e da flora selvagens. Esta rede é composta pelas Zonas de Proteção Especial (ZPE) e as Zonas Especiais de Conservação (ZEC).

As áreas sensíveis da alínea iii) fazem referência às áreas em regime de proteção e valorização do património cultural definidas nos termos da Lei n.º 107/2001 de 8 de setembro, que estabelece as bases da política e do regime de proteção e valorização do património cultural. A classificação de bens imóveis está estabelecida pelo Decreto-Lei n.º 309/2009 de 23 de outubro. A lei prevê três graus de classificação:

- Interesse nacional;
- Interesse público;
- Interesse municipal.

5. Enquadramento da Área em Estudo

No capítulo 5 vai ser abordado o enquadramento geográfico, geológico e legal da área em estudo.

5.1. Enquadramento Geográfico

A concessão de exploração C – 43 “Castanho Sul” localiza-se na Beira Alta, região centro de Portugal continental, na freguesia de Gonçalo e no concelho e distrito da Guarda (Figura 5).

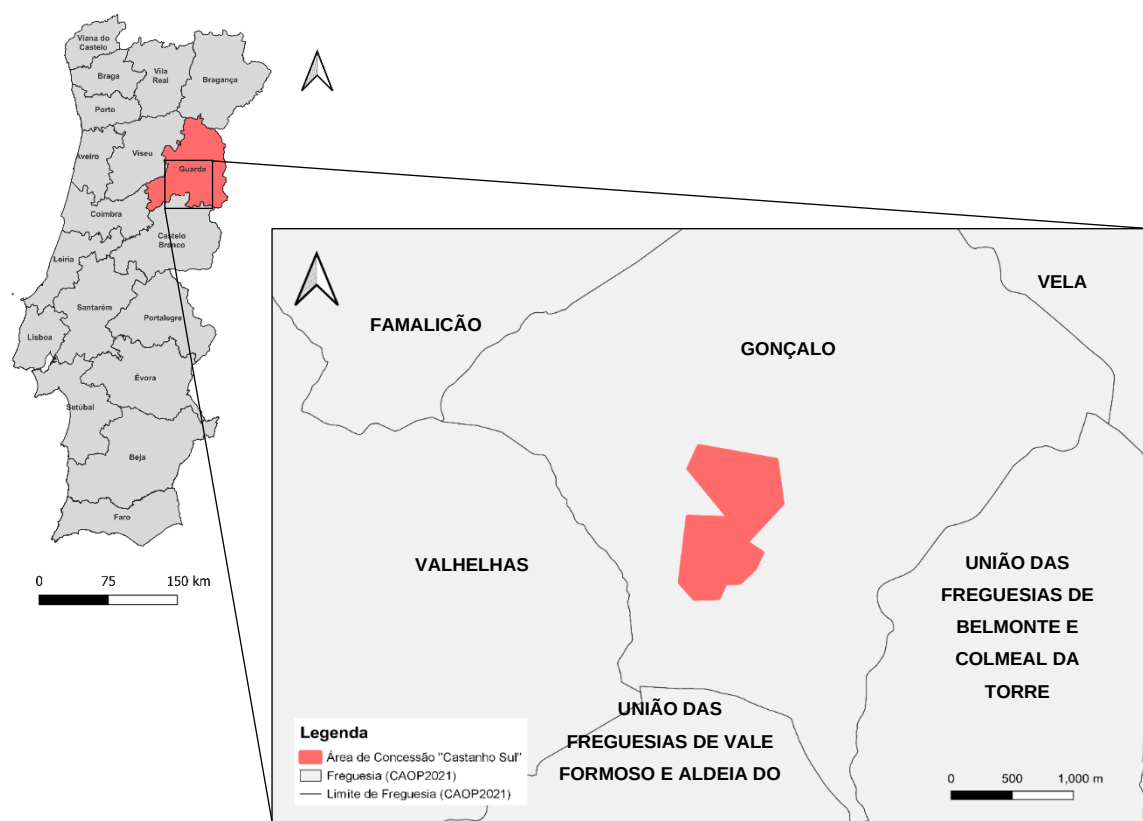


Figura 5 – Localização da área de concessão "Castanho Sul" de acordo com a Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP).

Enquadra-se numa vasta área geologicamente conhecida como o campo aplitopegmatítico da região de Seixo Amarelo – Gonçalo, situada a cerca de 15

quilómetros sudoeste do centro da cidade da Guarda. Este campo, segundo Ramos (1998), pertence a uma extensa região, com cerca de 100 km², onde afloram aplitopegmatitos com mineralizações de metais raros na região centro-oeste de Portugal Continental, abrangendo as regiões de Gouveia – Fornos de Algodres – Celorico da Beira – Guarda – Belmonte – Sabugal, intruindo essencialmente granitos sin-orogénicos e por vezes metassedimentos do CXG.

A região é abrangida pela folha 214 – Gonçalo (Guarda), à escala 1:25 000, e pelas folhas 18 – II (Guarda) e 17 – II (Gouveia), à escala 1:50 000, da Carta Militar do Instituto Geográfico do Exército, e pela carta 18 – C (Guarda), à escala de 1:50 000, da Carta Geológica de Portugal.

É uma concessão registada na Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG) para a exploração de depósitos minerais de feldspato e quartzo e possui cerca de 72 hectares. As coordenadas dos vértices da poligonal que delimita a área encontram-se na Tabela 3 e é possível identificar a área na Figura 6.

Tabela 3 – Coordenadas dos vértices da área de concessão da mina Castanho Sul, na freguesia de Gonçalo (Guarda, Portugal), no sistema ETRS89 PT-TM06.

Vértice	Meridiana	Perpendicular
1	65 640	82 780
2	66 280	82 660
3	66 330	82 280
4	66 037	81 950
5	66 165	81 862
6	66 103	81 720
7	65 980	81 598
8	65 860	81 590
9	65 806	81 464
10	65 604	81 458
11	65 482	81 603
12	65 548	82 172
13	65 880	82 162
14	65 552	82 581

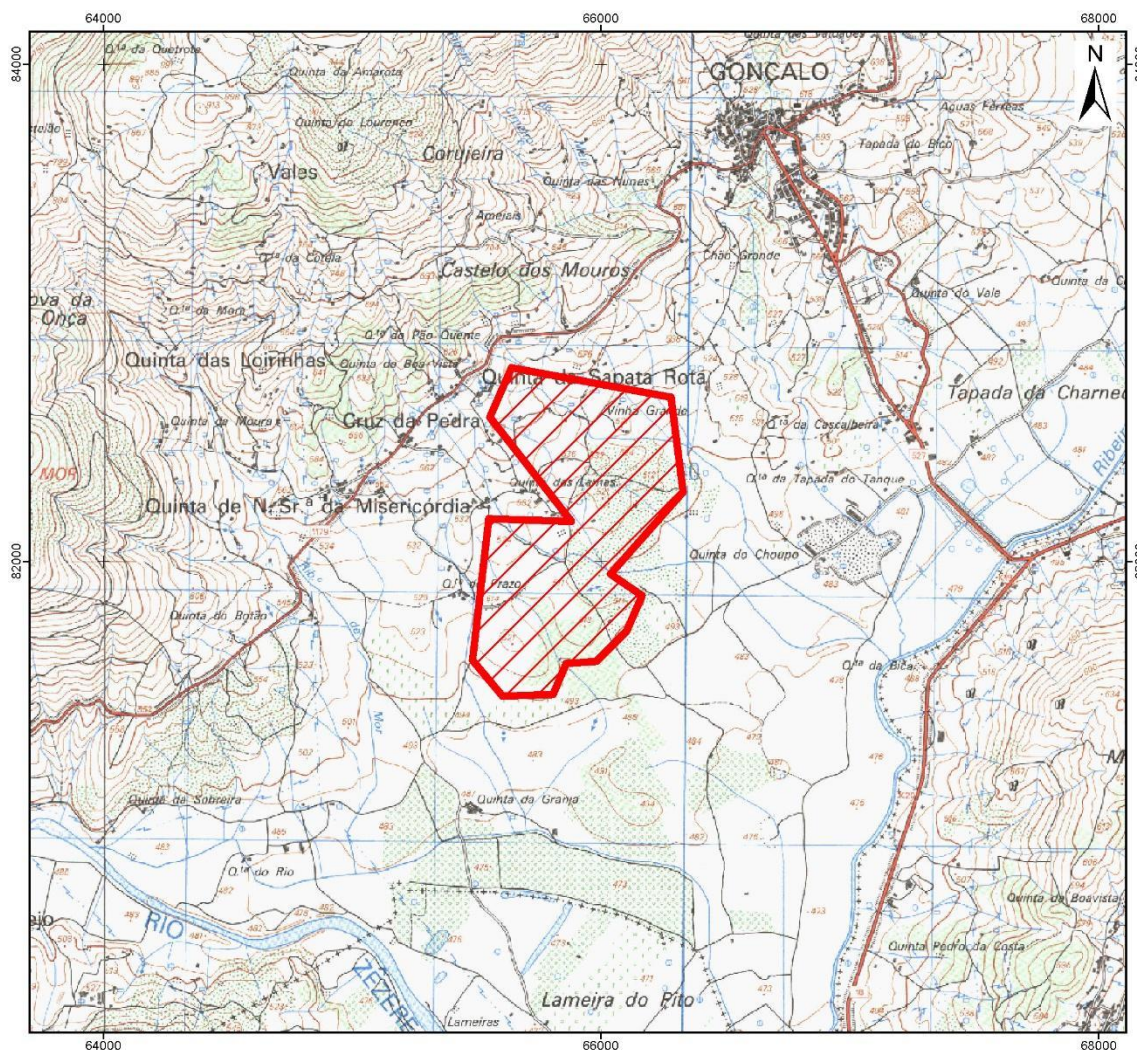


Figura 6 – Localização da área de concessão mineira “Castanho Sul” no excerto da folha 214 – Gonçalo (Guarda), à escala 1:25 000, da Carta Militar do Instituto Geográfico do Exército.

A concessão fica, aproximadamente, a 240 quilómetros a nordeste de Lisboa e 135 quilómetros a sudeste do Porto. O acesso à concessão é feito pela A23, saindo na saída 34, em direção a Benespera, para quem vem do Porto pela A25, ou saindo na saída 33 para Belmonte para quem vem de Lisboa, tomando em ambos os casos a N18 em direção a Gonçalo – Seixo Amarelo. O centro de transformação da Felmica, para onde é enviado o minério das concessões para processamento, encontra-se a aproximadamente 44,00 quilómetros, no concelho de Mangualde e distrito de Viseu.

A área de concessão insere-se na região hidrográfica do Tejo, também denominada de RH5, a cerca de 1 quilometro nordeste do Rio Zêzere e noroeste da ribeira de Gaia, um dos principais afluentes deste rio.

5.2. Gestão do Território

No caso desta concessão, situada na freguesia de Gonçalo, o PDM desta zona, o PDM da Guarda, é um dos casos em que este se encontra em vigor há mais de 10 anos, 29 anos precisamente, tendo sido lançado a 17 de março de 1994. Atualmente encontra-se no processo de revisão e atualização, desde 2019, processo este que se tem atrasado substancialmente devido às condições de saúde pública passadas nos últimos anos (COVID-19). Desde modo, podemos assumir que este plano se encontra desatualizado em relação a realidade atual. O PDM da Guarda é constituído pelas seguintes componentes (Regulamento do Plano Diretor Municipal da Guarda, 1994):

1. Carta de Condicionantes:
 - a. Carta da RAN (1:25 000);
 - b. Carta da REN (1:25 000);
 - c. Extrato do POPNSE¹ (1:50 000) e respetivo regulamento;
 - d. Carta de outras condicionantes (1:50 000).
2. Carta de Ordenamento, desdobrada em:
 - a. Carta de ordenamento do concelho (1:50 000);
 - b. Carta de ordenamento da cidade (1:5 000);
 - c. Cartas de ordenamento dos aglomerados de:
 - i. Barracão (1:10 000);
 - ii. Castanheira (1:10 000);
 - iii. Gonçalo (1:10 000);
 - iv. Maçainhas (1:10 000);
 - v. Porto da Carne (1:10 000);
 - vi. Trinta-Meios-Fernão Joanes (1:10 000);
 - vii. Vila Fernando (1:10 000).
3. Regulamento.

¹ Plano de Ordenamento do Parque Natural da Serra da Estrela

De forma a enquadrar a área da concessão em estudo, vamos considerar o ponto 1. - a. e b. e o ponto 2. a. e c. - iii. Os resultados são apresentados na seguinte tabela:

Tabela 4 – Enquadramento da área de concessão no PDM da Guarda.

PDM da Guarda

Planta de Ordenamento do concelho	Área de Salvaguarda Estrita – Solos e Subsolos mineralizados (Figura 7)
Planta de Ordenamento – Gonçalo	Espaço para Indústria Extrativa (Figura 8)
Planta de Condicionantes: REN	N.d. ² (Figura 9)
Planta de Condicionantes: RAN	N.d. ² ; Área Social – Atual (Figura 10)
Planta de Condicionantes: Outras Condicionantes	N.d. ² ; Proteção aos Recursos Mineiros (Figura 11)

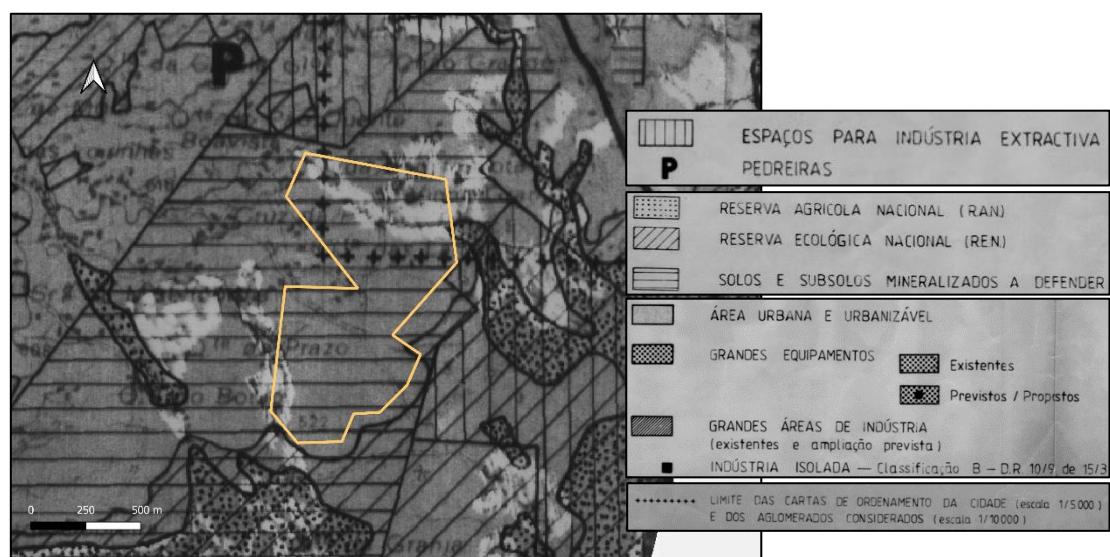


Figura 7 – Carta de Ordenamento do concelho, à escala de 1:50 000, do PDM da Guarda, delimitação da concessão (a laranja) e respetiva legenda.

² Não definido.

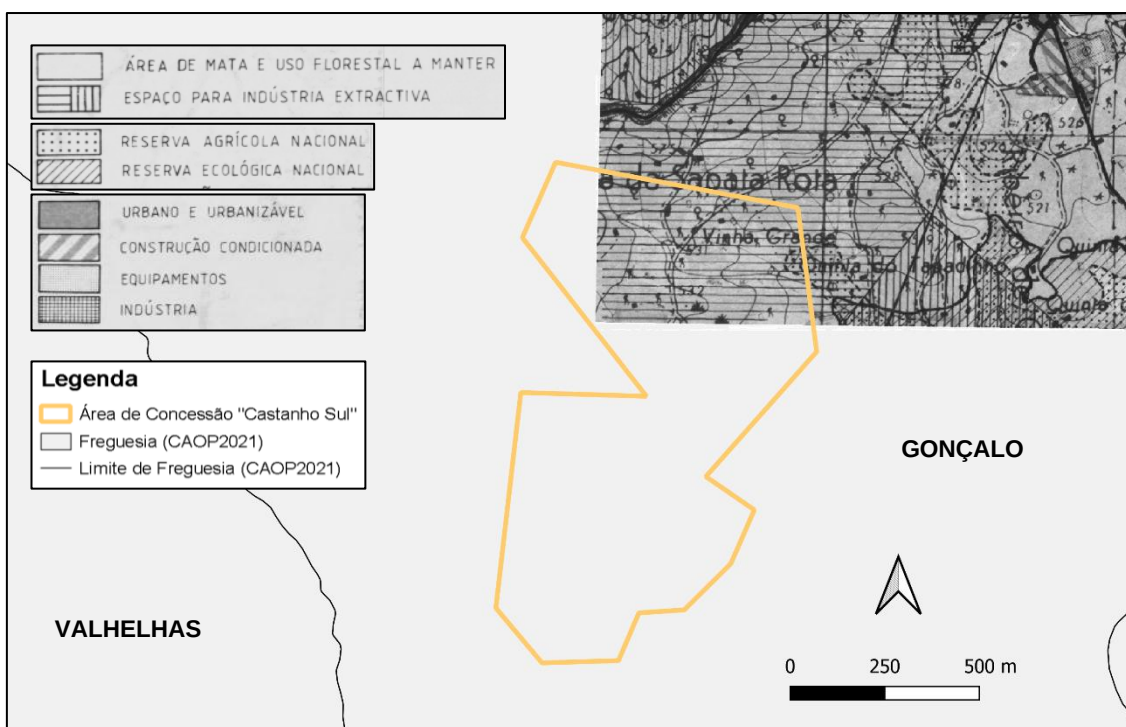


Figura 8 – Carta de Ordenamento do Aglomerado de Gonçalo, à escala de 1:10 000, do PDM da Guarda, delimitação da concessão (a laranja) e respetiva legenda.

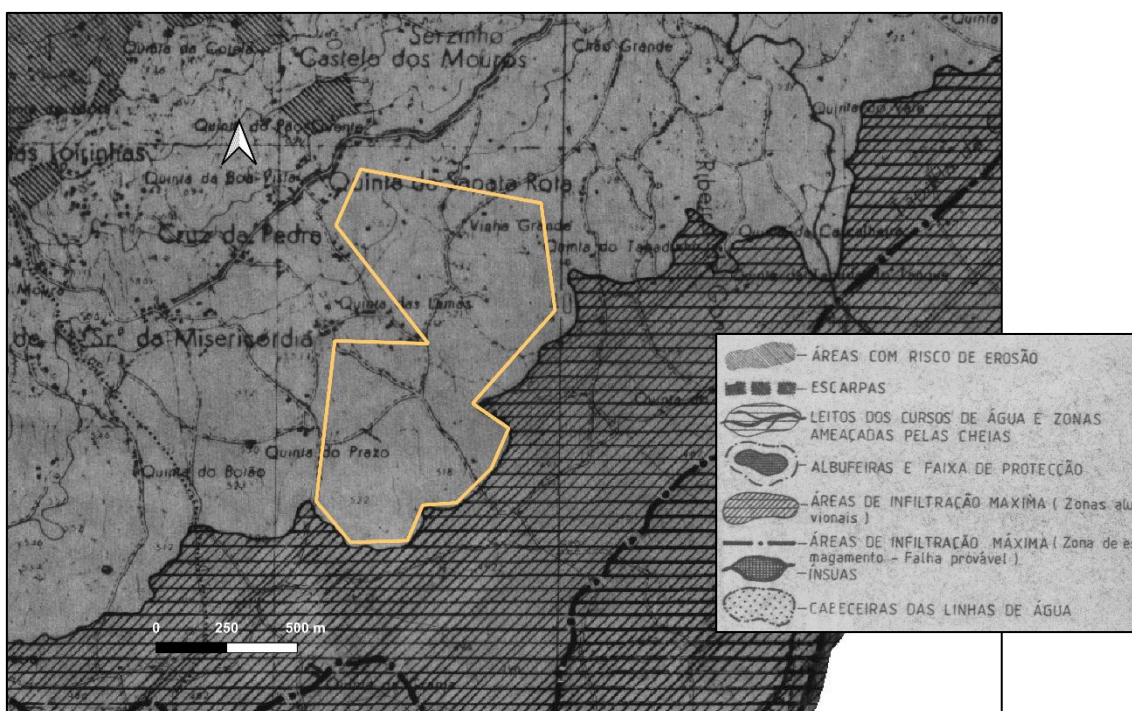


Figura 9 – Carta de Condicionantes REN, à escala de 1:25 000, do PDM da Guarda, delimitação da concessão (a laranja) e respetiva legenda.

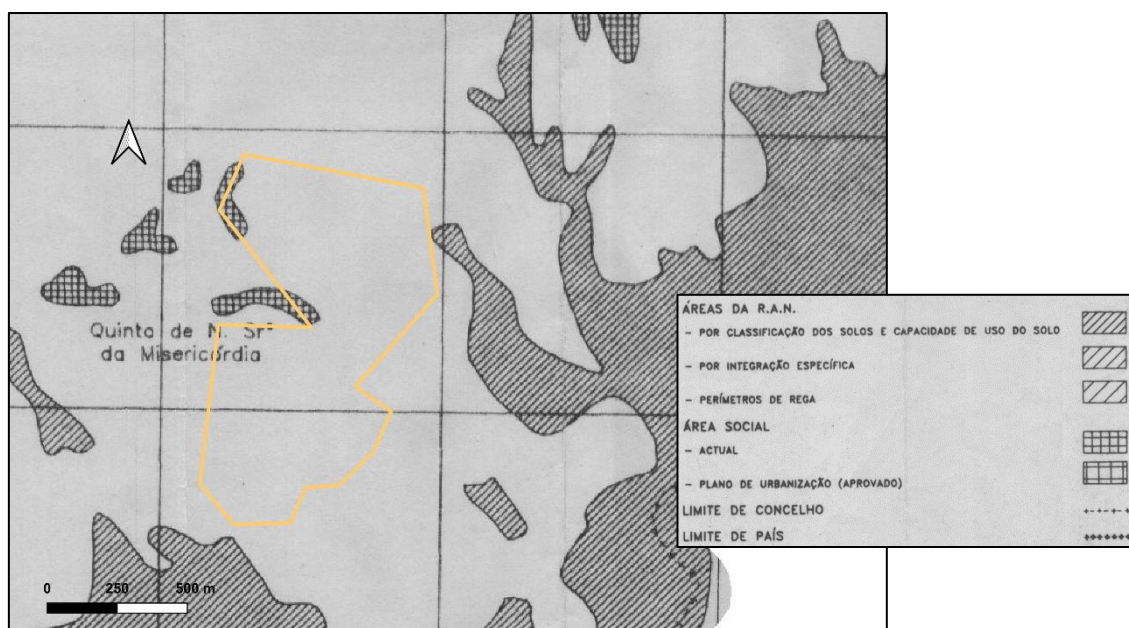


Figura 10 – Carta de Condicionantes RAN, à escala de 1:25 000, do PDM da Guarda, delimitação da concessão (a laranja) e respetiva legenda.

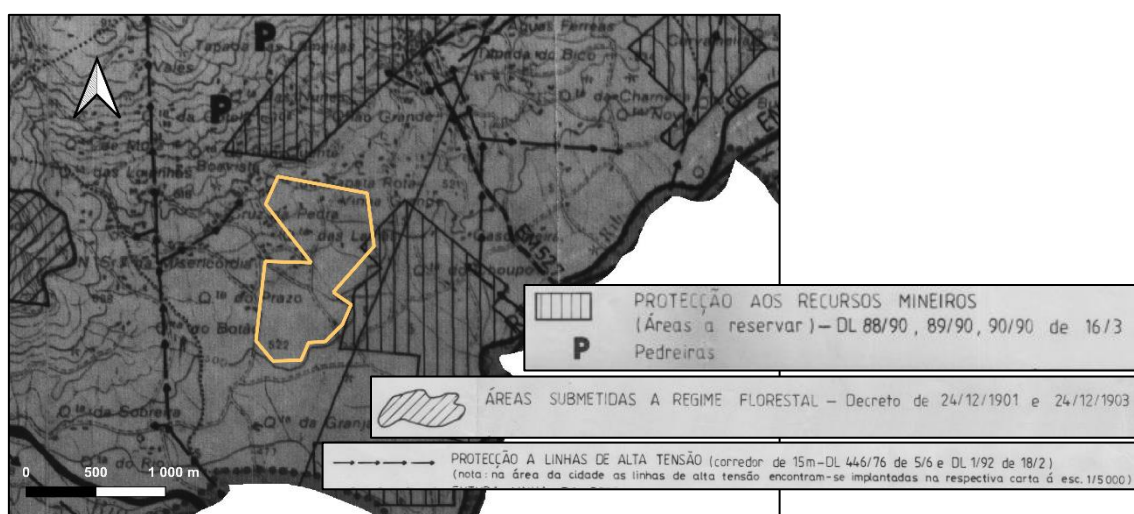


Figura 11 – Carta de Outras Condicionantes, à escala de 1:50 000, do PDM da Guarda, delimitação da concessão (a laranja) e respetiva legenda.

A área de concessão “Castanho Sul” integra-se, atualmente, na área sensível dos Geoparques da UNESCO pertencente ao Sistema Nacional de Áreas Classificadas (SNAC) classificado ao abrigo do Decreto-Lei n.º 142/2008, de 24 de julho (ponto i). O

geoparque em questão é o Geoparque Estrela, que integra a Rede Mundial de Geoparques da UNESCO desde 2020 (Associação Geopark Estrela, 2022).

Para além de integrar o Geoparque Estrela, é importante notar as áreas classificadas mais próximas, que se encontram a cerca de dois quilómetros para noroeste:

- O Parque Natural da Serra da Estrela (PNSE; PT0800004);
- O Sítio Rede Natura Serra da Estrela (PTCON0014);
- A ZEC Serra da Estrela (PTCON0014);
- A IBA (*Important Bird Areas* ou Áreas Importantes para Aves e Biodiversidade) Serra da Estrela (PTCON0014).

Em conclusão, a área em estudo não se encontrava inserida em nenhuma área sensível na altura da contratualização inicial com a ENU, em 1994, nem na altura da adenda realizada, em 2020, já sob controlo da Felmica. Deste modo, não há qualquer conflito com o atual RJGT.

5.3. Enquadramento Geológico Regional

A concessão mineira “Castanho Sul” enquadra-se na Zona Centro Ibérica (ZCI), no denominado campo aplitopegmatítico com mineralizações de metais raros da região de Seixo Amarelo – Gonçalo com cerca de 100 km² localizada numa encosta do maciço granítico da Serra da Estrela, com elevações que variam entre os 450 a 850 metros.

Portugal situa-se na extremidade ocidental da Península Ibérica, banhado a Oeste e a Sul pelo Oceano Atlântico e faz fronteira com Espanha a Norte e a Este. A Península Ibérica é constituída, essencialmente, por um fragmento rochoso designado por Maciço Ibérico, com mais de 200 milhões de anos (Ma). Este maciço caracteriza-se pela existência de várias zonas geotectónicas, com uma direção geral E-W, com características paleogeográficas, tectónicas, metamórficas e magmáticas distintas, que, de acordo com Lotze (1945) e Julivert et al. (1974), são as seguintes (Figura 12):

- zona Cantábrica (ZC);
- zona Astúrico-Occidental Leonesa (ZAOL);
- zona Galiza-Trás-os-Montes (ZGTM);
- zona Centro-Ibérica (ZCI);
- zona de Ossa Morena (ZOM);
- zona Sul Portuguesa (ZSP).

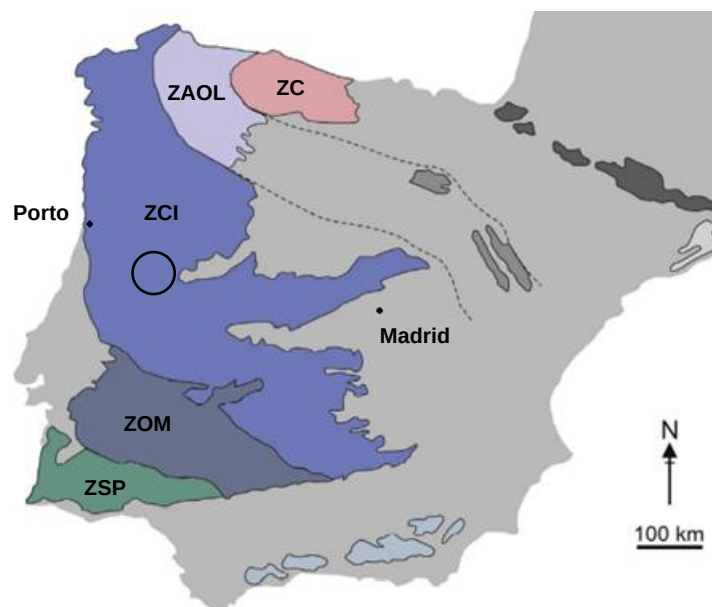


Figura 12 – A Península Ibérica e as principais unidades variscas do Maciço Ibérico de acordo com Lotze (1945) e Julivert et al. (1974). Adaptado de Ferriday & Montenari (2016).

O Maciço Ibérico foi formado essencialmente pela agregação de terrenos afetados por diversas orogenias, que culminaram com a formação da cadeia varisca, a qual tem uma natureza essencialmente ígnea e metamórfica. É atravessada pela Cordilheira Central, que corresponde a um *horst* compressivo alongado na direção ENE-WSW, a qual no nosso país tem a Serra da Estrela como relevo mais importante. As mineralizações de metais raros nesta zona encontram-se essencialmente na encosta norte e este desta serra (Ramos, 1998).

A estrutura e metamorfismo da ZCI deve-se à deformação associada à orogenia Varisca, que pode ser dividida em três fases principais de deformação dúctil caracterizadas da seguinte forma (Ramos, 1998; Figura 13):

- A primeira fase (D1), compressiva, originou dobras com plano axial subvertical e uma xistosidade (S1), com direção geral NW-SE;
- A segunda fase (D2) dobra e transpõem localmente a xistosidade anterior (S1) por dobramentos de eixo variável e, em geral, plano axial subhorizontal com a xistosidade S2 associada;

- A terceira fase (D3) atuou regionalmente, sendo praticamente coaxial com a D1 e gerando dobramento de eixo subhorizontal e plano axial subvertical, por vezes com a xistosidade S3 associada.

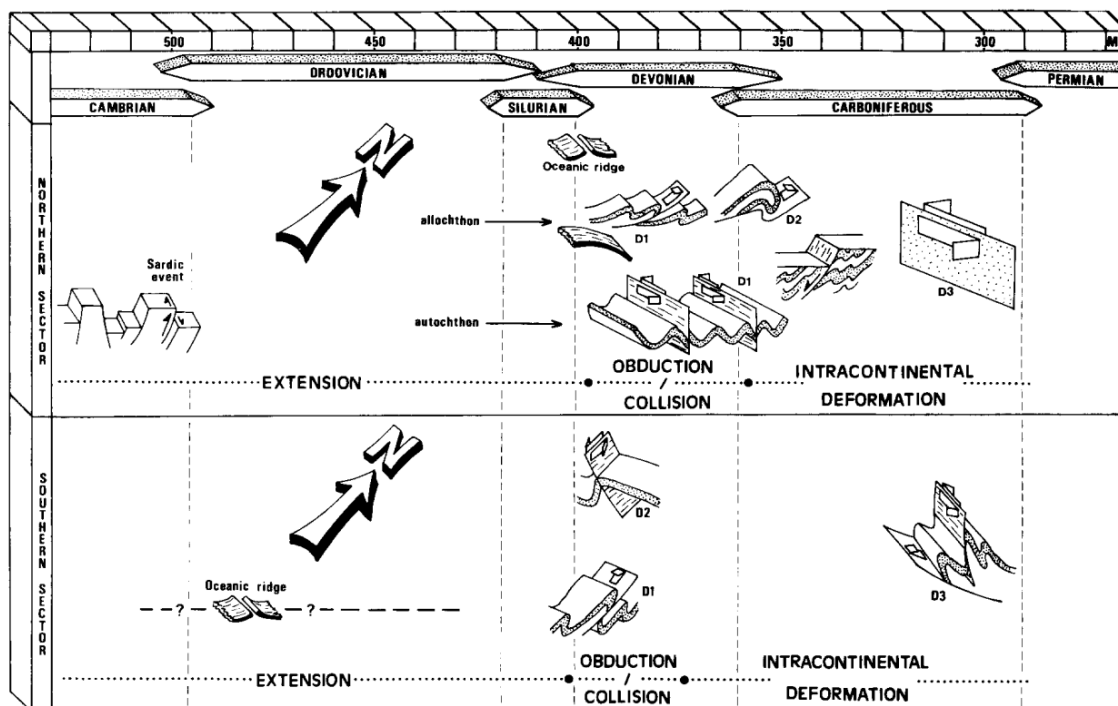


Figura 13 – Principais fases de deformação que afetaram a Península Ibérica durante a orogenia Varisca, no setor norte e sul (Dias & Ribeiro, 1995).

Posteriormente e depois da fase D3 (tardi- e pós-D3), atuaram as fases de deformação frágil e dúctil-frágil, responsáveis por importantes alinhamentos de fratura. Os maciços graníticos e o seu encaixante metassedimentar foram afetados por vários sistemas de falhas tardi-variscas, algumas com rochas intrusivas, com orientações dominantes NE-SW, NW-SE, N-S, ENE-WSW. Surgiram também sistemas conjugados de fraturas, a principal com direção NNE-SSW, que controlou a instalação de maciços graníticos pós-tectónicos (Ramos, 1998). De acordo com Noronha (2007), estes granitos podem-se dividir com base nas suas características geológicas, petrográficas e geoquímicas, em dois grupos principais:

- Granitos de duas micas – granitos sintectónicos (sin-D3) do tipo S, geralmente leucocrátas com moscovite e biotite primárias, que resultaram da cristalização

de magmas peraluminosos com origem em níveis mesocrustais (relacionados com processos metamórficos);

- Granitos biotíticos - Tem origem a um nível crustal profundo e corresponderia a magmas relativamente secos. A intrusão e a distribuição destes granitos são controladas pelas zonas de cisalhamento e pela fracturação frágil tardi-varisca (NNE-SSW). Podem ser pré a sin-D3 (313-320 Ma), tardo-tectónicos (306-311Ma), tardios a pós-tectónicos (300Ma), ou pós-tectónicos (299-290 Ma).

5.4. Enquadramento Geológico Local

Do ponto de vista geológico, nesta zona afloram filões subhorizontais (soleiras geralmente com pendores inferiores a 30º) de espessura geralmente inferior a 3,50 metros, mas que podem atingir os 10,00 metros de espessura. Estes filões intruem essencialmente um granito porfiróide biotítico, de grão grosseiro a médio (granito da Guarda) e uma pequena área de metassedimentos do CXG (Ramos, 1998).

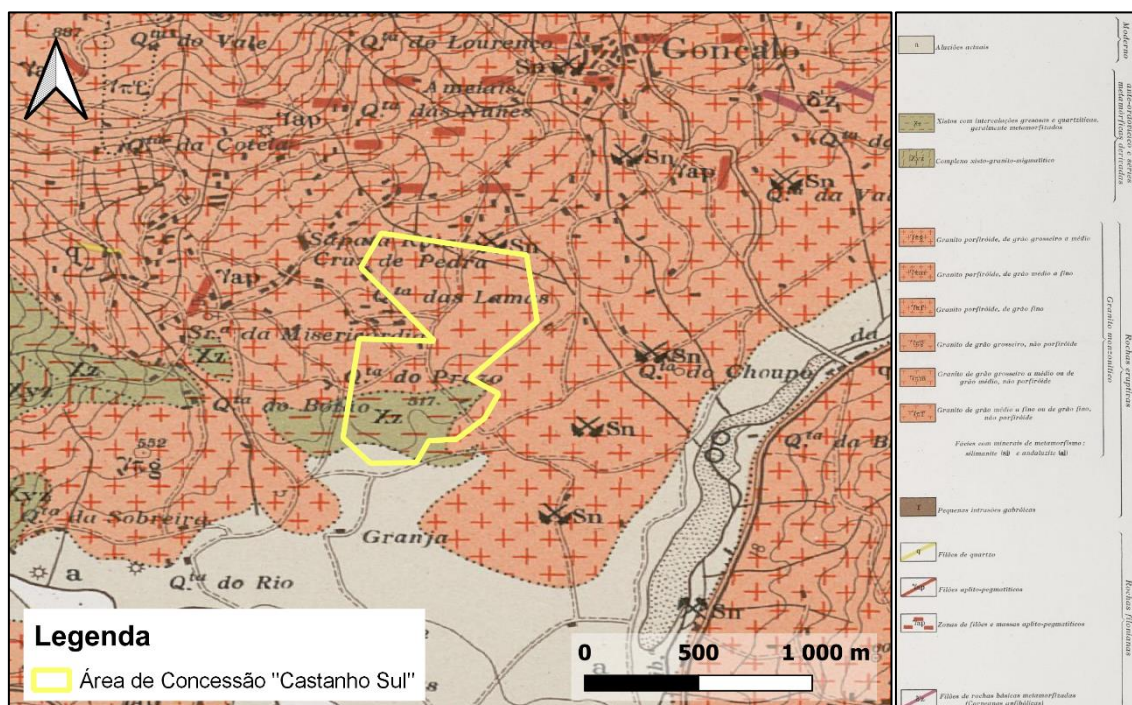


Figura 14 – Enquadramento geológico da concessão mineira C-43 "Castanho Sul" no excerto da folha 18 – C (Guarda), à escala de 1:50 000, da Carta Geológica de Portugal.

Segundo Ramos (1998), a fracturação tardia NNE-SSW e NE-SW divide o campo aplitopegmatítico em diferentes sectores, que condicionaram o afloramento de três tipos principais de soleiras:

- Soleiras litíferas: As soleiras de lítio são as mais evoluídas do ponto de vista geoquímico. Apresentam uma textura aplitopegmatítica, de cor rosada, devido à elevada presença de lepidolite, e contêm também quartzo, k-feldspato, albite, moscovite, petalite, montebrasite e topázio. São enriquecidas em Al, Mn, P, Li, Rb, Sr, Nb e Ta. Ocorrem em níveis estruturais e topográficos superiores, mas tectonicamente deprimidos. Os valores médios de Li são de $5845 \pm 592\text{ppm}$, o que corresponde a 1,24% Li_2O ;
- Soleiras estaníferas: As soleiras de estanho menos evoluídas. Apresentam uma textura aplitopegmatítica, de cor creme e contêm quartzo, k-feldspato, albite, moscovite, lepidolite rara, montebrasite, topázio, apatite, berilo, cassiterite, columbite-tantalite. São enriquecidas em Si, K, Fe e Sn. Ocorrem em níveis estruturais e topográficos inferiores na região;
- Soleiras mistas: As soleiras mistas têm uma composição intermédia e a níveis estruturais e topográficos intermédios, correspondendo a uma fase de transição.

Nesta área está representada a evolução continua do magma que originou estes corpos. Estão presentes desde fases menos diferenciadas, que se encontram em níveis estruturais e topográficos inferiores, até fases mais diferenciadas, que se encontram em níveis estruturais e topográficos superiores, onde terão sofrido ações tardi- e pós-magmáticas mais intensas. A instalação destas soleiras provocou uma orla de alteração nas zonas de contacto com estas litologias, causada por metassomatismo, onde é possível verificar a substituição de biotite por zinnwaldite, e a transformação de moscovite em lepidolite nas zonas centro e muros destas soleiras.

De acordo com Cerný & Ercit (2005), as soleiras aplitopegmatíticas litíferas pertencem à classe dos elementos raros (REL), subclasse REL-Li, do tipo complexo e subtipo lepidolite e as soleiras estaníferas pertencem à REL, subclasse REL-Li, do tipo complexo e subtipo amblygonite. As soleiras aplitopegmatíticas estaníferas pertencem à classe REL, subclasse REL-Li, do tipo complexo e subtipo amblygonite. De acordo com a classificação petrogenética, são considerados aplitopegmatitos de tipo LCT.

6. Modelação Geológica 3D

Um modelo geológico tridimensional (3D) é uma representação tridimensional da forma física e das respetivas características de um conjunto de objetos geológicos num determinado volume.

A modelação geológica tem-se desenvolvido bastante nestes últimos anos. No trabalho geológico tradicional, com o recurso à digitalização manual, os dados são apresentados num espaço bidimensional, tais como secções e perfis geológicos. O resultado é um modelo bidimensional que tenta representar aspetos geológicos tridimensionais, como estratos, falhas, relevo, etc., num plano, o que causa perda e distorção da informação. A criação de perfis geológicos onde são inseridas manualmente as sondagens, determinadas as correlações entre as mesmas e a extensão lateral da mineralização entre perfis era, e ainda é, um procedimento comum no cálculo de recursos minerais. Este processo, no modo tradicional, possui várias limitações (Cowan et al., 2003):

1. A digitalização manual consome muito tempo, principalmente se a informação a ser modelada for complexa;
2. Os modelos, secções ou perfis criados não podem ser atualizados automaticamente à medida que se vão adquirindo novos dados, tendo que ser recriados novamente com as novas informações;
3. A dificuldade na atualização impede, de certa forma, a sua atualização continua sendo esta realizada, preferencialmente, por campanhas;
4. Os modelos, perfis, secções, entre outros, são construídos através de interpretações específicas ao geólogo responsável pela sua criação e atualização, e não podem ser facilmente replicadas por outros, o que pode causar problemas futuros.

Dadas as limitações dos métodos de modelação tradicionais, existem atualmente várias ferramentas capazes de mitigar estes problemas apresentados. Para este relatório, o *software* Leapfrog Geo, da empresa Seequent Ltd., foi escolhido para a criação do modelo geológico em 3D da área. Este *software* permite criar fácil e rapidamente, a partir de dados geocientíficos, uma modelação geológica tridimensional implícita. O método de interpolação utilizado pelo programa para a criação dos modelos é o FastRBF, que se assemelha ao método de krigagem (Åberg et al., 2021 como citado em Oliver & Webster, 1990). Este método baseia-se num algoritmo matemático

desenvolvido a partir de funções de bases radiais (RBF – *Radial Basis Functions*) que utiliza os dados e parâmetros fornecidos pelo utilizador para derivar várias variáveis, discretas (ex.: litologia) e contínuas (ex.: teor do minério), para construir modelos implícitos (Seequent Ltd., 2018). Este método de interpolação foi utilizado pela primeira vez por Hardy (1971) para interpolar dados topográficos dispersos. São métodos de interpolação e modelação que permitem o tratamento de grandes conjuntos de dados e a fácil edição e atualização dos mesmos e dos modelos neles baseados. São considerados os melhores interpoladores de superfícies, devido à sua capacidade de suavizar as superfícies de interpolação criadas, o que torna ideal a sua aplicação na modelação geológica.

Como é referido acima no ponto 4., é comum que os dados obtidos sejam insuficientes e tenham de ser complementados pelo conhecimento geológico do geólogo a cargo da modelação. Essas alterações e ajustes, são realizadas ao longo do processo e introduzidas automaticamente, provocando uma dissolução entre os dados exatos e os resultantes de interpretações (dados medidos e hipotéticos, respetivamente). No caso da modelação implícita, os dados exatos e as interpretações introduzidas são separadas e podem ser identificadas e analisadas individualmente (Seequent Ltd., 2018).

Apesar de todos os pontos positivos a cerca deste método de modelação, é necessário lembrar que possui também algumas limitações. Os principais problemas que podem influenciar pela negativa os modelos são (Fallara et al., 2006):

- Distribuição dos dados: Uma distribuição irregular ou esparsa dos dados pode resultar em valores interpolados menos significativos. Quanto maior for a distância entre os valores conhecidos, mais difícil e menos preciso será a estimativa calculada.
- Métodos de Interpolação: Os resultados obtidos variam de acordo com o método de interpolação utilizado, ou seja, o uso de um método de interpolação não adequado pode levar a ocorrência de erros significativos.
- Subjetividade Humana: É possível obter uma grande variação de resultados utilizando métodos diferentes disponibilizados, uma vez que a subjetividade do utilizador também está envolvida na modelação.

É importante notar que as principais limitações apontadas para este método também se aplicam aos métodos tradicionais de digitalização manual. No entanto, não diminui a eficácia deste método, pelo contrário, salienta ainda mais as suas vantagens, já que é

possível experimentar e comparar diferentes parâmetros geológicos de forma rápida e eficaz. Isso possibilita a determinação do modelo mais apropriado para o projeto em questão, ao contrário dos métodos tradicionais, pelos quais não é impossível, mas muito mais complexo.

7. Dados e Metodologias

O objetivo principal deste relatório é a construção de modelos geológicos 3D baseados na informação disponível de antigos trabalhos de pesquisa e prospeção realizados na área da concessão, e posteriormente aperfeiçoados através de novas informações adquiridas. Neste capítulo 7 vai ser abordada a informação recolhida e as metodologias utilizadas durante este trabalho. Para o cálculo dos recursos presentes na área de concessão foram utilizados e comparados dois métodos distintos. O primeiro método utilizado, o usado na empresa, foi o cálculo através do método dos perfis utilizando o software AutoCAD. O segundo método foi o da modelação geológica em 3D, utilizando o software Leapfrog Geo, com a criação de dois modelos geológicos implícitos. Ambos os métodos usam como base os dados referidos nos subcapítulos seguintes.

7.1. Recolha de Dados

Para proceder com os objetivos deste relatório foi realizado trabalho de gabinete e trabalho de campo para reunir e recolher toda a informação disponível e necessária sobre a área em estudo. O trabalho de gabinete envolveu uma pesquisa extensiva de todos os documentos disponíveis, em formato digital e físico, sobre a área. Sendo a área em estudo alvo de projetos de prospeção e pesquisa desde os anos 90, alguma informação e documentos importantes foram perdidos ao longo dos anos. Nesta pesquisa foram encontradas informações sobre duas antigas campanhas de sondagens justamente com os resultados das análises químicas, levantamentos geológicos de superfície e levantamentos topográficos realizados, com algumas falhas ocasionais na documentação. De forma a diminuir o impacto dessas falhas, e adquirir novos dados e melhorar os modelos finais, foi realizado um trabalho de campo de modo a organizar, reavaliar e estudar os logs de sondagens disponíveis nos armazéns da empresa.

As campanhas de sondagens encontrada, denominadas “Galindra” e “Qta. da Granja” (uma subsecção da área de prospeção e pesquisa “Gonçalo”) são compostas por dez e sete furos de sondagem, respetivamente, que se encontram inseridos a sul da área de concessão atual de “Castanho Sul” (Figura 15).

Os logs de sondagem consistem nas coordenadas, na profundidade, nas litologias atravessadas, os teores de elementos maiores e por vezes os teores de lítio de certas

litologias, as taxas de recuperação e ainda algumas observações relativas a particularidades mineralógicas e estruturais.

De forma a definir o tamanho e a forma do potencial minério de maneira eficiente, as sondagens são normalmente realizadas de forma a interceptar os limites da mineralização com um ângulo o mais perto possível dos 90°. Deste modo, e tendo em atenção que as soleiras aplitopegmatíticas tendem a ter, no geral, uma orientação quase horizontal, as sondagens realizadas em todos os blocos são verticais (Marjoribanks, 2010).

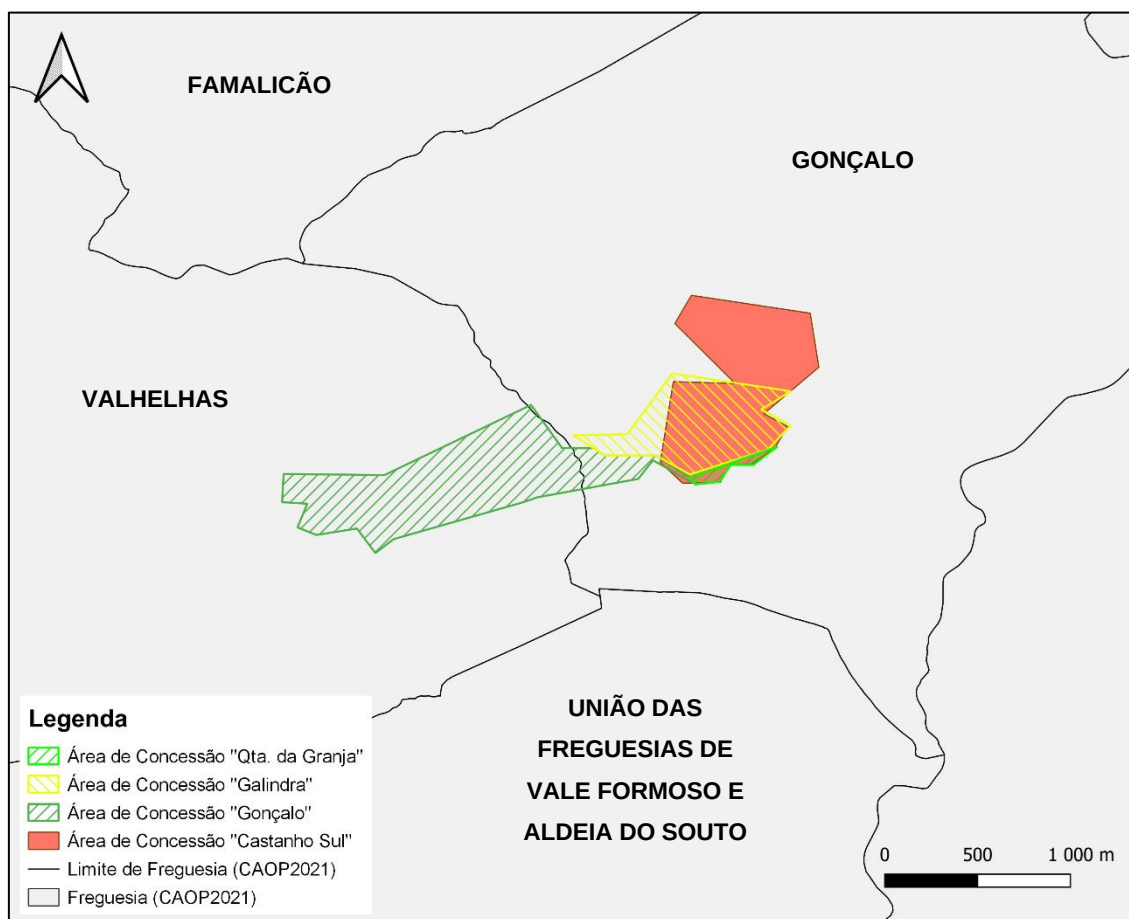


Figura 15 – Localização das áreas de concessão "Galindra", "Gonçalo" e a da sub-área "Qta. da Granja" em relação a área em estudo, a concessão "Castanho Sul".

Para a criação da topografia da área foram utilizados os levantamentos topográficos realizados pelo grupo MOTA. Esses levantamentos consistem nas coordenadas de 147

pontos com as suas respetivas medições de cota. Estas medições são aleatórias e não seguem qualquer tipo de malha ou padrão (Figura 16).

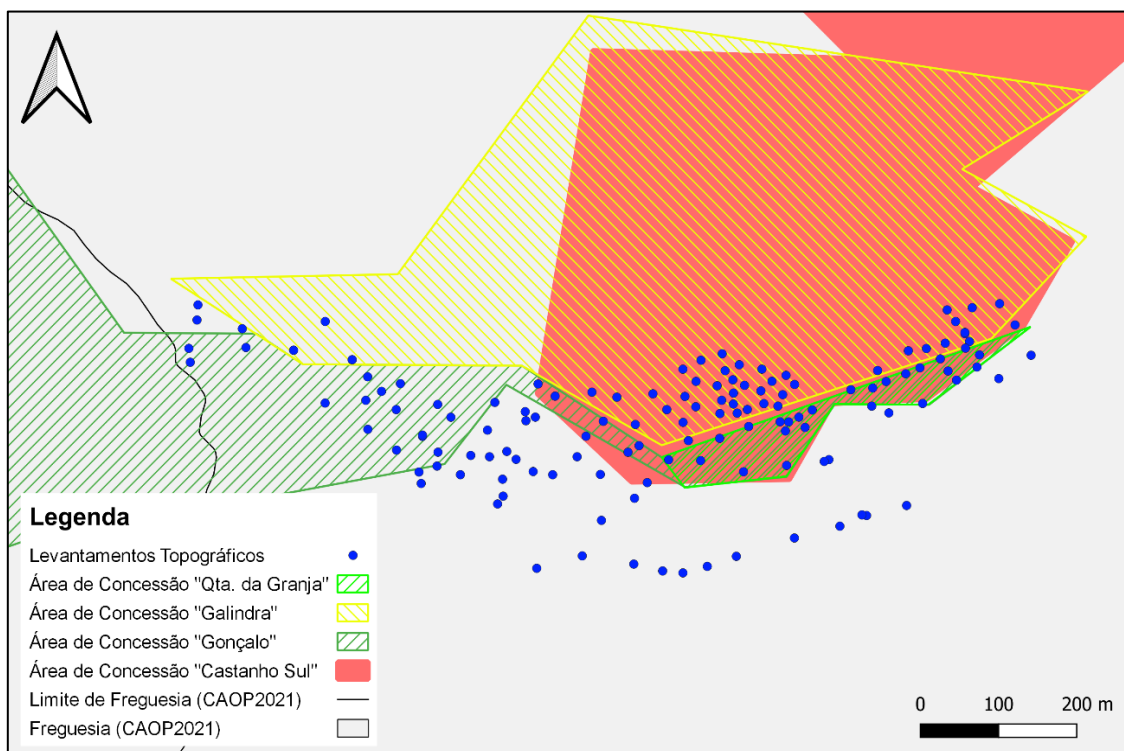


Figura 16 – Representação geográfica, relativamente às áreas de concessão, dos levantamentos topográficos.

7.1.1. Bloco A – “Qta. da Granja”

O primeiro conjunto de sondagens foi realizado em junho de 1997, pela empresa ADM do Grupo MOTA, para um projeto de prospeção e pesquisa. Este projeto foi realizado na área de concessão designada por “Qta. da Granja” ou bloco A, uma área com cerca de 2.49 hectares (Figura 17) e delimitada por uma poligonal cujas coordenadas dos vértices se encontram na Tabela 5.

Tabela 5 – Coordenadas dos vértices da área de concessão "Qta da Granja", no sistema de coordenadas ETRS89 PT-TM06.

VÉRTICE	MERIDIANA	PERPENDICULAR
1	65 670	81 450
2	65 800	81 470

3	65 860	81 590
4	65 980	81 590
5	66 110	81 720
6	65 640	81 500

O plano de sondagens exploratórias consistiu na execução de dez sondagens destrutivas, GJ1 a GJ10 (Figura 17, Tabela 6).

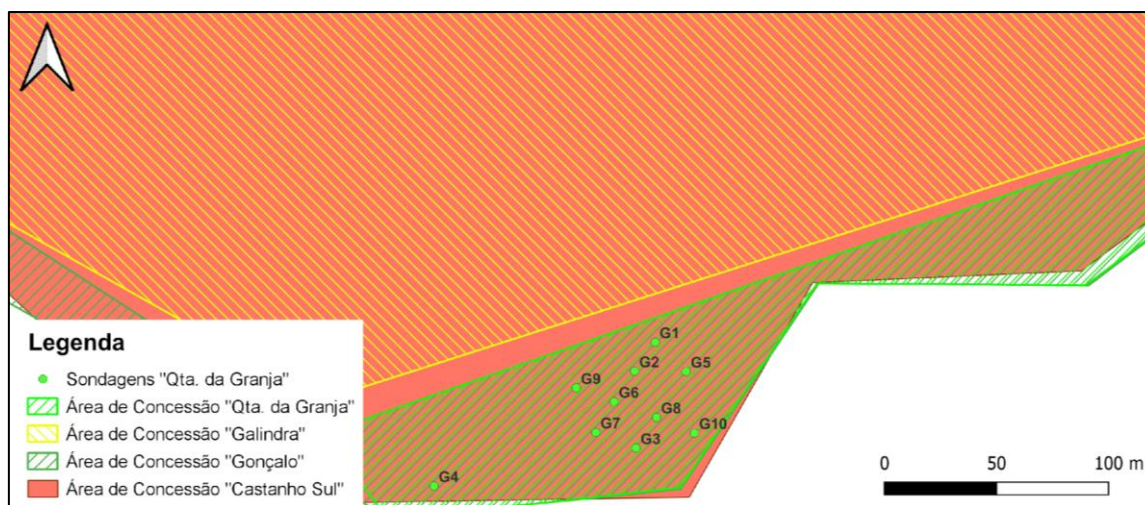


Figura 17 – Localização geográfica relativa às concessões de "Galindra", "Qta. da Granja", "Gonçalo" e "Castanho Sul" das sondagens de "Qta. da Granja".

Foi obtida uma metragem total de 182,00 metros, com furos com uma profundidade média de 18,20 metros.

Tabela 6 – Informações sobre a campanha de sondagens GJ, da concessão "Qta da Granja" – bloco A.

Furo	Cota (m)	Profundidade Máxima (m)
GJ1	504,00	21,50
GJ2	504,50	15,50
GJ3	501,00	21,50
GJ4	502,00	21,50
GJ5	502,00	10,50
GJ6	504,00	21,50
GJ7	503,50	18,50
GJ8	502,00	17,50

GJ9	506,00	21,50
GJ10	500,00	12,50

Os logs das sondagens focaram-se na individualização das diferentes litologias, neste caso com a distinção entre as soleiras litíferas e as soleiras estaníferas. De forma a facilitar o processo da criação do modelo geológico, os logs foram simplificados de forma a distinguir apenas as litologias principais: o granito, os metassedimentos e os aplitopegmatitos litíferos e estaníferos (Tabela 7).

Tabela 7 – Os logs simplificados das sondagens GJ, da concessão “Qta. da Granja” – bloco A.

	De (m)	A (m)	Litologia Simplificada
GJ1	0,00	1,50	Solo
	1,50	3,50	Metassedimentos
	3,50	6,00	Aplitopegmatito litífero
	6,00	21,50	Metassedimentos
GJ2	0,00	1,50	Solo
	1,50	3,30	Granito
	3,30	5,00	Aplitopegmatito
	5,00	11,00	Granito
	11,00	12,20	Aplitopegmatito
	12,20	15,50	Granito
GJ3	0,00	1,50	Solo
	1,50	21,50	Granito
GJ4	0,00	1,50	Solo
	1,50	21,50	Metassedimentos
GJ5	0,00	1,50	Solo
	1,50	5,00	Granito
	5,00	9,00	Aplitopegmatito litífero
	9,00	10,50	Granito
GJ6	0,00	1,50	Solo
	1,50	3,50	Metassedimentos
	3,50	7,50	Granito
	7,50	12,00	Granito
	12,00	14,00	Granito
	14,00	18,00	Aplitopegmatito litífero
	18,00	21,50	Granito
GJ7	0,00	1,00	Solo
	1,00	3,00	Metassedimentos
	3,00	11,00	Granito

	11,00	11,80	Aplitopegmatito
	11,80	18,50	Granito
GJ8	0,00	1,00	Solo
	1,00	2,50	Granito
	2,50	3,00	Aplitopegmatito
	3,00	5,50	Granito
	5,50	12,30	Metassedimentos
	12,30	16,50	Aplitopegmatito litinífero
	16,50	17,50	Sem recuperação
GJ9	0,00	1,00	Solo
	1,00	16,00	Metassedimentos
	16,00	18,00	Granito
	18,00	21,50	Aplitopegmatito litinífero
GJ10	0,00	1,50	Solo
	1,50	10,00	Granito
	10,00	11,50	Aplitopegmatito litinífero
	11,50	12,50	Sem recuperação

A estas sondagens foram retiradas para análise química 13 amostras de 7 das sondagens realizadas (Tabela 8), sendo que as sondagens GJ3, GJ4 e GJ7 foram excluídas pela falta de mineralização ou, no caso específico da GJ7, pelo facto da espessura da soleira presente ser inferior a 1 metro.

Tabela 8 – Amostragem das sondagens de GJ.

Amostra	Sondagem	De (m)	A (m)	Extensão (m)
GJ1-1	G1	3.50	6.00	2.50
GJ2-1	G2	3.50	5.00	1.50
GJ2-2	G2	10.50	12.50	2.00
GJ5-1	G5	4.50	5.50	1.00
GJ5-2	G5	5.50	8.50	3.00
GJ5-3	G5	8.50	9.50	1.00
GJ6-1	G6	13.50	14.50	1.00
GJ6-2	G6	14.50	17.50	3.00
GJ6-3	G6	17.50	18.50	1.00
GJ8-1	G8	11.50	13.50	2.00
GJ8-2	G8	13.50	16.50	2.50
GJ9-1	G9	18.50	21.50	3.00
GJ10-1	G10	10.50	11.50	1.00

Foram realizadas análises químicas aos elementos maiores, através do XRF (X-Ray Fluorescence – Fluorescência dos Raios-X), e ao elemento menor lítio (Li), através do ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma Spectrometry* – Espectrometria de Massa Acoplada a Plasma Indutivo) (Tabela 9).

Tabela 9 – Análises químicas dos elementos maiores com XRF das amostras das sondagens GJ.

Amostra	PR ³	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	Li ₂ O
GJ1-1	6.14	60.80	24.70	2.23	0.04	0.99	0.41	4.19	0.12	0.06	0.20	0.46
GJ2-1	5.25	64.10	22.30	2.26	0.02	0.82	0.20	4.63	0.64	0.03	0.13	0.05
GJ2-2	3.15	69.90	17.30	2.43	0.05	1.06	0.41	5.44	0.23	0.10	0.22	0.08
GJ5-1	6.23	60.4	24.40	2.50	0.02	0.69	0.40	5.22	0.33	0.03	0.19	0.12
GJ5-2	6.75	59.50	25.00	2.22	0.03	0.82	0.53	4.18	0.28	0.07	0.20	0.43
GJ5-3	5.12	67.9	19.30	1.69	0.04	0.43	0.44	5.11	0.16	0.05	0.15	0.11
GJ6-1	3.99	64.70	20.60	2.25	0.16	1.28	0.75	6.08	0.08	0.12	0.28	0.05
GJ6-2	3.28	66.20	20.10	1.35	0.24	1.07	1.59	5.12	0.05	0.10	0.40	0.60
GJ6-3	2.63	68.60	18.40	1.30	0.37	0.79	2.34	4.50	0.07	0.07	0.41	0.46
GJ8-1	3.80	63.7	20.20	3.78	0.14	0.99	0.99	5.93	0.49	0.07	0.25	0.05
GJ8-2	4.39	62.9	22.30	1.82	0.14	0.88	2.02	4.43	0.19	0.08	0.26	0.44
GJ9-2	5.28	60.60	22.70	3.80	0.05	0.98	0.97	4.37	0.49	0.07	0.23	0.41
GJ10-1	5.56	60.90	21.90	3.95	0.04	1.24	0.33	5.42	0.47	0.11	0.24	0.28

7.1.2. Bloco B – “Galindra”

O segundo conjunto de sondagens foi realizado em junho de 1993, pela Empresa Nacional de Urânio S.A. (ENU), para um projeto de prospeção e pesquisa. No dia 7 de fevereiro de 1995, registou-se a celebração do contrato entre o estado e a Empresa Nacional de Urânio, S.A. (ENU), tendo sido objeto de uma primeira adenda na data de

³ Perda ao rubro.

25 de maio de 2007. No dia 5 de setembro de 2002, a ENU cedeu a sua posição contratual desta área para a Felmica.

Este projeto foi realizado na área de concessão designada por “Galindra”, uma área com cerca de 44,40 hectares (Figura 18) e delimitada por uma poligonal cujas coordenadas dos vértices se encontram na Tabela 10.

Tabela 10 – Coordenadas dos vértices da área de concessão “Galindra”, no sistema de coordenadas ETRS89 PT-TM06.

VÉRTICE	MERIDIANA	PERPENDICULAR
1	65 540	82 230
2	66 180	82 110
3	66 020	81 980
4	66 180	81 870
5	66 060	81 700
6	65 640	81 520
7	65 460	81 650
8	65 180	81 650
9	65 010	81 790
10	65 300	81 800

O plano de sondagens consistiu na execução de sete sondagens (Tabela 11) com recuperação de testemunho, GLD1 a GLD7 (Figura 18).

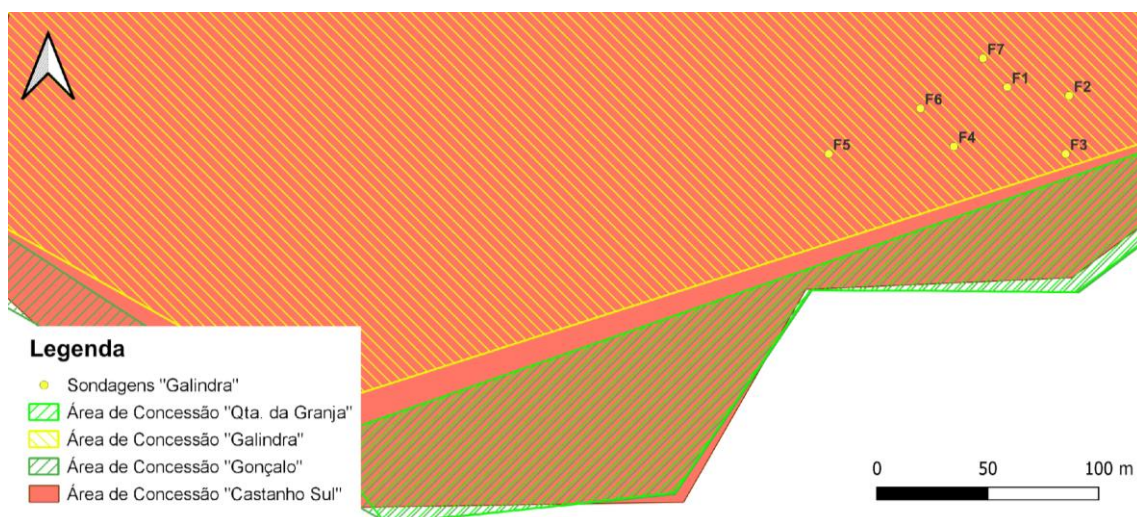


Figura 18 – Localização geográfica, relativamente às concessões mineiras "Qta. da Granja", "Galindra" e "Castanho Sul", das sondagens GLD.

Foi obtida uma metragem total de 103,75 metros, com furos com uma profundidade média de 14,82 metros. A descrição do testemunho de sondagem, focou-se fundamentalmente na individualização das diferentes litologias, em particular as soleiras aplitopegmatíticas.

Tabela 11 – Informações sobre a campanha de sondagens GLD, da concessão "Galindra" – bloco B.

Furo	Cota (m)	Profundidade Máxima (m)
GLD1	516,24	21,60
GLD2	513,80	13,70
GLD3	508,80	16,10
GLD4	512,09	10,00
GLD5	506,53	11,50
GLD6	514,12	14,70
GLD7	517,17	16,15

Tal como nas sondagens do bloco A, os logs das sondagens focaram-se na individualização das diferentes litologias, mas neste caso sem a distinção entre as soleiras litíferas e as soleiras estaníferas.



Figura 19 – Fotografias de três caixas das sondagens GLD. a) GLD1, caixa nº 2; b) GLD5, caixa nº 2; c) GLD6, caixa nº 2.

Do mesmo modo que o anterior, os logs foram simplificados de forma a distinguir apenas as litologias principais: o granito, os metassedimentos e o aplitopegmatito (Tabela 12).

Tabela 12 – Os logs simplificados das sondagens GLD.

	De (m)	A (m)	Litologia Simplificada
GLD1	0,00	8,00	Metassedimentos
	8,00	11,00	Aplitopegmatito
	11,00	13,45	Metassedimentos
	13,45	14,70	Granito
	14,70	15,40	Metassedimentos
	15,40	19,00	Granito
	19,00	21,60	Metassedimentos
GLD2	0,00	1,50	Solo aplitopegmatítico
	1,50	7,50	Metassedimentos
	7,50	10,10	Aplitopegmatito
	10,10	13,70	Metassedimentos
GLD3	0,00	7,20	Metassedimentos

	7,00	9,40	Aplitopegmatito
	9,40	16,10	Metassedimentos
GLD4	0,00	4,00	Metassedimentos
	4,00	6,40	Aplitopegmatito
	6,40	10,00	Metassedimentos
GLD5	0,00	1,60	Metassedimentos
	1,60	2,65	Aplitopegmatito
	2,65	8,70	Metassedimentos
	8,70	10,00	Aplitopegmatito
	10,00	11,50	Metassedimentos
GLD6	0,00	7,80	Metassedimentos
	7,80	8,80	Aplitopegmatito
	8,80	9,60	Metassedimentos
	9,60	11,50	Aplitopegmatito
	11,50	14,70	Metassedimentos
GLD7	0,00	5,60	Metassedimentos
	5,60	7,60	Aplitopegmatito
	7,60	8,60	Granito
	8,60	16,15	Metassedimentos

A estas sondagens foram retiradas para análise química 11 amostras das 7 sondagens realizadas (Tabela 13). Neste caso não foram descartadas as soleiras com uma espessura aparente inferior a 1 metro.

Tabela 13 – Amostragem das sondagens GLD.

Amostra	Sondagem	De (m)	A (m)	Extensão (m)
GLD1-1	GLD1	8,85	9,80	0,95
GLD1-2	GLD1	9,80	10,80	1,00
GLD2-1	GLD2	0,50	1,10	0,60
GLD2-2	GLD2	7,70	8,90	1,20
GLD3-1	GLD3	7,00	7,90	0,90
GLD3-2	GLD3	8,85	9,40	0,55
GLD4-1	GLD4	3,50	4,55	1,05
GLD5-1	GLD5	1,45	2,65	1,20
GLD5-2	GLD5	9,15	9,75	0,60
GLD6-1	GLD6	7,70	8,50	0,80
GLD7-1	GLD7	5,60	7,10	1,50

A estas amostras foram realizadas análises químicas aos elementos maiores através do XRF, no laboratório da Felmica, tendo sido impossível fazer uma análise aos elementos menores, mais precisamente, ao lítio (Tabela 14).

Tabela 14 – Análises químicas dos elementos maiores com XRF das amostras das sondagens GLD.

Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅
GLD1-1	77.89	16.28	0.39	0.06	0.12	0.22	4.00	0.03	0.19	0.04
GLD1-2	77.85	16.51	0.65	0.02	0.11	0.18	4.52	0.05	0.08	0.03
GLD2-1	74.02	19.11	0.09	0.09	0.03	1.46	4.16	0.01	0.17	0.77
GLD2-2	71.26	22.93	0.52	0.07	0.21	0.29	4.53	0.05	0.10	0.06
GLD3-1	76.23	18.13	2.12	0.10	0.38	0.06	2.46	0.31	0.16	0.05
GLD3-2	73.17	22.42	1.10	0.13	0.23	0.08	2.67	0.11	0.05	0.05
GLD4-1	74.76	18.42	1.00	0.05	0.35	0.24	4.94	0.09	0.12	0.03
GLD5-1	70.63	20.23	0.16	0.24	0.06	5.64	1.94	0.02	0.09	1.00
GLD5-2	72.10	19.56	0.21	0.17	0.07	4.17	3.13	0.02	0.06	0.51
GLD6-1	72.60	19.42	0.11	0.11	0.07	2.52	4.32	0.01	0.12	0.72
GLD7-1	66.62	21.46	2.85	0.65	1.23	0.28	5.71	0.39	0.05	0.75

7.2. Importação de Dados

A modelação geológica 3D no presente trabalho foi executada com base em três etapas principais: a importação dos dados das campanhas de sondagem, dos levantamentos topográficos e a incorporação destes dados para na criação do modelo geológico.

Os dados de sondagem constituem a base para a criação de modelos no Leapfrog Geo. Estes dados vão definir, num espaço tridimensional, a forma física destes furos. Para tal, é necessário importar os seguintes ficheiros com a seguinte informação (Tabela 15):

- Ficheiro *Collar Table*, onde se encontram as coordenadas da boca de furo;
- Ficheiro *Surveys Table*, onde se encontra a informação que descreve o desvio, em profundidade, de cada sondagem;
- Pelo menos um ficheiro *Intervals Table*, que pode conter informação à cerca dos intervalos de litologia, análises químicas, datas relacionadas com vários procedimentos ou quaisquer outros valores numéricos ou categóricos que possam ser associados às sondagens.

Tabela 15 – Ficheiros necessários para a importar as sondagens e os respetivos dados que representam.

Ficheiro	Colunas
<i>Collar Table</i>	ID do furo, coordenadas e profundidade máxima.
<i>Survey Table</i>	ID do furo, profundidade e respetiva inclinação e mergulho.
<i>Intervals Table</i>	ID do furo, intervalos de profundidade e a informação correspondente.

Deste modo, as informações obtidas sobre as sondagens, como as coordenadas, profundidade, intervalos litológicos e análises químicas, foram organizadas, em Excel, e introduzidas no respetivo ficheiro acima referido. Estes ficheiros são depois introduzidos no programa através do menu *Drillhole Data – Import Drillholes* (Figura 20).

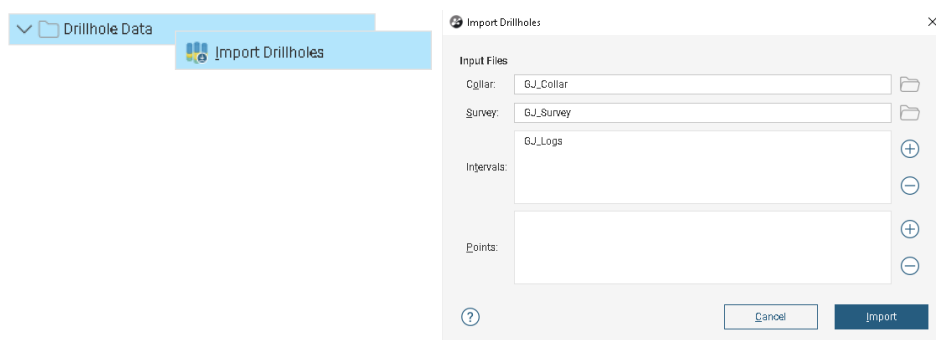


Figura 20 – Representação esquemática dos procedimentos realizados durante a importação dos dados.

O processo foi repetido para os dois modelos e a representação das sondagens encontram-se nas figuras 21 e 22.

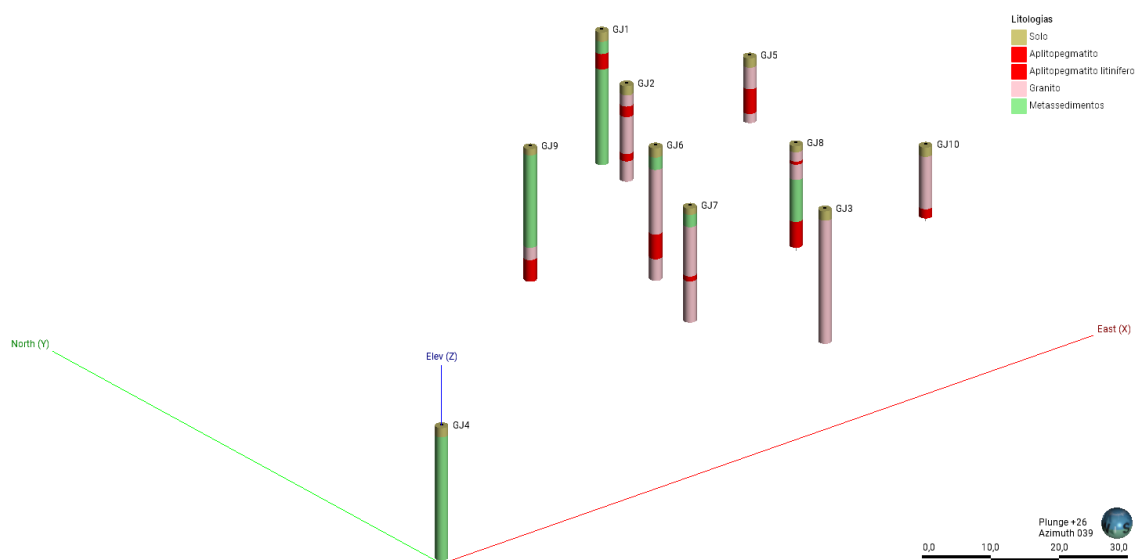


Figura 21 – Representação tridimensional das sondagens GJ do bloco A.

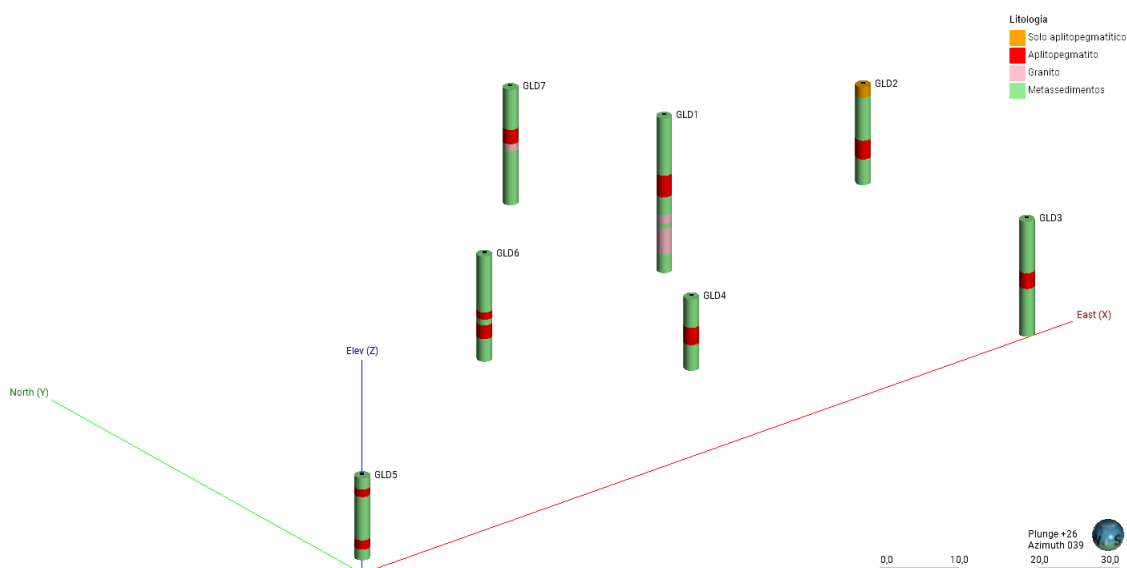


Figura 22 – Representação tridimensional das sondagens GLD do bloco B.

A topografia dos modelos geológicos foi criada com base nos levantamentos topográficos encontrados para a região e as cotas das bocas de furo das sondagens das várias companhias. De forma a serem introduzidos no software, os dados dos levantamentos foram organizados num ficheiro Excel separado por vírgulas (.csv) onde consta o ID e as coordenadas de cada ponto, como demonstrado na Tabela 16.

Tabela 16 – Excerto da tabela de pontos georreferenciados no sistema de coordenadas ETRS89 PT-TM06. X – Meridiana; Y – Perpendicular; Z – Cota.

ID	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	65 564,36	81 395,21	493,43
2	65 605,71	81 323,30	490,52
3	65 540,17	81 335,51	487,87
4	65 669,20	81 308,96	486,36

Este ficheiro foi depois importado para o software através do menu *Points – Import Points*. Para criar a topografia através destes pontos utiliza-se o menu *Topography – New Topography – From Points* (Figura 23).

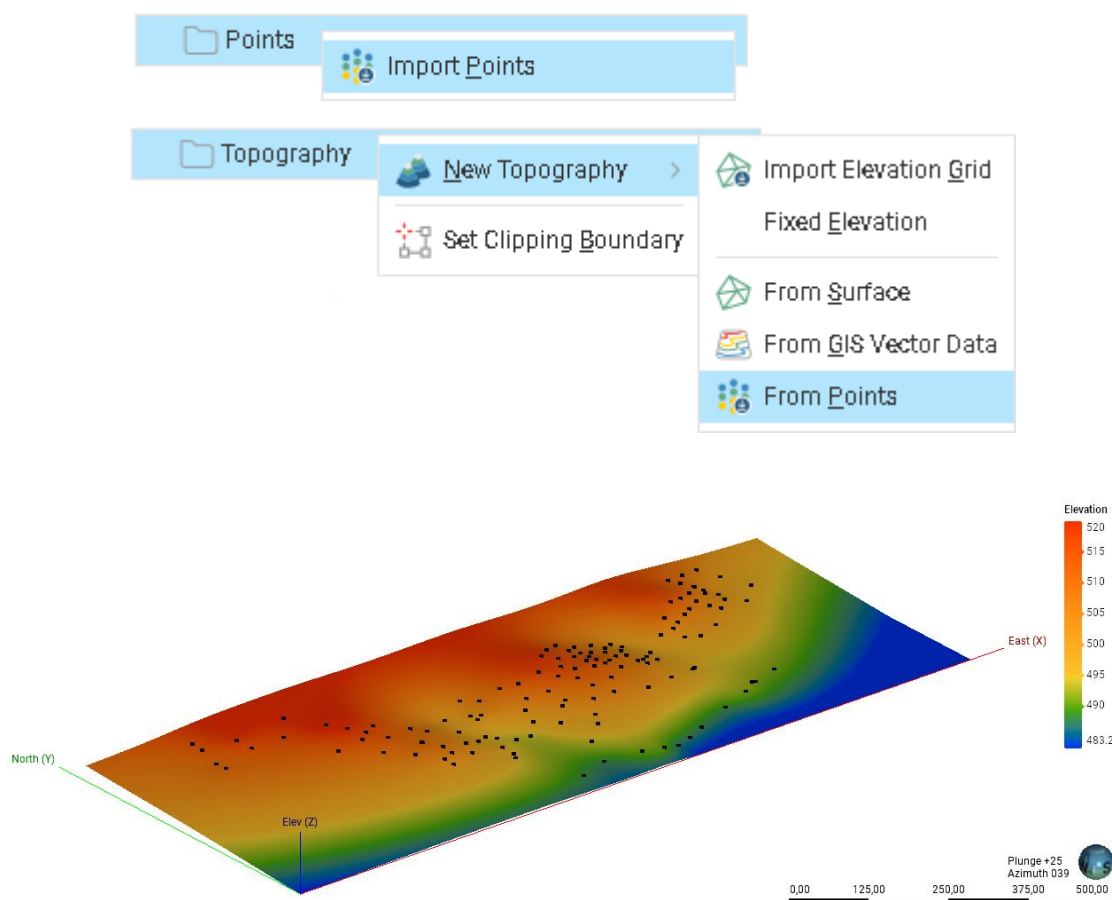


Figura 23 – Esquemática da elaboração da topografia e a representação tridimensional dos levantamentos topográficos e da superfície criada através dos mesmos.

Salienta-se que a topografia criada a partir destes pontos abrange os dois dos blocos estudados, o bloco A e B, na zona sul da concessão em estudo. Neste caso, será utilizada a mesma topografia para ambos os modelos geológicos.

De forma a criar uma representação da topografia o mais próximo da realidade possível também foram utilizadas as cotas das bocas de furo das respetivas campanhas de sondagem, GJ e GLD (Tabela 6, 11). De forma a incorporar esses dados na topografia, o ficheiro *Collar* das respetivas sondagens é adicionado à topografia criada através do menu *Add Height Data – From Points* e adiciona-se o ficheiro *Collar* de cada campanha de sondagem.

7.3. Modelo Geológico

Depois de importada toda a informação necessária para cada bloco, é dado início à criação dos modelos geológicos. Estes modelos têm como base a litologia de cada área, proveniente das sondagens, e uma dimensão do modelo definida pelo software. Esta dimensão sofreu ligeiras alterações de forma a garantir que os limites laterais têm uma distância mínima, à sondagem que se encontra mais perto, equivalente à área de influência máxima utilizada no cálculo de recursos pelo método de perfis. O modelo geológico do bloco A tem uma dimensão de 156 x 125 x 30 metros e o bloco B uma dimensão de 189 x 137 x 28 metros.

De seguida, é necessário criar as superfícies de contacto entre as litologias, para isso é utilizado o menu *Surface Chronology*, onde, conforme as características de cada litologia, são adicionadas ao modelo por ordem da mais recente à mais antiga. O Leapfrog Geo disponibiliza três tipos de superfícies de contacto: sedimentar, erosivo e de intrusão. A primeira camada, o solo, foi criado a partir de uma camada de erosão (*New Erosion*), os aplitopegmatitos como um veio (*New Vein*) e o granito como uma intrusão (*New Intrusion*). A litologia de background vai ser definida como os metassedimentos, a litologia mais antiga (Figura 24).

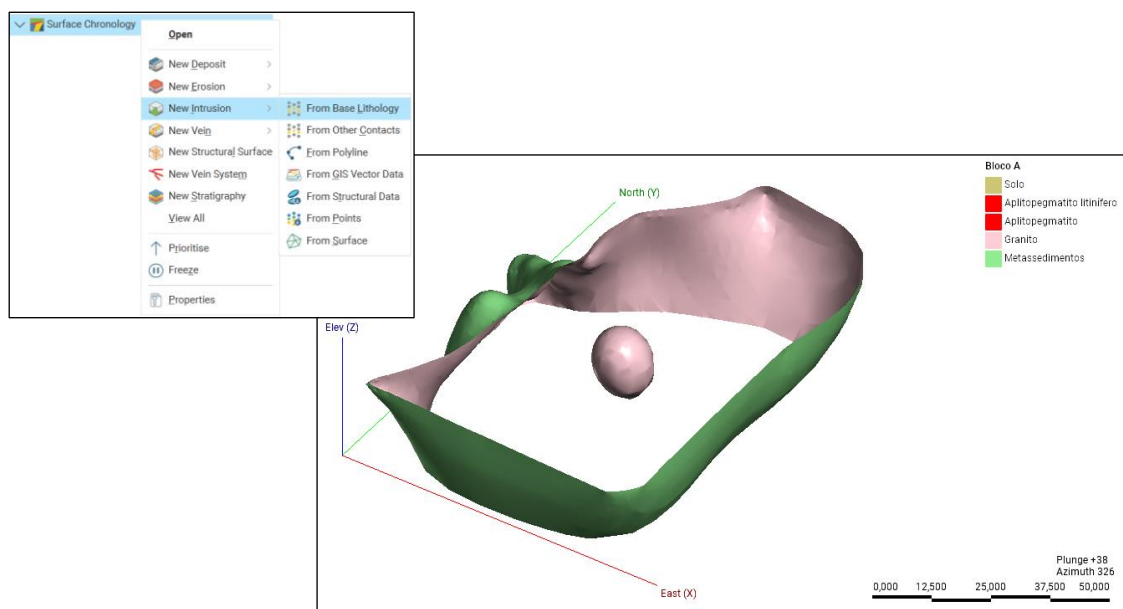


Figura 24 – Representação esquemática da criação do modelo geológico e o exemplo das superfícies de contacto do granito com os metassedimentos geradas.

O passo seguinte consistiu em corrigir a malha criada para obter uma superfície o mais exata possível. Para isso, as superfícies obtidas por cada cenário foram alteradas com o uso de polilinhas e foram alterados os parâmetros de interpolação, resolução da superfície e outras definições. Após a comparação entre as superfícies resultantes, foi escolhido o mais adequado como método para efetuar o modelo final da superfície e a subsequente geração de volumes. De forma a transformar as superfícies de contacto das litologias em volumes é necessário, no menu *Surface Chronology*, ativar as litologias criadas e organizá-las de acordo com a idade relativa, da mais recente para a mais antiga (Figura 25).

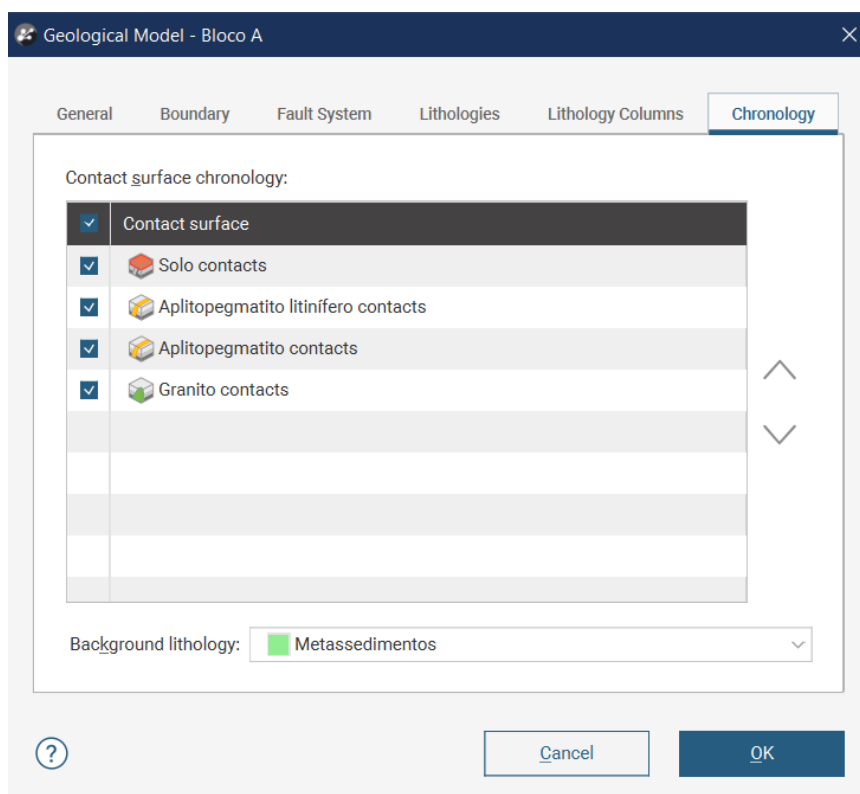


Figura 25 – Processo de ativação das litologias para a geração do modelo geológico tridimensional.

No fim de criados os volumes temos o modelo geológico tridimensional inicial pronto para interpretação e análise, de forma a verificar se o resultado é apropriado para a realidade geológica local. Os resultados obtidos para as duas áreas são apresentados

na Figura 26. Em anexo, encontra-se alguns perfis geológicos retirados dos respetivos blocos.

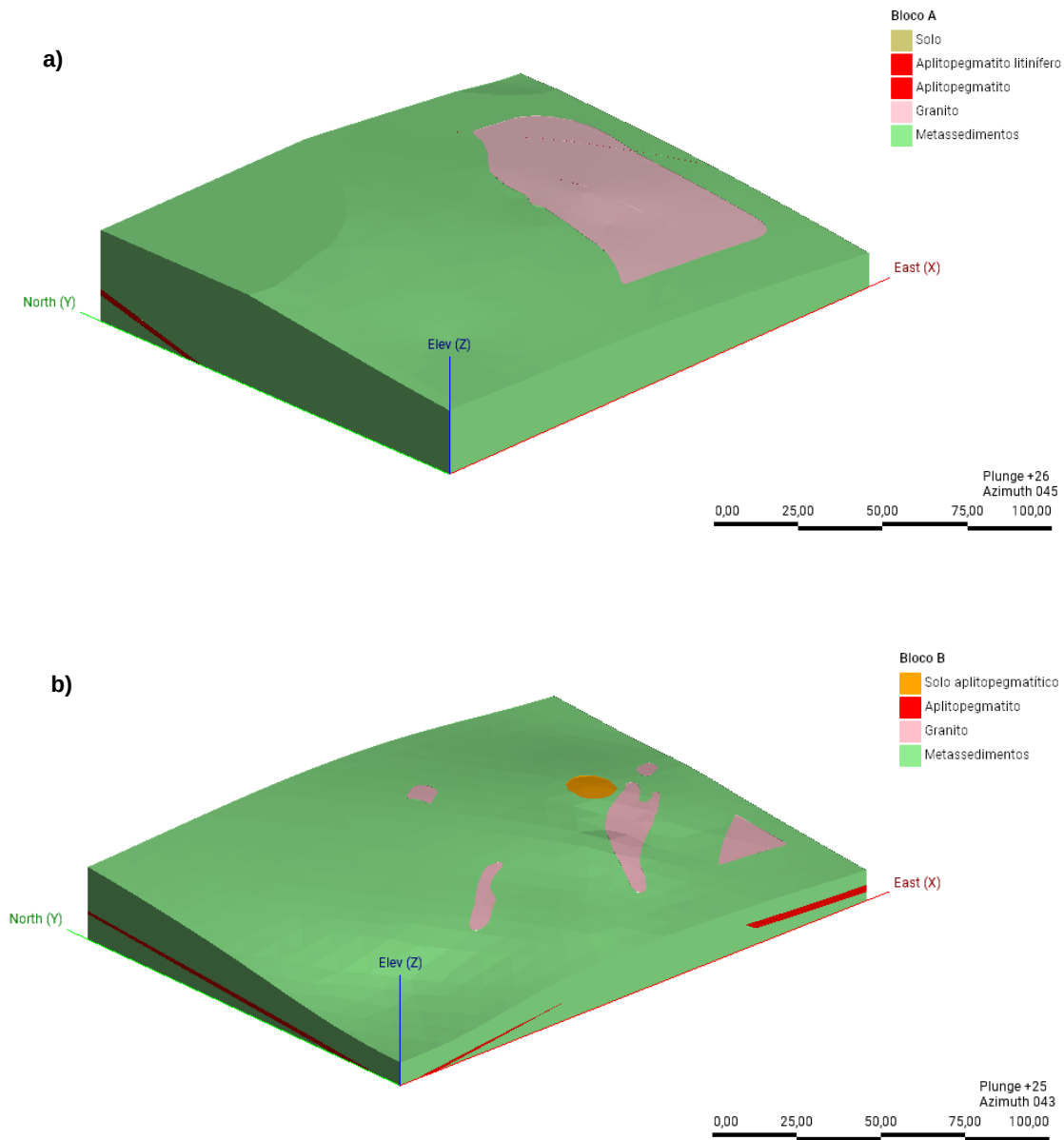
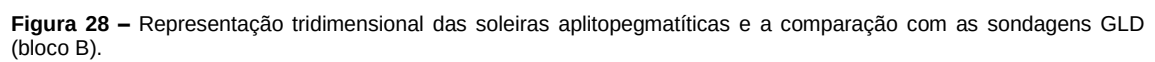
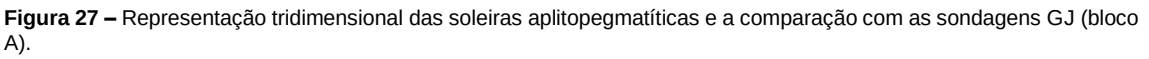


Figura 26 – Modelo geológicos. a) Bloco A, sem a camada solo; b) Bloco B.

Os volumes gerados para os aplitopegmatitos (Figura 27 e 28) foram isolados e comparados com as sondagens, de forma a verificar a compatibilidade entre os dois.



7.4. Modelo de Escavação a Céu Aberto

No caso da área definida pelo bloco A, foi proposto um modelo de escavação a céu aberto, *open pit*, para a exploração dos recursos encontrados na área. Este modelo, desenhado no programa AutoCAD em 2D, foi georreferenciado e transformado num objeto 3D de forma a poder ser integrado no cálculo de recursos no Leapfrog Geo.

Para tal, às linhas de delimitação dos patamares foi atribuída uma cota, e o ficheiro guardado no formato DWG. Esse ficheiro foi de seguida importado para o Leapfrog Geo através da função *Meshes*. Para se poder fazer qualquer tipo de cálculo em área, a delimitação do *open pit* tem de ser primeiro transformada num polígono fechado, apenas aberto na parte superior, superfície essa que depois vai ser definida pela topografia do nosso modelo. Para tal, foi utilizada a função *Geological Models* para criar um modelo onde as nossas formações consistem no interior (*Inside*) e no exterior (*Outside*) da área delimitada pelos patamares. Ao gerar este modelo, podemos extrair o volume correspondente ao interior que vai corresponder à área proposta para escavação, onde podemos calcular as toneladas de minério esperadas (Figura 29).

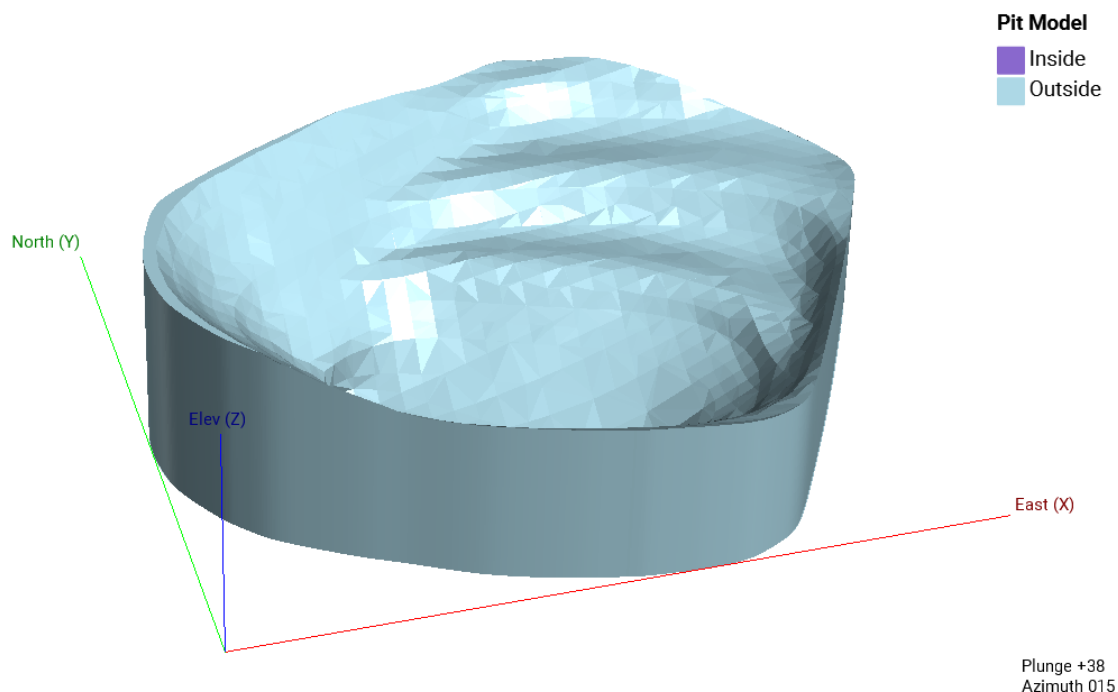


Figura 29 – Representação tridimensional do modelo *open pit*.

7.5. Modelo de Blocos

De forma a calcular os recursos em cada bloco de uma forma mais precisa, reduzindo o erro, foram utilizados modelos de bloco criados a partir dos modelos geológicos. Um modelo de blocos é uma representação simplificada do depósito em estudo, constituído por blocos ou células que representam pequenos volumes de rocha. Cada bloco contém estimativas de dados, como a densidade, volume, teor e outros valores associados. Os dois modelos de blocos foram criados com os mesmos limites do respetivo modelo geológico, e com um tamanho de bloco de 1 metro. No caso do bloco A, é composto por um polígono com 156 x 125 x 30 metros, o que corresponde a um total de 585 000 blocos. O bloco B, é composto por um polígono com 189 x 137 x 28 metros, o que corresponde a um total de 725 004 blocos (Figura 30).

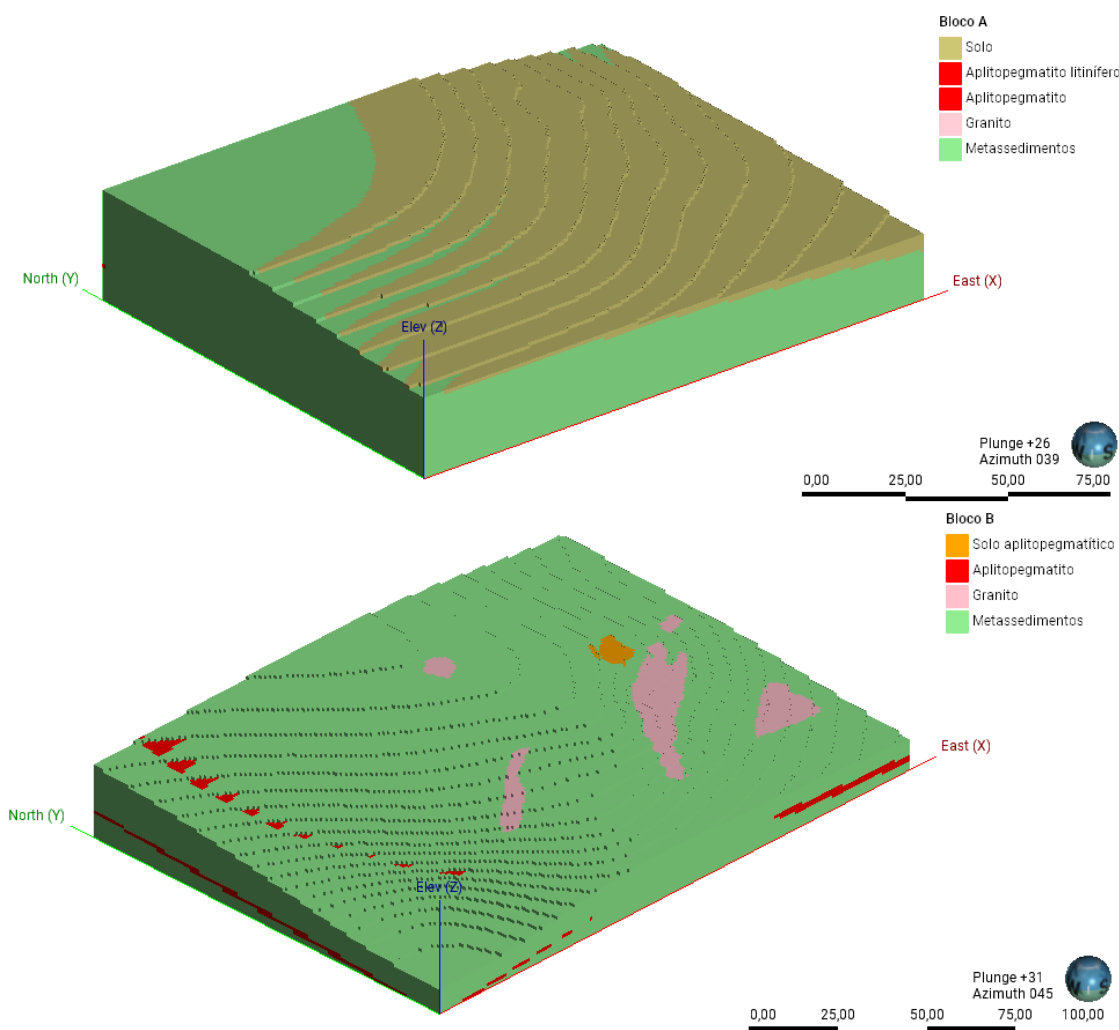


Figura 30 – Modelos de blocos do bloco A e bloco B com a representação da litologia.

A estes modelos podem-se avaliar os modelos geológicos criados, o modelo de *open pit* do bloco A e as análises químicas, de forma a criar estatísticas que determinem os recursos presentes, o teor de elementos químicos e os recursos mineráveis no plano de escavação (Figura 31 e 32).

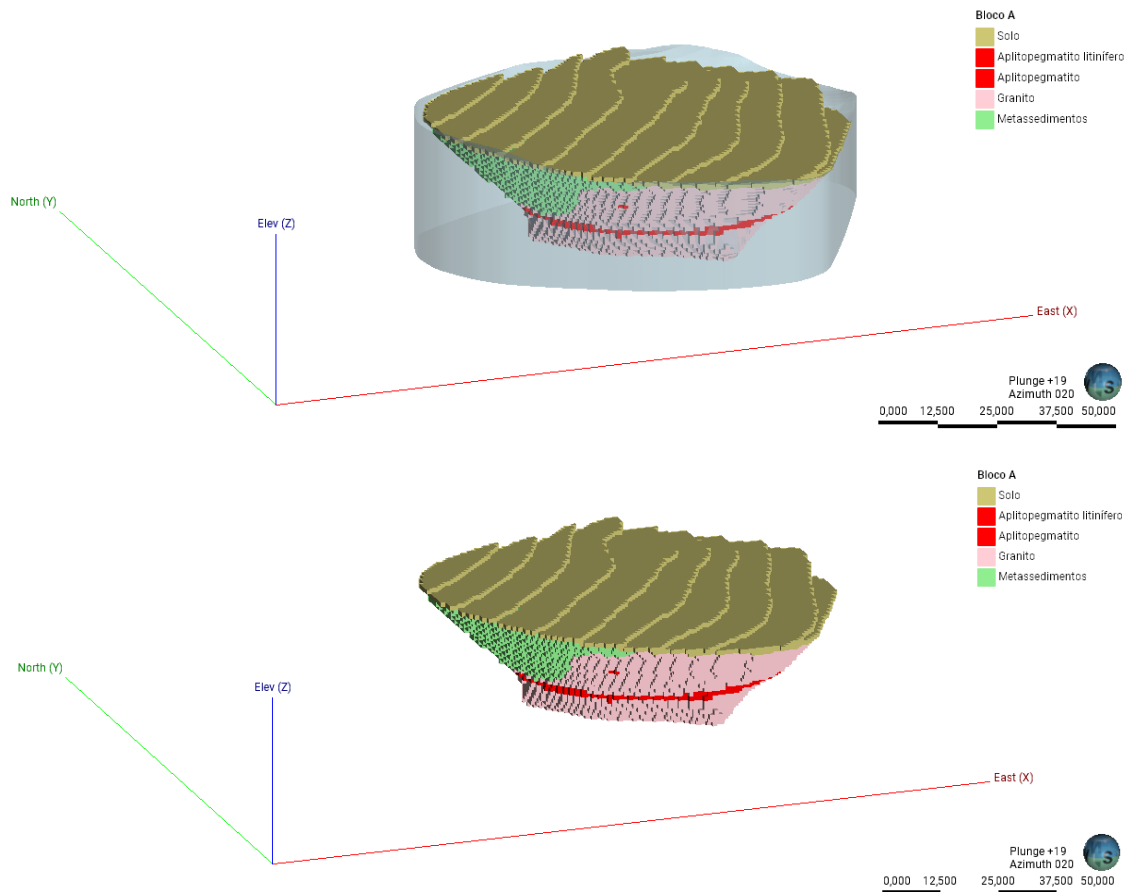


Figura 31 – Representação da porção do modelo geológico, e as respetivas litologias, presentes no interior do modelo *open pit* do bloco A.

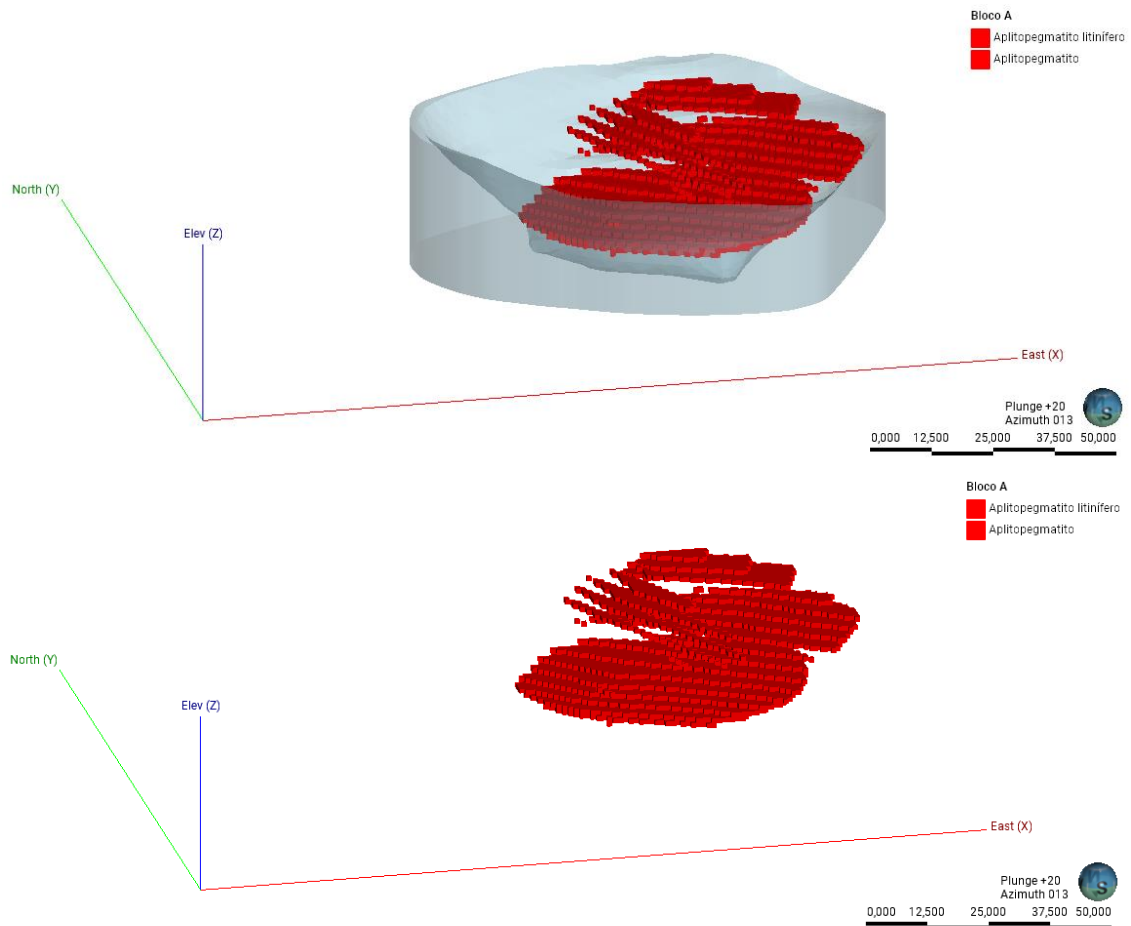


Figura 32 – Representação das soleiras aplitepegmatíticas presentes no interior do modelo *open pit* do bloco A.

7.6. Teores de Lítio

Com os valores das análises químicas realizadas no bloco A, mais precisamente, as percentagens de óxido de lítio ($\text{Li}_2\text{O}\%$) obtidas através do ICP-MS, foi criado um modelo numérico de forma a calcular os teores Li_2O . Este modelo foi criado utilizando o método de interpolação FastRBF.

Este cálculo foi limitado ao aplitopegmatito litínífero, pois apenas foram realizadas análises químicas a amostras retiradas dessa litologia, à exceção de uma amostragem (Figura 33).

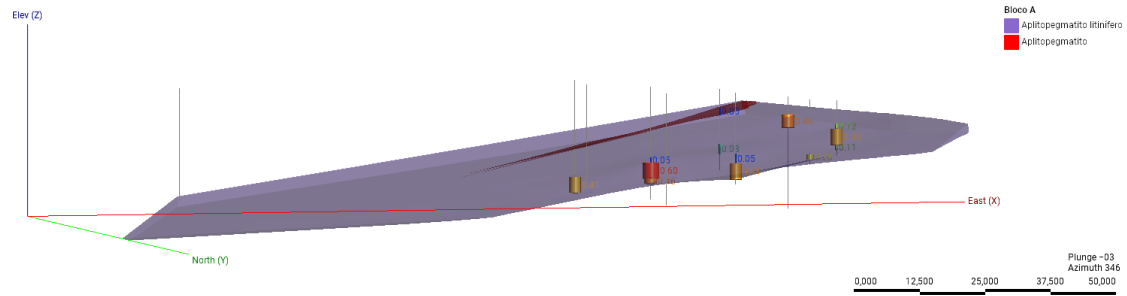


Figura 33 – Filões aplitopegmatíticos litíníferos e estaníferos do bloco A com as respetivas análises químicas ao Li_2O realizadas.

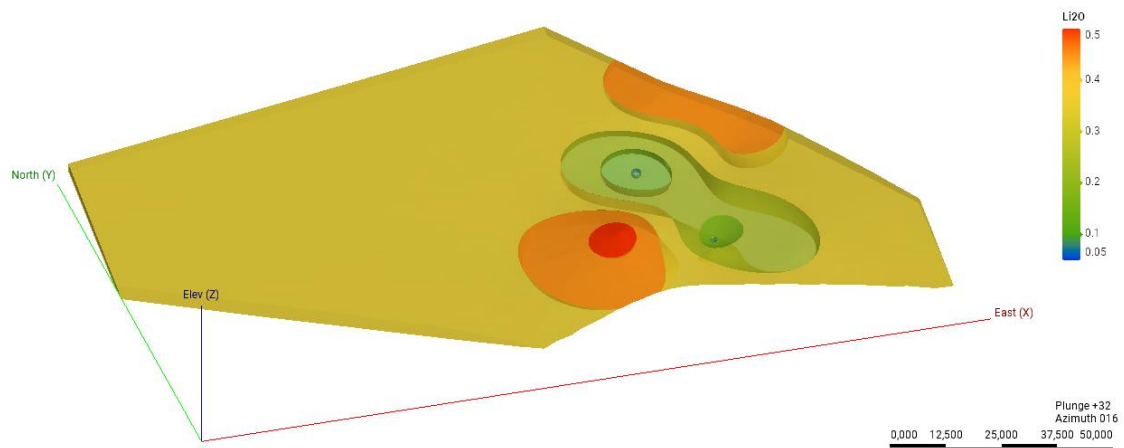


Figura 34 – Modelo número representativos dos teores de Li_2O no filão aplitopegmatítico litínífero.

8. Resultados e Discussão

O minério da concessão mineira “Castanho Sul” é o quartzo e o feldspato que ocorrem nas soleiras aplitopegmatíticas. Os corpos aplitopegmatíticos que constituem o objetivo da exploração foram identificados e avaliados em trabalhos de pesquisa realizados na área de concessão, os quais se basearam num pormenorizado reconhecimento de superfície e em sondagens. Como resultado desses estudos, foram calculadas as toneladas de minério presentes nos dois blocos, bloco A e B, através do método dos perfis, onde o minério é calculado através da área obtida nos perfis multiplicada pela área de influência definida e, por fim, multiplicada pelo peso específico definido. Ao valor de minério calculado inicialmente foram deduzidos 5% e adicionados ao estéril devido à presença de zonas de fratura ferruginizadas, encraves metassedimentares e graníticos, e outras características de difícil contabilização que contaminam o minério. No bloco A, foram calculadas 28 815,78 toneladas de minério, com 85 679,96 toneladas de estéril, culminando num desmonte total de 114 495,74 toneladas de material. No bloco B, foram calculadas 74 198,80 toneladas de minério, com 214 488,40 toneladas de estéril, culminando num desmonte total de 288 687,20 toneladas. Foi considerado um peso específico para as soleiras aplitopegmatíticas de 2,3 g/cm³ no bloco A, com uma área de influência de 20 metros, e de 2,6 g/cm³ no bloco B, com uma área de influência de 30 metros.

No cálculo de recursos com o uso do programa Leapfrog Geo, foram calculadas as toneladas de minério a partir de dois métodos diferentes: com o cálculo de volumes realizado no modelo geológico e no modelo de blocos. Adicionalmente, foram aplicados a estes modelos, de modo a restringir a área considerada e aumentar a confiança dos cálculos, dois filtros: uma função de distância, *buffer* de distância, aplicado às sondagens com um valor de 20 metros, para o bloco A, e 30 metros para o bloco B; e, no caso específico do bloco A, o modelo do *open pit*.

O modelo geológico do bloco A possui, no total, um volume de 642 917,00 m³. É constituído por cinco formações, das quais se destacam os metassedimentos e o granito, que correspondem, respetivamente, a 76,16% e 15,08% do volume total. As formações alvo do estudo, os aplitopegmatitos, apenas representam 4,11% do volume total. O modelo geológico do bloco B, no total, um volume de 512 001,04 m³. É constituído por quatro formações, das quais se destacam os metassedimentos e o

aplitopegmatito, que correspondem, respetivamente, a 79,77% e 10,42% do volume total (Tabela 17).

Tabela 17 – Volumes das litologias nos modelos geológicos do bloco A e B.

	Litologia	Volumes	
		m ³	%
A	Aplitopegmatito Litífero	26,402.00	4.11
	Aplitopegmatito Estanífero	1,110.00	0.17
	Solo	28,844.00	4.49
	Metassedimentos	489,631.00	76.16
	Granito	96,930.00	15.08
		<u>642,917.00</u>	<u>100</u>
B	Aplitopegmatito	48 082,00	9.39
	Solo	133,04	0.03
	Metassedimentos	449 121,00	87.72
	Granito	14 671,00	2.87
		<u>512 007,00</u>	<u>100</u>

Multiplicando os volumes do aplitopegmatito pelo respetivo peso específico utilizado nos cálculos anteriormente referidos, obtemos as toneladas de minério presentes em cada bloco (Tabela 18).

Tabela 18 – Toneladas de minério, para cada bloco, calculadas através dos volumes dos modelos geológicos.

	Volume Total (m ³)	Toneladas (t)
Bloco A	27 512,00	63 277,60
Bloco B	48 082,00	125 013,20

No caso dos modelos de blocos, os volumes calculados através deste método são praticamente idênticos aos obtidos através do método anterior. Como as suas diferenças são negligíveis, e para simplificar, o cálculo dos recursos com os filtros acima referidos apenas vai ser realizado com o modelo de blocos e, tendo em conta o interesse

deste estudo, vão ser apenas apresentados os valores para o minério (os aplitopegmatitos) e o estéril (restantes formações).

O *buffer* de distância, relativo às sondagens, com um valor definido de 20 metros, para o bloco A, e 30 metros, para o bloco B, correspondentes aos valores da área de influência utilizados no cálculo de perfis, foi aplicado ao modelo de blocos de ambas as áreas. Com este *buffer*, foi calculado um volume total de 12 164,00 m³ de minério, o que corresponde a 27 977,20 toneladas, para o bloco A e, para o bloco B, um total de 29 040,00 m³, o que corresponde a 75 504,00 toneladas (Tabela 19).

Tabela 19 – Toneladas de minério e estéril presentes nos modelos geológicos com o *buffer* de distância.

		Volume (m ³)	Toneladas (t)
A	Minério	12 164,00	27 977,20
	Estéril	179 826,00	406 179,10
B	Minério	29,040.00	75,504.00
	Estéril	242,485.00	630,461.00

Aplicado, ao bloco A, o filtro correspondente à área do modelo *open pit*, obtemos nessa área 6 665,00 m³ de minério, o que corresponde a cerca de 15 329,50 toneladas (Tabela 20).

Tabela 20 – Toneladas de minério e estéril presentes nos modelos geológicos com o filtro da área do *pit model*.

		Volume (m ³)	Toneladas (t)
A	Minério	6 665,00	15 329,50
	Estéril	44 265,00	96 183,10

Relativamente aos teores de Li₂O, foi possível determinar um valor médio de 0,36% no filão aplitopegmatítico litinífero, com um volume de 26 402,00 m³ e 60 724,60 toneladas.

9. Conclusão

A análise e avaliação dos recursos minerais nas antigas zonas, “Qta. da Granja” e “Galindra”, ao longo deste trabalho permitiu determinar os valores dos recursos minerais presentes atualmente na zona sul da concessão mineira “Castanho Sul”. Foi possível determinar que, na parte sul desta concessão, existem cerca de 75 594,00 m³ de aplitepegmatito, ou seja, cerca de 188 290,80 toneladas de minério para extração.

Devido aos valores exagerados de minério calculados, fruto de uma extensão exagerada da litologia para áreas com pouca ou nenhuma informação geológica, foram usados outros parâmetros para determinar os recursos minerais, parâmetros estes que serviram para aumentar a confiança destes resultados. Deste modo, o primeiro filtro aplicado, o *buffer* de distância, permitiu calcular para estas áreas um total de 103 481,20 toneladas. O segundo filtro aplicado, apenas ao bloco A, calculou um total de 15 329,50 toneladas.

Relativamente aos teores de Li₂O, o valor de 0,38%Li₂O obtido é muito inferior ao esperado e encontrado na literatura. Esta diminuição pode ser o resultado do método de recuperação de material durante as sondagens destrutivas realizadas no bloco A, a recuperação por poeiras, o que aumenta substancialmente o risco de contaminação da amostra recolhida.

Comparando os valores obtidos entre os dois métodos, o cálculo de recursos obteve valores muito próximos dos calculados anteriormente através do método dos perfis.

Apesar dos contratempos encontrados, a rapidez e a facilidade com que estes modelos foram criados, aliados à interface de utilizador amigável do software escolhido para este projeto, facilitou bastante a interpretação geológica do local em estudo. A aplicação da modelação 3D para a análise e cálculo de recursos a partir das funcionalidades do programa Leapfrog Geo mostrou ser eficaz e os resultados mostram ser positivos e vão de acordo com as interpretações e os cálculos efetuados pela empresa usando outros métodos.

A metodologia pode assim ser aplicada às restantes concessões encontradas noutras zonas do país, permitindo conhecer, de uma forma mais prática e interativa, cada situação e realizar um cálculo inicial dos possíveis recursos das áreas em questão, por meio do uso dos dados de sondagem e a cartografia detalhada da área, estudando e identificando o minério e as sua disposição e localização, diminuindo a margem de erro

destas estimativas. A facilidade de atualização destes modelos permite que ao longo do processo de prospeção e pesquisa, e mais tarde, exploração, estes modelos sejam rapidamente atualizados com novos dados adquiridos, através de novas sondagens ou pela análise direta das frentes de desmonte, otimizando assim estes processos, diminuindo substancialmente os custos.

Como recomendação, após a criação, interpretação e aprimoração do primeiro modelo geológico, sugere-se a realização, numa campanha futura, de sondagens de controlo, de forma a determinar a veracidade dos modelos.

Referências Bibliográficas

- Åberg, S. C., Åberg, A. K., & Korkka-Niemi, K. (2021). Three-dimensional hydrostratigraphy and groundwater flow models in complex Quaternary deposits and weathered/fractured bedrock: evaluating increasing model complexity. *Hydrogeology Journal*, 29, 1043–1074. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10040-020-02299-4>
- Almeida, C. (2007). *Valorisation of Pegmatite Deposits in Environmental Conditioned Areas*. www.dgge.pt,
- Antão, A. M., Carolino, A., & Vieira, R. (2018). The Strategic Importance of the Lithiferous Deposits of Gonçalo (Guarda, Portugal) in Sustainable Development of Low Density Regions — The Lithium Project. *Modern Environmental Science and Engineering*, 4(7), 590–599. [https://doi.org/10.15341/mese\(2333-2581\)/07.04.2018/002](https://doi.org/10.15341/mese(2333-2581)/07.04.2018/002)
- Associação Geopark Estrela. (2022). *Geopark Estrela*. <https://www.geoparkestrela.pt/>
- Birch, C. (2014). New systems for geological modelling - black box or best practice? *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 144(12), 993–1000.
- Buddington, A. F. (1959). Granite Emplacement with Special Reference to North America. *GSA Bulletin*, 70(6), 671–747. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1959\)70\[671:GEWSRT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1959)70[671:GEWSRT]2.0.CO;2)
- Carvalho, J. M. F., & Farinha, J. A. L. B. (2004, Março). Lithium Potentialities in Northern Portugal. *17th Industrial Minerals International Congress*. <https://www.researchgate.net/publication/257307330>
- Černý, P. (1991). Rare-element Granitic Pegmatites. Part I: Anatomy and Internal Evolution of Pegmatite Deposits. *Geoscience Canada*, 18(2), 49–67.
- Černý, P., & Ercit, T. S. (2005). The Classification of granitic Pegmatites Revisited. Em *The Canadian Mineralogist* (Vol. 43).
- Cowan, E. J., Beatson, R. K., Ross, H. J., Fright, W. R., McLennan, T. J., Evans, T. R., Carr, J. C., Lane, R. G., Bright, D. V., Gillman, A. J., Oshust, P. A., & Titley, M.

- (2003). Practical Implicit Geological Modelling. *5th International Mining Geology Conference*, 89–99.
- Decreto-Lei n.º 80-2015 de 14 de maio. (2015). *Diário da República*, 1.^a série — N.º 93, 2469(2512).
- Decreto-Lei n.º 140/99 de 24 de abril. (1999). *Diário da República*, 1.^a série - A — N.º 96, 2183–2212.
- Decreto-Lei n.º 142/2008 de 24 de julho. (2008). *Diário da República*, 1.^a série — N.º 142.
- Decreto-Lei n.º 151-B/2013 de 31 de outubro. (2013). *Diário da República*, 1.^a série — N.º 211, 6328(6)-6328(31).
- Decreto-Lei n.º 152-B/2017, de 11 de dezembro. (2017). *Diário da República*, 1.^a série — N.º 236, 6584(12)-6584(52).
- Decreto-Lei n.º 242/2015 de 15 de outubro. (2015). *Diário da República*, 1.^a série — N.º 202.
- Decreto-Lei n.º 309/2009 de 23 de outubro. (2009). *Diário da República*, 1.^a série — N.º 206, 7975–7987.
- Dias, R., & Ribeiro, A. (1995). The Ibero-Armorican Arc: A collision effect against an irregular continent? *Tectonophysics*, 246(1), 113–128. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0040-1951\(94\)00253-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0040-1951(94)00253-6)
- Dumakor-Dupey, N. K., & Arya, S. (2021). Machine learning—a review of applications in mineral resource estimation. *Energies*, 14(14). <https://doi.org/10.3390/en14144079>
- Fallara, F., Legault, M., & Rabeau, O. (2006). 3-D integrated geological modeling in the Abitibi subprovince (Québec, Canada): Techniques and applications. *Exploration and Mining Geology*, 15(1–2), 27–42. <https://doi.org/10.2113/gsemg.15.1-2.27>
- Ferriday, T., & Montenari, M. (2016). Chapter Three - Chemostratigraphy and Chemofacies of Source Rock Analogues: A High-Resolution Analysis of Black Shale Successions from the Lower Silurian Formigoso Formation (Cantabrian Mountains, NW Spain). Em M. Montenari (Ed.), *Stratigraphy & Timescales* (Vol. 1, pp. 123–255). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/bs.sats.2016.10.004>

- Ginsburg, A. I., & Rodionov, G. G. (1960). On the depth of formation of granitic pegmatites. *Geol. Rudn. Mestorozhd*, 45–54.
- Ginsburg, A. I., Timofeyev, L. N., & Feldman, L. G. (1979). *Principles of geology of the granitic pegmatites*. Nedra Publishers.
- Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. (2023). *Áreas Classificadas Dashboard*. https://geocatalogo.icnf.pt/geovisualizador/areas_classificadas/
- Julivert, F. J., Fontboté, J. M., Ribeiro, A., & Conde, L. (1974). Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares, Escala 1:1.000.000. Em *Instituto Geológico y Minero de España*.
- Lei n.º 107/2001 de 8 de setembro. (2001). *Diário da República*, 1.ª série - A — N.º 209, 5808–5829.
- London, D. (2008). *Pegmatites*.
- Lotze, F. (1945). Zur Gliederung der Varisziden in der Iberischen Meseta. *Geotektonische Forschungen*, 6, 78–92.
- Marjoribanks, R. (2010). *Geological Methods in Mineral Exploration and Mining* (2.ª ed.). Springer Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-74375-0>
- Müller, A., Simmons, W., Beurlen, H., Thomas, R., Ihlen, P. M., Wise, M., Roda-Robles, E., Neiva, A. M. R., & Zagorsky, V. (2022). A Proposed New Mineralogical Classification System for Granitic Pegmatites - Part I: History and the Need for a New Classification. *Canadian Mineralogist*, 60(2), 203–227. <https://doi.org/10.3749/canmin.1700088>
- Neiva, A. M. R., & Ramos, J. M. F. (2009). Petrogenetic Links of Granitic Aplite-pegmatite Sills from Gonçalo with Granites from Guarda-Belmonte Area, Central Portugal. *Estudos Geológicos*, 19(2), 251–255.
- Neiva, A. M. R., Ramos, J. M. F., & Silva, P. B. (2011). Geoquímica de soleiras e filões aplito-pegmatíticos graníticos do Centro de Portugal: cristalização fraccionada, fluxos e fluidos. *Livro de Actas do VIII Congresso Ibérico de Geoquímica*, 1, 259–264.
- Noronha, F. (2007). The Hercynian Orogeny in the NW of Iberian Peninsula. Em A. Lima & E. Roda-Robles (Eds.), *Granitic Pegmatites: the state of the art – International Symposium. Field Trip Book* (pp. 9–13).

- Oliver, M. A., & Webster, R. (1990). Kriging: A method of interpolation for geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Systems*, 4(3), 313–332. <https://doi.org/10.1080/026937990008941549>
- PERC. (2021). *PERC Reporting Standard 2021*. www.percstandard.org
- Ramos, J. M. F. (1984). *Geologia, geoquímica e interesse mineiro da área de Gonçalves Seixo Amarelo - Benespera (Guarda)*. Universidade de Aveiro.
- Ramos, J. M. F. (1998). *Mineralizações de metais raros de Seixo Amarelo-Gonçalo (Guarda): contribuição para o seu conhecimento*. Universidade de Lisboa.
- Ramos, J. M. F. (2000). Mineralizações de Metais Raros de Seixo Amarelo-Gonçalo (Breve Nota). *Estudos, Notas e Trabalhos*, 42, 67–160.
- Ramos, J. M. F., Ribeiro, A., & Barriga, F. J. A. S. (1994). Mineralizações de Metais Raros de Seixo Amarelo - Gonçalo (Guarda) - Breve Nota Introdutória. *Boletim de Minas*, 31(2), 101–115.
- Regulamento do Plano Diretor Municipal da Guarda. (1994). *Diário da República*, 1.^a série - B — N.º 166, 3945–3962.
- Seequent. (2023). *Seequent Geosciences Solutions*. <https://www.seequent.com/products-solutions/>
- Seequent Ltd. (2018). *User Manual for Leapfrog Geo*.
- Silvaes, M. (2022, Junho 9). *Governo dá mais tempo às câmaras para reverem PDM*. <https://eco.sapo.pt/2022/06/09/governo-da-mais-tempo-as-camaras-para-reverem-pdm/>
- Simmons, Wm. B., & Webber, K. L. (2008). Pegmatite genesis: state of the art. *European Journal of Mineralogy*, 20(4), 421–438. <https://doi.org/10.1127/0935-1221/2008/0020-1833>
- Ultralithium. (2018, Setembro 7). *Lithium Uses: Glass and Ceramics*. <https://ultralithium.com/lithium-uses-glass-ceramics/>
- Wise, M. A., Müller, A., & Simmons, W. B. (2022). A Proposed New Mineralogical Classification System for Granitic Pegmatites. *Canadian Mineralogist*, 60(2), 229–248. <https://doi.org/10.3749/canmin.1800006>

Anexos

Anexo I – Perfis Geológicos do Bloco A

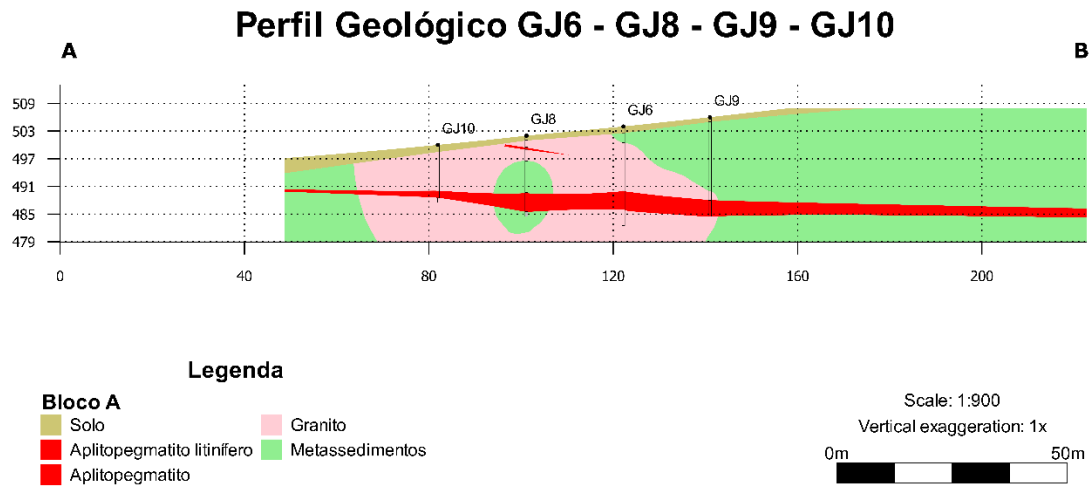


Figura A – Perfil geológico, do bloco A, com as sondagens GJ6, GJ8, GJ9 e GJ10.

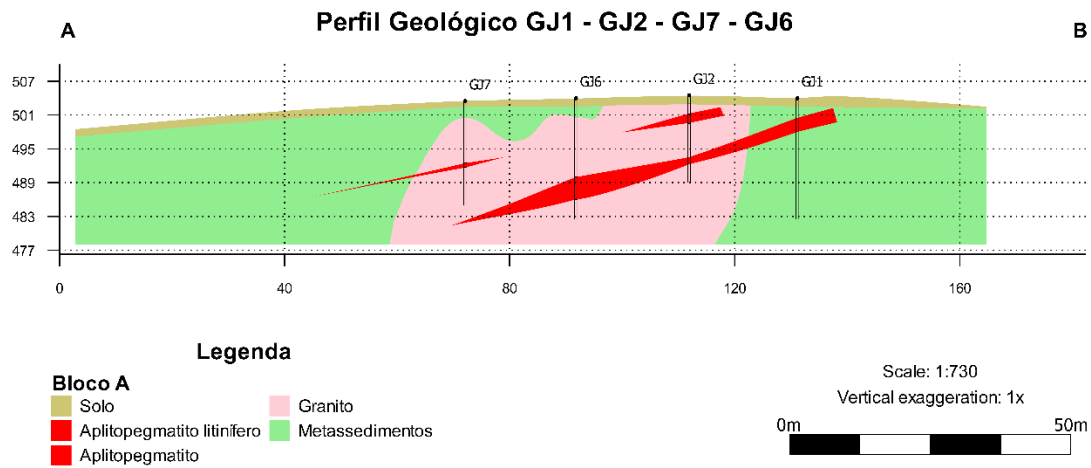


Figura B – Perfil geológico, do bloco A, com as sondagens GJ1, GJ2, GJ7 e GJ16.

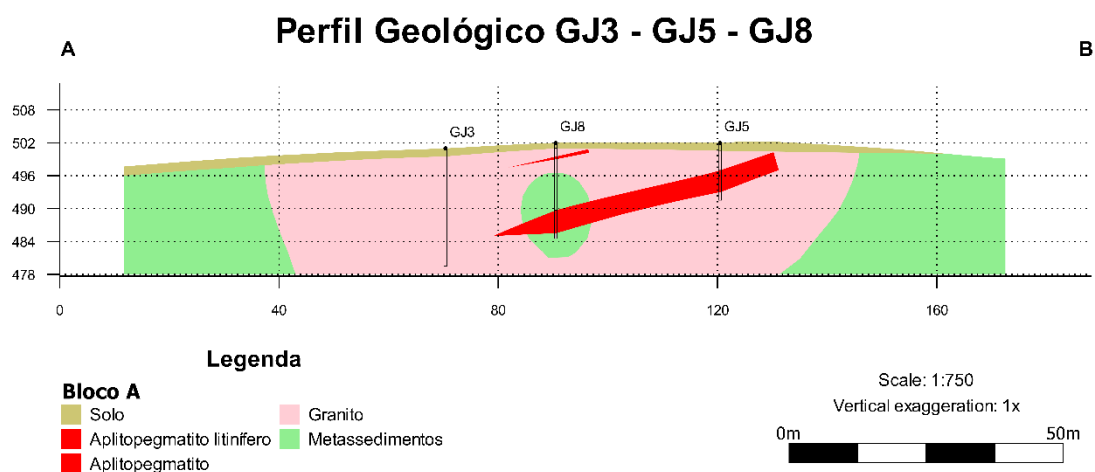


Figura C – Perfil geológico, do bloco A, com as sondagens GJ3, GJ5 e GJ9.

Anexo II – Perfis Geológicos do Bloco B

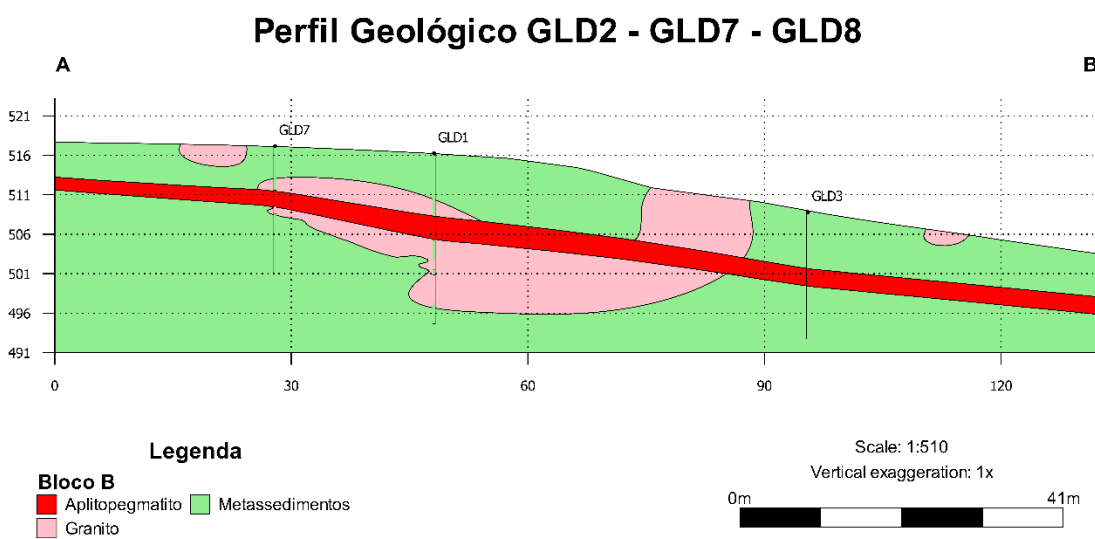


Figura D – Perfil geológico, do bloco B, com as sondagens GLD2, GLD7 e GLD8.

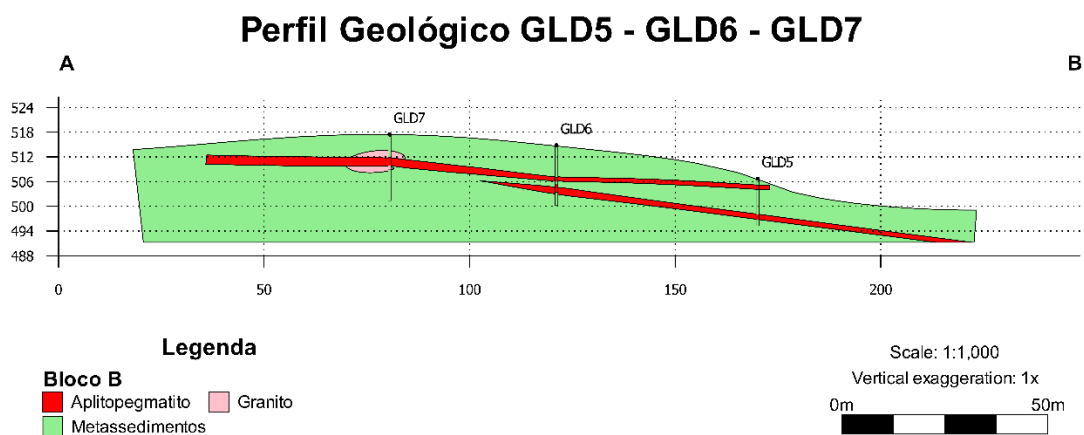


Figura E – Perfil geológico, do bloco B, com as sondagens GLD5, GLD6 e GLD7.