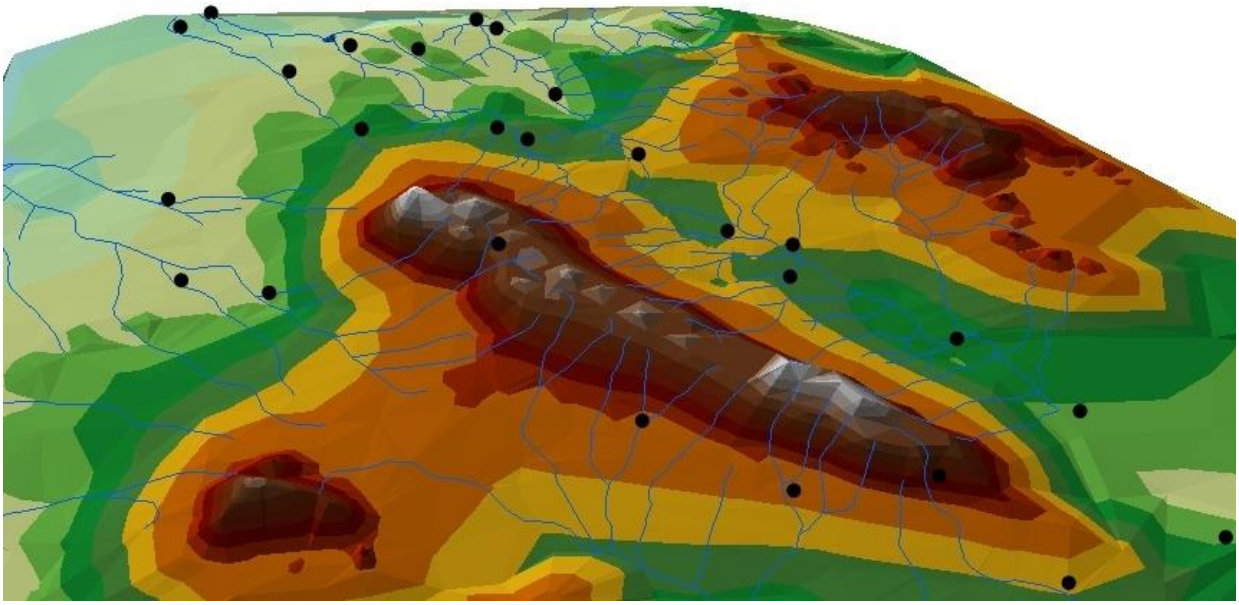


Prospeção Mineira na região de Lagoa Negra com recurso aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

Cláudio Filipe Reis Paulo
Mestrado em Geologia
Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território
2013

Orientador
Alexandre Martins Campos de Lima, professor auxiliar
FCUP

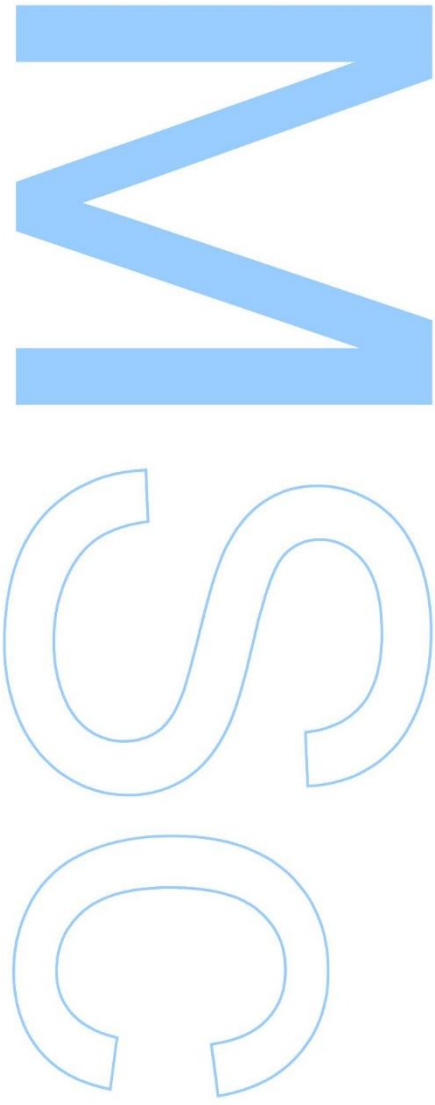
U.PORTO

FACULDADE DE CIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DO PORTO

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

O Presidente do Júri,

Porto, _____/_____/_____



AGRADECIMENTOS

Agradeço ao orientador, Prof. Doutor Alexandre Lima, pela confiança depositada ao integrar este projeto.

Ao LNEG (Laboratório Nacional de Energia e Geologia, laboratório de S. Mamede Infesta) e ao diretor, Engenheiro Machado Leite, pelos dados fornecidos, nomeadamente dados sobre sedimentos de corrente e de bateia.

Ao geólogo consultor da empresa “Klondike Gold Corporation”, Jim Mortensen.

Aos docentes e funcionários do departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território.

Aos meus amigos, eles sabem quem são.

À Ana Gonçalves pelo apoio incondicional.

E por fim à minha família, a quem tudo devo, pela apoio concedido.

RESUMO

As mineralizações filonianas hidrotermais são predominantes no Norte de Portugal, a sua prospeção e exploração remonta, pelo menos, ao tempo de ocupação romana no Norte de Portugal o que suscita o interesse das empresas mineiras na aquisição de áreas com licença para pesquisa e exploração em território português.

A área de estudo enquadra-se numa área de prospeção adquirida pela empresa mineira "Klondike Gold Corporation" numa região do NW de Portugal inserida na folha 9-A (Póvoa de Varzim). Trata-se de um região dada pelo nome de Lagoa Negra, onde é conhecida a mineralização de Sb-Au, local, onde foram realizadas incursões ao campo no âmbito de confirmar a mineralização de Sb-Au bem como a procura de indícios de mineralização portadora de Au pela região.

Toda a informação sobre a cartografia geológica existente, campanha de sedimentos de corrente e campanha de bateia foi introduzida num Sistema de Informação Geográfica (SIG), onde com uma componente "Data e Knowledge Driven" foi criado um mapa preditivo que simboliza os futuros locais onde realizar os trabalhos de prospeção de pormenor.

Palavras-chave: Lagoa Negra, Mineralização Sb-Au, Prospeção, SIG.

ABSTRACT

The hydrothermal mineralization veins are prevalent in northern Portugal, their exploration and exploitation dates back at least to the time of the Roman occupation at northern Portugal, which raises the interest of mining companies in the acquisition of land under license for research and exploration in Portuguese territory.

The study area falls within an exploration area acquired by "Klondike Gold Corporation", mining company, in the NW region of Portugal placed on the sheet 9-A (Póvoa de Varzim). It´s a region called by “Lagoa Negra” where is known the Sb-Au mineralization, location where the field trips were conducted to confirm the Sb-Au mineralization as well as looking for evidence of mineralization carrying Au carrier on region.

All information about the existing geological mapping, stream sediment campaign and pan campaign was introduced into a Geographic Information System (GIS), which with a component Data and Knowledge Driven has created a predictive map that symbolizes the future location to perform detailed exploration.

Key-Words: Lagoa Negra, Sb-Au mineralization, Exploration, GIS.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS ..... **I**
RESUMO ..... **II**
ABSTRACT ..... **III**
ÍNDICE GERAL ..... **IV**
ÍNDICE DE FIGURAS ..... **VI**
ÍNDICE DE QUADROS ..... **X**
LISTA DE ABREVIATURAS ..... **XI**
INTRODUÇÃO **1**
1-ENQUADRAMENTO GERAL **2**
1.1- Contextualização da área de estudo 3
1.2- Enquadramento Geográfico 6
1.3- Enquadramento Geomorfológico 7
1.4- Enquadramento Geológico 9
1.4.1- Estrutural 9
1.4.2- Estratigrafia/Paleozóico 12
1.4.3- Magmatismo e rochas magmáticas associadas 16
1.4.4- Metamorfismo 19
1.5- Metalogénese e recursos minerais 21
2- EXPOSIÇÃO BIBLIOGRÁFICA **23**
2.1- Envolventes dos Sistemas mineralizantes da ZCI 24
2.2- Distribuição das Mineralizações de ouro do norte de Portugal 26
2.3- Cisalhamentos Hercínicos e as mineralizações de Au no N de Portugal. 28
2.4- Fluidos envolvidos nos processos mineralizantes 30
2.5- Jazigos de Au do tipo orogénicos e associados a intrusão 33
2.5.1- Jazigos de Au do tipo Orogénico (mesotermais) 33
2.5.2- Jazigos de ouro associados a intrusão 38
2.5.3- Caraterísticas distintivas dos jazigos de Au do tipo orogénico (mesotermais) com jazigos de Au associados com intrusão 41
2.6- Mineralizações de Sb-Au da Região Dúrico-Beirã 43
2.6.1- Controlo das mineralizações 45
2.6.2- Préconcentrações de Au em rochas de idade Ordovícica 46
2.6.3- Granitos associados às mineralizações auríferas 47

3- METODOLOGIA 48
3.1- Integração dos dados 49
3.2 Os SIG e a seleção de áreas com potencial 50
3.3- SIG: o exemplo do software ArcGIS 52
3.3.1- Acerca do ArcGIS e as suas ferramentas 52
3.3.2- Modelos de dados geográficos 54
3.4- Prospeção geoquímica 55
3.4.1- Definições básicas 55
3.4.2- Principais métodos de prospeção geoquímica 57
3.5- Sedimentos de corrente 59
3.6- Litogeoquímica 60
3.7- Concentrados de bateia 61
3.8- Validação dos dados de campo 62
3.8.1-Análise Geoquímica da rocha total 62
4- DESENVOLVIMENTO DOS TRABALHOS REALIZADOS 64
4.1- Tratamentos dos dados em SIG 65
4.2- Fotografia aérea 68
4.3- Sedimentos de Corrente 69
4.4 Campanha de concentrados de Bateia 75
4.5- Preditividade 77
4.5.1- Valoração 77
4.6- Trabalho de campo 86
4.6.1- Visitas de campo 86
4.6.2- Análise Geoquímica 93
5- CONCLUSÕES 94
5.1- Considerações finais 95
5.2- Trabalhos futuros 96
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÀFICAS XII
ANEXOS XVI
Anexo I XVII
Anexo II XVIII
Anexo III XX
Anexo IV XXI

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Localização da concessão de Balazar e área de estudo abrangidas pelas folhas 5-C, 9-A e 9-C, da Carta Geológica de Portugal, 1:50.000. 3

Figura 2 - Localização da mina de Lagoa Negra num excerto da folha 9-A (Póvoa de Varzim) da carta geológica de Portugal, 1:50.000 4

Figura 3- Fotografia aérea do local da mina 5

Figura 4 - Excerto da folha militar nº 82 com a localização da "Lagoa Negra" 6

Figura 5- Modelo digital do terreno evidenciando o relevo da zona de estudo e a respetiva rede de drenagem 7

Figura 6- Representação 3D À escala 1:25.000 do relevo e linhas de Água tendo por base os dados da Figura 5 8

Figura 7- Localização dos locais que definem o vale de Balazar e Rates num excerto da folha 9-A da carta geológica de Portugal, 1:50.000 8

Figura 8- Unidades geo-estruturais da Península Ibérica. Localização da área estudada no contexto da Cadeia 10

Figura 9- Esquema temporal dos principais eventos de deformação do sector norte durante o ciclo Varisco na Península Ibérica, Dias & Ribeiro (1995) extraído de Vieira, R. (2010) 11

Figura 10- Representação da geologia da área envolvente da Lagoa Negra com base na Cartografia Geológica de Portugal à escala 1:200000, localização dos perfis geológicos G-H e E-F que se encontram no Anexo I 17

Figura 11- Distribuição das principais manchas de metassedimentos (a tracejado) na região abrangida pela folha 1 (Minho), à escala 1:200000, com referência aos principais minerais indicativos do grau de metamorfismo atingido em cada ponto amostrado. 1- Zona de cisalhamento dúctil de Vigo - Régua; 2- Zona de cisalhamento dúctil do Sulco Carbonífero Dúrico-Beirão, in notícia explicativa da folha 1 da cartografia Geológica, 1:200.000, de Portugal. 20

Figura 12- sequência cronológica relativamente à orogenia Varisca com os principais jazigos minerais metálicos da ZGTM e ZCI (adaptado de Thadeu, 1989) em Vieira, R. 2010 21

Figura 13- Distribuição dos principais sistemas mineralizantes da ZCI e sua relação espacial com os granitoides e zonas de cisalhamento "sin-D3" (A), bem como com os granitoides "tardi- a pos-D3" e desligamentos Tardi- Variscos (B). (Mateus e Noronha 2010). 25

Figura 14- Distribuição das Mineralizações de ouro do norte de Portugal 27

Figura 15- Minas e ocorrências mineiras de Au na ZCI (Pereira et al, 1993) 29

Figura 16- A: Representação esquemática da evolução P-T registada para vários sistemas geológicos localizados na ZCI, considerando os dados de inclusões fluidas. B: Condições P-T de formação dos principais sistemas mineralizantes. 1: Pegmatitos ricos em fases de Sn-, P- e Li- (Fe, Mn, Nb, Ta), aplitos contendo Sn (-W) e skarns de W; 2: Mineralizações filonianas tardias de W- (Sn) e skarns de W relacionados com granitoides “tardi- a pos-D3”; 3: Precipitados hidrotermais precoces (mais comuns) em zonas de cisalhamento reativadas; 4: sistemas Au (-Ag); 5: sistemas Pb (-Zn-Sb). Mateus e Noronha (2010). 30

Figura 17- Profundidade de formação e ambiente estrutural dos jazigos de ouro mesotermais (ou orogénicos), formados nas margens de placas convergentes, Groves et al (1998). 34

Figura 18- Diagrama esquemático do ambiente geotectónico de vários tipos de jazigos de ouro, incluindo os jazigos de ouro orogénicos e os jazigos de ouro associados a intrusão de Groves et al., 2005, (Inverno, 2011) 35

Figura 19- Hipotético sistema hidrotermal contínuo, em diferentes níveis da crusta, até 25 Km de profundidade com a origem (setas) de possíveis fluidos mineralizadores dos jazigos de Au do tipo orogénico de Groves (1993), (Inverno, 2011). 36

Figura 20- Sequência paragenética genérica dos jazigos de ouro orogénicos do Fanerozóico de Bierlein and Crowe (2000), (Inverno, 2011). 36

Figura 21- Hipotético sistema hidrotermal contínuo, em diferentes níveis da crusta, até 25 Km de profundidade, com os estilos tectónicos e diferentes tipos de filões de quartzo auríferos em diferentes níveis da crusta de Groves et al (1995), (Inverno, 2011). 37

Figura 22- Diagrama esquemático da geologia e modelo de prospeção para os jazigos de ouro associados a intrusão com variação vertical e lateral nos estilos dos jazigos, características dos fluidos e assinaturas metálicas de Lang and Baker (2001), (Inverno, 2011) 38

Figura 23- Diagrama esquemático da geologia e de modelo de prospeção para os jazigos de ouro associados a intrusão com a variação nos estilos dos jazigos, desde os encaixados na intrusão, passando pelos jazigos proximais e até aos jazigos distais. (Inverno, 2011). 40

Figura 24- Mapa de distribuição dos jazigos de Sb-Au na região Dúrico-Beirã. 1- Carbonífero; 2- Ordovícico a Devónico; 3- Pré-Câmbrico e ou Câmbrico?; 4- auréola de contato; 5- Granitóides sin- orogénicos biotíticos tardi F3 e tardi a pós F3; 6- Cisalhamento; 7- Falha; 8- Falha provável, Couto (1993). 43

Figura 25- Diferença entre os dados raster e dados vetoriais. 54

Figura 26- Médias e amplitudes dos teores dos principais elementos menores em rochas normais. Segundo Rose, Hawkes e Webb,1979 (extraído de (Neto & Rocha, 2010)) 55

Figura 27- Exemplo de uma bacia de drenagem 59

Figura 28- Exemplo de uma bateia 61

Figura 29- Introdução das coordenadas para Georreferenciação 65

Figura 30- Caraterísticas do aplicativo “COGO” 66

Figura 31- Aspeto sobre a criação dos polígonos referentes á geologia 67

Figura 32 - Fotografia aérea com individualização da área atribuída à empresa Klondike em Diário da República (DR) 68
Figura 33 - Sobreposição dos locais de amostragem com as linhas de água da região num excerto da folha 82 e 83 da cartografia militar 1/25000. 69
Figura 34- Parâmetros estatísticos para o Antimónio (Sb) 70
Figura 35- Distribuição das anomalias de Sb e as suas respetivas bacias de drenagem 71
Figura 36- Parâmetros estatístico para o ouro (Au) 72
Figura 37- Distribuição da anomalia de Au e a sua respetiva bacia de drenagem 73
Figura 38- Parâmetros estatístico para o Arsénio (As) 73
Figura 39- Distribuição das anomalias de As e as suas respetivas bacias de drenagem 74
Figura 40- Campanha de concentrados de bateia 75
Figura 41- Área de estudo 78
Figura 42- Buffer de 1000m á bacia Carbonífera e falhas 79
Figura 43- Valoração atribuída com a soma dos critérios de proximidade das falhas e da bacia Carbonífera 80
Figura 44- Localização das bacias de drenagem dos pontos anómalos obtidos. A- Bacias de drenagem de Sb; B- Raster da bacia de drenagem de Sb; C- bacia de drenagem de As; D- Raster da bacia de drenagem de As. 81
Figura 45- Resultado da soma dos “Raster” que correspondem às bacias de drenagem de Sb e As e a respetiva valoração 81
Figura 46- Localização das bacias definidas pela mineralometria com valores de Au até 0.01g 82
Figura 47- Conversão para “Raster” das bacias de Au em relação à campanha de mineralometria 83
Figura 48- Fluxograma das etapas de modelação do mapa preditivo 84
Figura 49- Mapa preditivo (áreas de incidência dos trabalhos de prospeção) 85
Figura 50- Localização na fotografia aérea do local ande se encontra a escombreira do monte do moinho de vento e as trincheiras de exploração de antimónio. 86
Figura 51- Material da escombreira do monte do Moinho de vento, com material da ganga 87
Figura 52- Locais de amostragem na região de Lagoa Negra sobre fotografia aérea. 87
Figura 53- Amostra K-23 de lidito com cubos de pirite 88
Figura 54- Amostra k-25 de quartzo com arsenopirite 88
Figura 55- Amostra K-25 89
Figura 56- Amostra K-26 89
Figura 57- Amostra K-27 89

Figura 58- A: Localização da amostra K-42 através de fotografia aérea; B: Caixa de falha; C- Amostra K-42 90

Figura 59- Localização das amostras e poço de prospeção romano..... 91

Figura 60- Amostras de quartzo com óxidos de ferro recolhidos na antiga pedreira perto do poço..... 92

Figura 61 – Amostras de quartzo com pirite e óxidos de ferro, recolhidos dos restos de um furo de água..... 92

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1- Exemplo de Sucessão paragenética e evolução geoquímica das mineralizações de Ribeiro da Igreja (Sb-Au), Couto (1993) 44

Quadro 2- Método geoquímico segundo diferentes escalas (Regional/Detalhe) (Neto & Rocha, 2010) 58

Quadro 3- Vantagens e desvantagens da amostragem litogeoquímica 60

Quadro 4- Vantagens e desvantagens do método segundo (Neto & Rocha, 2010). ... 61

Quadro 5- Caraterísticas do método Au-AA25 63

LISTA DE ABREVIATURAS

FCUP- Faculdade de Ciências da Universidade do Porto;

SIG- Sistema de Informação Geográfica;

ZCI- Zona Centro Ibérica;

C.X.G.- Complexo Xisto-Grauváquico;

INTRODUÇÃO

A prospeção e exploração mineira no norte de Portugal remonta pelo menos ao tempo de ocupação Romana, “cravando” a superfície com evidências de explorações e trabalhos de prospeção antigos como é o caso da área de estudo, a mineralização de Sb-Au na Lagoa Negra.

Esta encontra-se inserida numa concessão de prospeção e pesquisa, denominada Balazar, adquirida pela empresa mineira “Klondike Gold Corporation”, abrangida pelas folhas 5-C (Barcelos), 9-A (Póvoa de Varzim) e 9-C (Porto) da Cartografia Geológica Portuguesa à escala 1:50.000, definindo uma área de aproximadamente 194km2.

A área de trabalho está centrada na envolvente da vertente NE (leste) da Serra de Rates e a zona da Lagoa Negra, locais onde há evidências de explorações de Antimónio (Sb) e Antimónio-Ouro (Sb-Au), com o objetivo de comprovar a mineralização Sb-Au da Lagoa Negra e identificar sinais de ocorrência de mineralizações portadoras de Au na região.

Toda a informação obtida com relevância para a área de estudo foi introduzida num Sistema de Informação Geográfica (SIG) de forma a cruzar os dados e obter quais os locais preferenciais onde deverão incidir os trabalhos de prospeção futuros.

1-ENQUADRAMENTO GERAL

1.1- Contextualização da área de estudo

O presente estudo baseou-se num estágio resultante da parceria da FCUP e a empresa mineira canadiana " Klondike Gold Corporation", à qual foi atribuída uma licença de pesquisa e exploração sobre uma área no NW de Portugal com cerca de 194 km2, Figura 1.

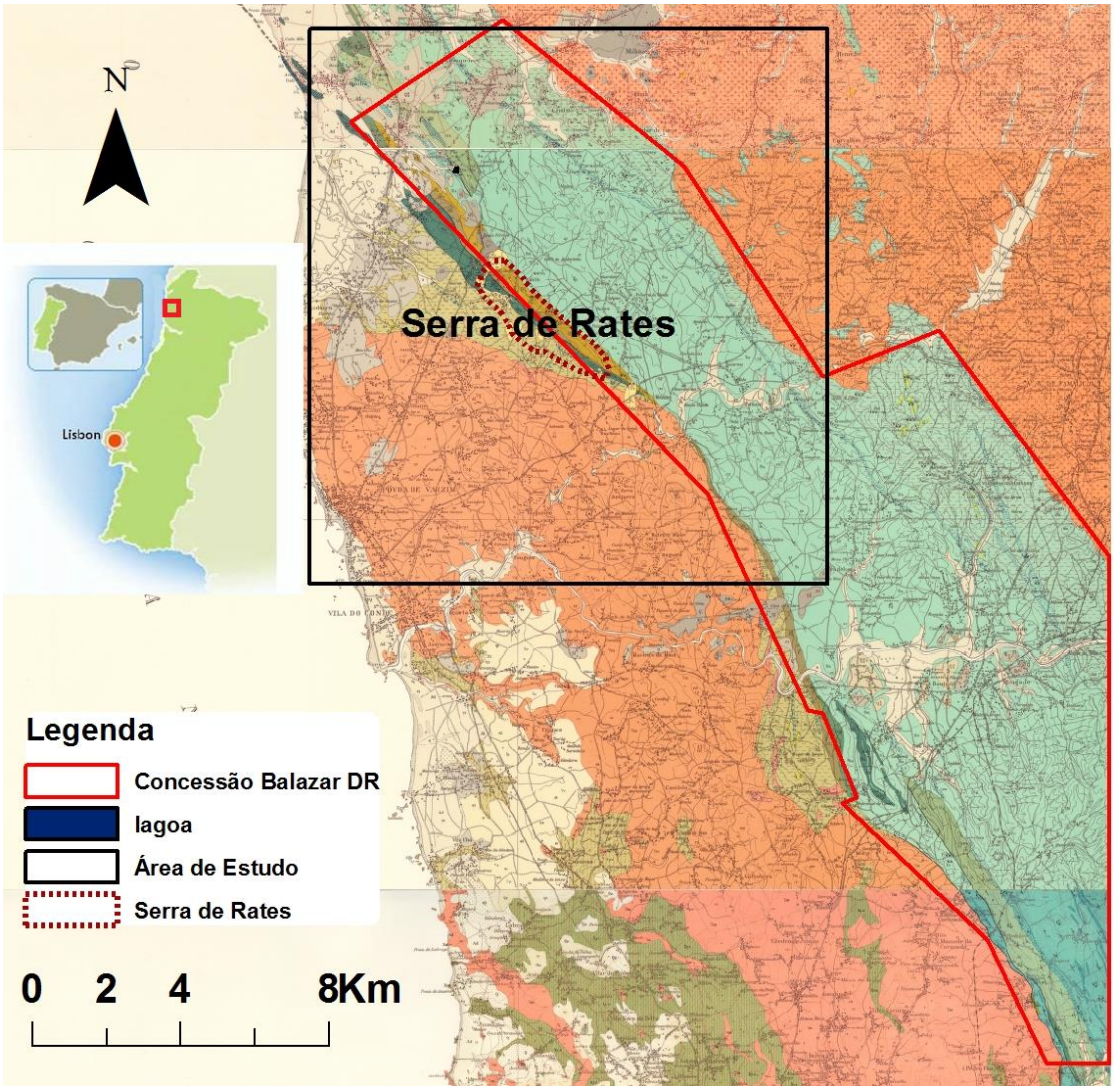
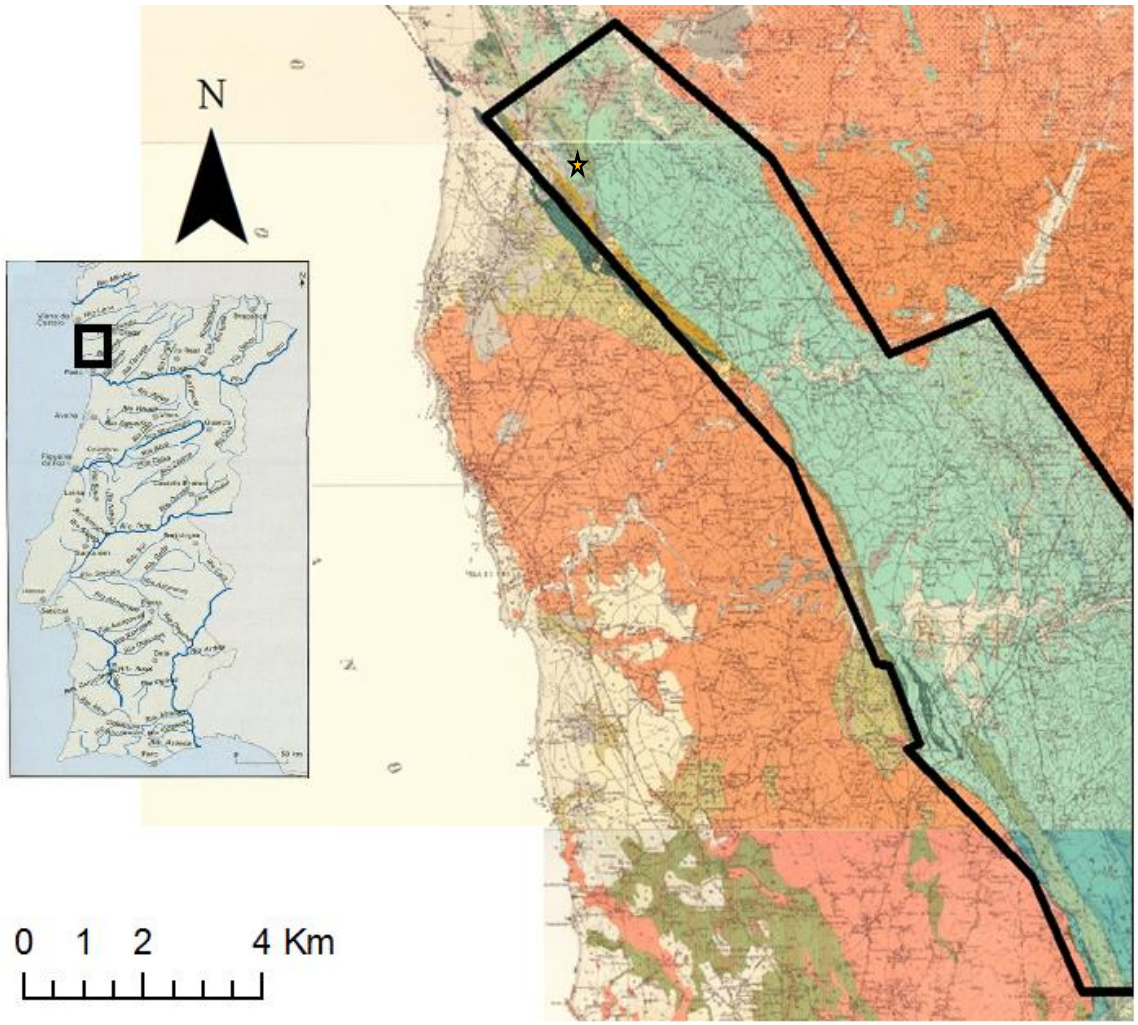


Figura 1- Localização da concessão de Balazar e área de estudo abrangidas pelas folhas 5-C, 9-A e 9-C, da Carta Geológica de Portugal, 1:50.000.

Toda a área está coberta por diversas explorações mineiras antigas agora desativadas. A Klondike Gold Corporation dedica-se principalmente à exploração de ouro mas interessa-se pela prospeção de outro tipo de metais, tais como, antimónio (Sb), estanho (Sn) e tungsténio (w).

Na área atribuída à empresa ocorrem diversas mineralizações de estanho e tungsténio (Sn e W) e como principal matéria de estudo a mineralização de antimónio-ouro (Sb-Au) na denominada Lagoa Negra (Figura 2 e 3).

A mina de Lagoa Negra é uma exploração que terá laborado durante a época Romana, onde a exploração se fez principalmente a céu aberto. O principal trabalho Romano efetuado foi uma trincheira ovalada com cerca de 80m de comprimento, 50m de largura e de profundidade desconhecida (Martins, 2008), que atualmente se encontra inundada (Figura3).



Legenda: ☆ Local da mina Sb-Au

Figura 2 - Localização da mina de Lagoa Negra num excerto da folha 9-A (Póvoa de Varzim) da carta geológica de Portugal, 1:50.000

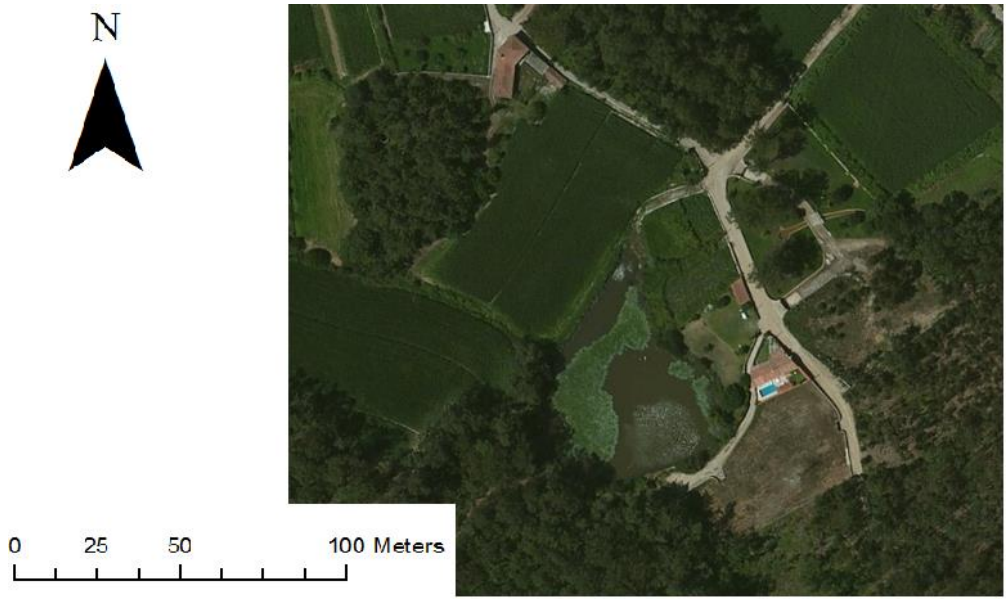


Figura 3- Fotografia aérea do local da mina

1.2- Enquadramento Geográfico

A mina de Lagoa Negra é uma antiga exploração que se encontra no NW de Portugal situada no distrito de Braga, faz parte do concelho de Barcelos da freguesia de Barqueiros com uma altitude de 37m e de coordenadas geográficas (Datum WGS84):

Latitude- 41º27'44''N; Longitude: 8º43'37''W;

Esta encontra-se abrangida pela folha nº 82 da carta militar de Portugal à escala 1:25.000 do Instituto Geográfico do Exército (IGOE) (Figura 4) e insere-se na folha 9-A (Póvoa de Varzim) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000 (Figura 2).

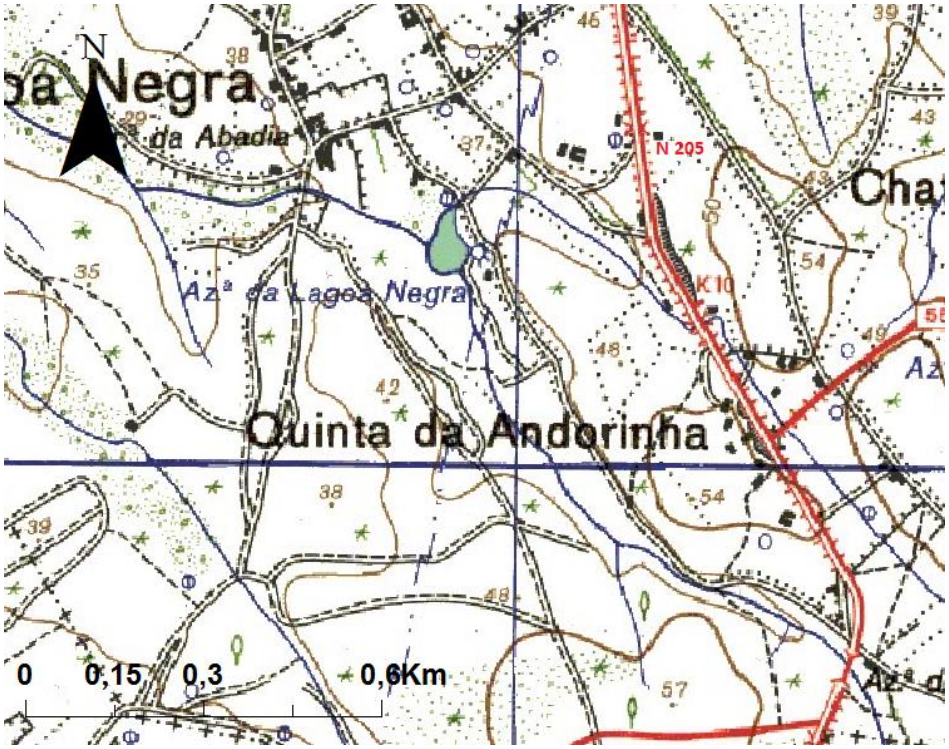


Figura 4 - Excerto da folha militar nº 82 com a localização da "Lagoa Negra"

Um dos acessos é a N205 que liga Barqueiros à Póvoa de Varzim e que encontra a Lagoa Negra através da Rua e da Travessa das Minas.

1.3- Enquadramento Geomorfológico

A região envolvente da "Lagoa Negra" é formada por uma extensa superfície de abrasão marinha coberta por depósitos de praia antiga e aluviões, com fraco relevo retalhada por duas linhas de água, Figura 5.

A 3 Km para SE da "Lagoa Negra" encontra-se o Monte de São Félix, Figura 5, com 202 m de altitude. É uma colina quartzítica que serve de esporão terminal da serra de Rates, com orientação NW-SE, formando uma extensa faixa de terrenos de idade Paleozóica onde se destacam os quartzitos do Ordovícico retalhada por diversas linhas de água.

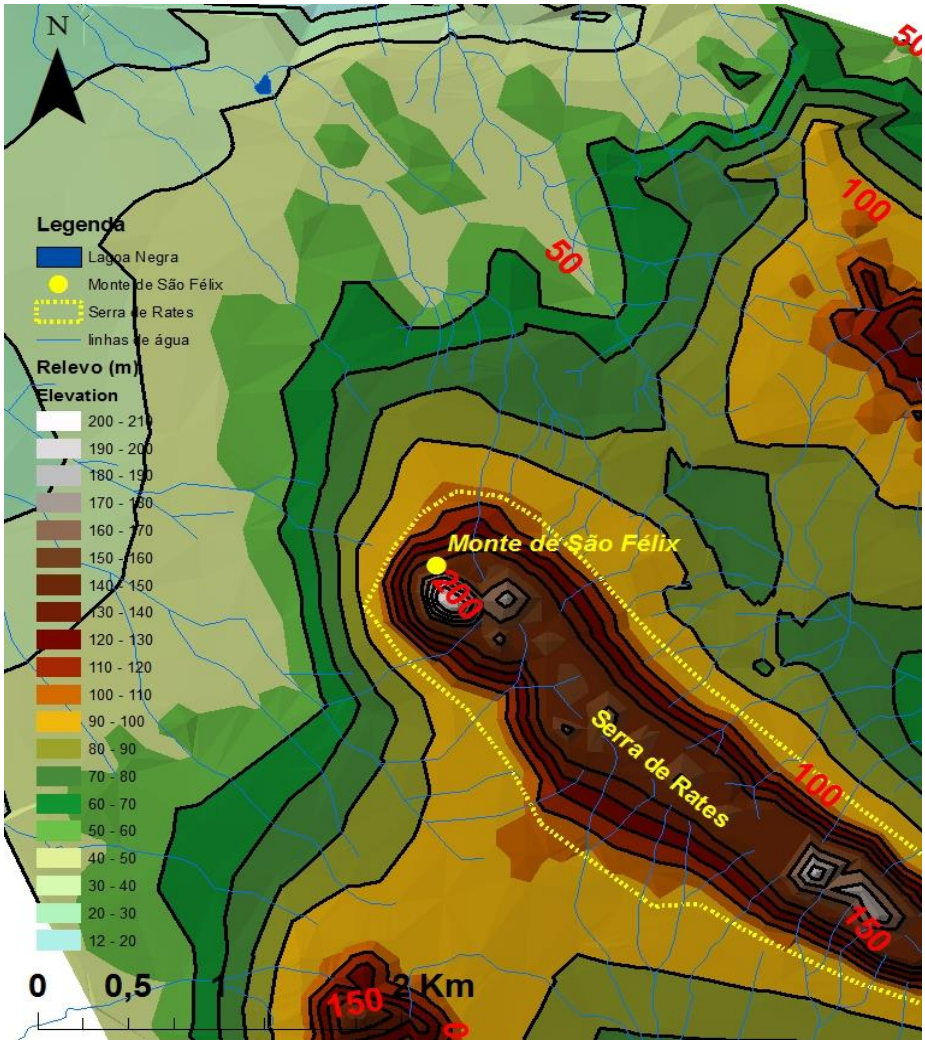


Figura 5- Modelo digital do terreno evidenciando o relevo da zona de estudo e a respetiva rede de drenagem

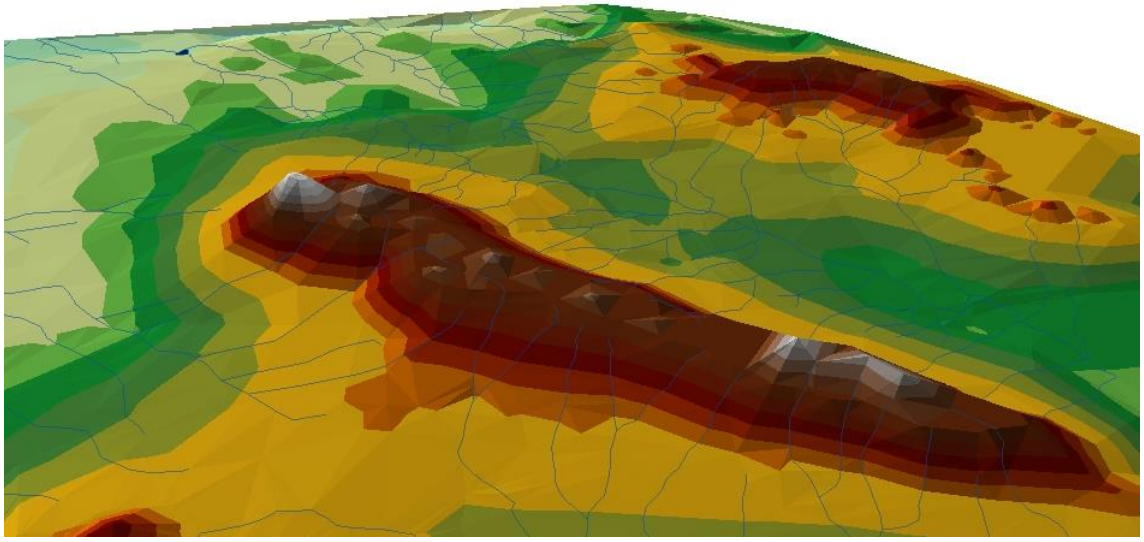


Figura 6- Representação 3D À escala 1:25.000 do relevo e linhas de Água tendo por base os dados da Figura 5

Entre a serra de Rates e as elevações de Courel, encontra-se o vale de Balazar e Rates (muito aberto) fechado a SE pelas elevações de Pedras negras, Pedras brancas e da Soledade (Figura 7). Entre a Serra de Rates e a elevação da Soledade passa o rio Este, que receber diversos afluentes.

Figura 7- Localização dos locais que definem o vale de Balazar e Rates num excerto da folha 9-A da carta geológica de Portugal, 1:50.000

(Enquadramento geomorfológico baseado na notícia explicativa da folha 9-A (Póvoa de Varzim) da cartográfica geológica de Portugal à escala 1:50.000).

1.4- Enquadramento Geológico

Como já foi referido, a área de estudo encontra-se abrangida pela folha 9-A (Póvoa de Varzim) da carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000 e de forma geral, é constituída por uma mancha de terrenos Paleozóicos de direção NW-SE delimitada por vários tipos de intrusões graníticas.

Esta faixa é um prolongamento do Anticlinal de Valongo para NW, da folha geológica 9-D (Penafiel) 1:50.000, descrita por Couto (1993), e encontra-se delimitada quer a SW e NE por intrusões graníticas Hercínicas.

O enquadramento geológico teve como base descritiva a notícia explicativa da folha geológica 9-A da Póvoa de Varzim à escala 1:50.000 e a notícia explicativa da folha 1 da cartografia geológica de Portugal à escala 1:200.000.

O enquadramento geológico a seguir descrito abrange toda a área envolvente da mina de Lagoa Negra.

1.4.1- Estrutural

A unidade hercínica da Península Ibérica é caraterizada pela existência de várias zonas geotectónicas, com caraterísticas paleogeográficas, metamórficas, magmáticas e tectónicas particulares (Julivert et al, 1974).

A área de estudo encontra-se localizada na Zona Centro Ibérica (ZCI), Figura 8, na sua parte autóctone, importante zona definida por Lotze (1964), Julivert (1974) e Ribeiro et al (1979).

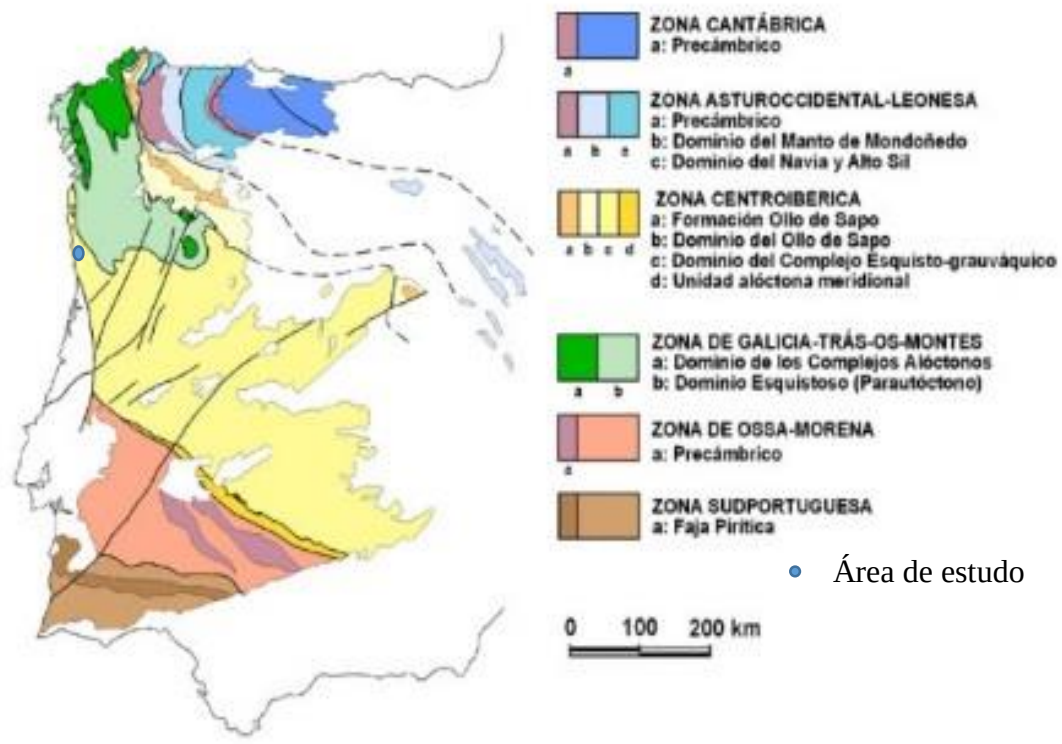


Figura 8- Unidades geo-estruturais da Península Ibérica. Localização da área estudada no contexto da Cadeia Varisca do Maciço Ibérico (adaptado de: JULIVERT et al., 1972; FARIAS et al., 1987; QUESADA, 1991; DIEZ BALDA et al., 1990; GONZÁLEZ CLAVIJO, 1997; extraído de Vera, 2004)

A ZCI, do ponto de vista estratigráfico, caracteriza-se pelo predomínio dos metassedimentos ante-Ordovícicos, que pertencem ao Complexo Xisto-Grauváquico (CXG), relativamente às restantes formações Paleozóicas, o Ordovícico inferior apresenta um carácter transgressivo e discordante (Ribeiro et al., 1979) sobre os terrenos ante-Ordovícicos. Outra característica da ZCI é a importante presença de rochas granitóides Hercínicas, relacionadas com o magmatismo sin-orogénico abundante, com idades de implantação distintas, ante-, sin-, tardi- e pós-D3 (Ferreira et al., 1987)

A ZCI é caraterizada estruturalmente pelo domínio axial de uma pronunciada virgação denominada Arco Ibéro-Armoricano (Matte & Ribeiro, 1975; Matte, 1986; Dias & Ribeiro, 1995), correspondendo à espinha do Maciço Hespérico.

A estruturação da ZCI está controlada pela atuação da orogenia Varisca que foi a responsável pelo metamorfismo e deformação observadas, assim a ZCI é caraterizada pela estruturação Varisca, que ocorreu em três fases de deformação dúctil distintas, D1, D2 e D3. (Ribeiro 1974, Noronha et al. 1979, Dias e Ribeiro, 1994) (Figura 9).

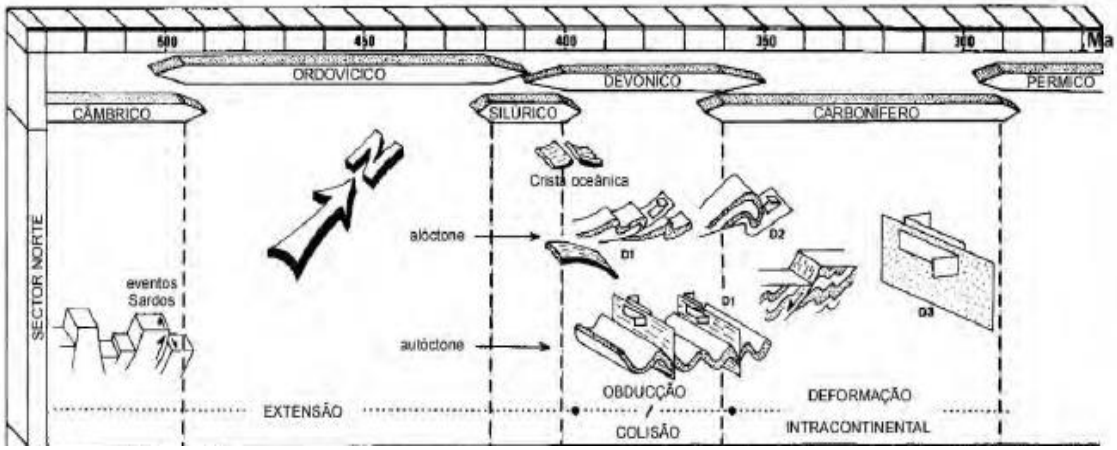


Figura 9- Esquema temporal dos principais eventos de deformação do sector norte durante o ciclo Varisco na Península Ibérica, Dias & Ribeiro (1995) extraído de Vieira, R. (2010)

Durante D1, dá-se a formação de dobras com orientações e vergências diferentes, consoante se trate de terrenos alóctones, autóctones ou parautóctones (Noronha et al., 2006).

A deformação D1 gerou maioritariamente dobras NW-SE, sub-verticais, com grande amplitude numa zona mais central, do qual divergem dois sectores com dobras vergentes para SW (e.g., serra de Valongo) e NE (e.g., Serra do Marão). A este dobramento está associada uma xistosidade S1, paralela aos planos axiais das dobras (Ribeiro et al., 1979; Díez Balda et al., 1990).

A fase de deformação D2 é bastante local e encontra-se representada no alóctone e parautóctone, resultando da fase D1 com o aumento das vergências para SE e formação de dobras deitadas de flanco inverso muito curto (Noronha et al., 2006).

No alóctone D2 sobrepõe-se aos “fabrics” produzidos por D1 através de carreamentos. No Autóctone estes movimentos tardios podem reativar estruturas prévias (Dias & Ribeiro., 1995).

D2 desenvolve-se no núcleo de antiformas em zonas de médio a elevado grau de metamorfismo, desenvolvendo dobras menores fortemente assimétricas que afetaram a clivagem S1 e desenvolveram xistosidade sub-horizontal. É nesta fase que se desenvolveram importantes cavalgamentos (Diéz Balda et al., 1990; Ribeiro, 2006).

A fase de deformação D3 abrangeu todos os terrenos da ZCI originando dobramentos largos e de pequena amplitude com plano axial vertical e desenvolvimento simultâneo de zonas de cisalhamento dúctil vertical (Noronha et al., 2006).Esta fase foi a responsável pela génese de dobras com plano axial sub-vertical sub-paralelas ao Arco Ibéro-Armoricano (Ribeiro, 2006).

Já num período tardi a pós D3 dá-se a deformação dúctil-frágil e frágil desenvolvendo-se um sistema de fraturas conjugadas, com direção NNE-SSW e o conjugado NNW-SSE (Noronha et al., 2006).

1.4.2- Estratigrafia/Paleozóico

Os terrenos Paleozóicos ocupam uma vasta área de direção NW-SE e estão compreendidos desde o ante -Ordovícico (Câmbrico?) até ao Carbonífero.

A simbologia abaixo atribuída teve por base a notícia explicativa da folha 1 da cartografia geológica de Portugal à escala 1:200.000.

No Anexo I encontram-se os perfis geológicos E-F e G-H extraídos da folha 1 da Carta Geológica de Portugal, 1:200.000.

1.4.2.1- Complexo Xisto-Grauváquico (Câmbrico?)

A unidade de idade Câmbrica faz parte do Grupo do Douro, **Complexo Xisto-Grauváquico indiferenciado (Do)**, limitada a sul por intrusões graníticas e a norte por rochas de idade Paleozóica, que assentam sobre elas.

É constituída, predominantemente, por xistos e frequentemente por grauvaques, metamorfisados nas orlas de contato com o granito dando origem a xistos luzentes e mosqueados.A direção dos xistos é NW-SE (N600 a 650W), com camadas quase verticais, inclinando cerca de 800 para NE, com alguns filões de quartzo e pórfiros.

Intercaladas na série dos xistos e grauvaques assinalam-se algumas bancadas conglomeráticas, muito compactas e com os elementos deformados.

1.4.2.2- Ordovícico

As rochas metassedimentares de idade Ordovícica estão definidas pela formação de Santa Justa, Formação de Valongo e pela formação de Sobrido.

A **formação de Santa Justa (Sj)** no contato com as rochas de idade ante-Ordovícica (CXG) forma uma pequena discordância de baixo ângulo. Litologicamente é constituída essencialmente por conglomerados, bancadas conglomeráticas formadas por elementos bem rolados de pequena a média dimensão, intercalados em quartzitos, siltitos e argilitos. Orientação NW-SE a inclinar para NE, com pendores a variar entre os 400 e 700.

A **formação de Valongo (Va)** é formada por uma faixa de pequena dimensão (com direção NW-SE e 150 m de largura) concordantes com os quartzitos, constituída por xistos argilosos finos, cinzentos, ardosíferos de direção NW-SE com inclinação entre os 45º e 80º para NE.

A **formação de Sobrido (Os)** forma uma faixa de xistos negros, grauvacóides grosseiramente ardosíferos. Rocha de matriz sericítica, quártzica e argilosa, com numerosos clastos de quartzo e raramente de moscovite e calcite. Nestes estão intercalados quartzitos.

O contato destes com as rochas de idade Silúrica forma uma zona de esmagamento que denuncia a existência de falha, indicada também, por discordância angular.

1.4.2.3 Silúrico

O Silúrico está representado pela unidade de xistos carbonosos superiores e pela formação de Sobrado e formam uma larga faixa de orientação NW-SE que de Valongo se estende até Viana do Castelo.

A **Unidade de Xistos Carbonosos Superiores (S2)** é formada essencialmente por xistos argilosos cinzentos com intercalações de estreitas faixas de xistos grafitosos e de ftanitos cinzentos. De direção NW-SE inclinam quer para SW quer para NE, com pendores entre o 75º e o 90º.

As faixas de xistos ampelitosos localizam-se predominantemente na zona mais oriental da mancha Silúrica, na zona ocidental ocorre o predomínio dos ftanitos, que tomam por vezes, o aspeto de liditos.

As rochas Silúricas que contatam com o granito da grande mancha Minhota, que as metamorfisou, dá origem a uma orla relativamente extensa composta por corneanas, xistos luzentes, xistos andaluzíticos e granatíferos.

A **formação de Sobrado (So)** é descrita como uma formação composta por 3 conjuntos distintos, conjuntos que contêm dados insuficientes para uma definição formal de membros.

Da base para o topo, o inferior é definido pela presença de grés imaturos ricos em óxidos de ferro hidratados, destacando-se os quartzitos com ritmos conglomeráticos, erosão de base e estratificação cruzada intercalados em sedimentos terrígenos avermelhados de natureza greso-argiloso ou grauvacóide. O segundo conjunto é definido pela alternância de filitos e metagrauvaques, por vezes com níveis de quartzitos ou siltitos (1-2 decímetros). O conjunto superior consta de uma alternância centimétrica a milimétrica de filitos cinzentos e negros com metassiltitos claro, laminação fina, paralela e, raramente, cruzada.

1.4.2.4 Devónico

O Devónico está representado pela Formação de telheiras (membro superior e inferior) e encontra-se preservado em escamas tectónicas no Sulco Carbonífero do Douro devido a presença de desligamentos com forte componente cavalgante.

O **membro inferior (Te1)** da unidade de telheiras e formada por xistos argilo-micáceos, grés finos micáceos e grés quartzíticos, de cor branca e em alguns casos amarelada. No contato com o membro superior da unidade de Telheiras origina concentrações limoníticas.

O **membro superior (Te2)** é composto por xistos argilosos finos, claros frequentemente amarelo-avermelhados, muito rico em fósseis num grés fino e duro pouco micáceo. Formam uma faixa de 5 Km de comprimento e 150m de largura.

Estas inclinam entre 50º e 70º para SW denunciando um paralelismo com os xistos de idade silúrica, sobre os quais estão assentes.

1.4.2.5 Carbonífero

O Carbonífero está representado pela unidade de Bougado de fácies continental, formando uma estreita faixa de direção NW-SE.

A **unidade de Bougado (Bo)** é composta por conglomerados arcósicos intercalados com níveis argilo-xistentos negros e cinzentos com fósseis vegetais.Os depósitos arcósico-conglomeráticos são relativamente espessos e grosseiros, contendo por vezes, grandes blocos rolados de quartzito, elementos graníticos e outros.

A camada está orientada segundo NW-SE com uma inclinação entre 500 e 700 para NE.

1.4.3- Magmatismo e rochas magmáticas associadas

O magmatismo plutónico da ZCI é caraterizado essencialmente por grandes volumes de granitóides sin-orogénicos Variscos que se encontram associados à fase de convergência e colisão do soco Varisco, este encontra-se dividido em três episódios distintos relacionados com a sua génese (Noronha et al., 1979, 1981; Iglesias & Ribeiro, 1981; Díez Balda et al, 1990; Dias et al, 2000).

Salientando a relação temporal entre o período de instalação e a terceira fase de deformação Varisca (D3), Ferreira et al (1987) definiu a divisão dos granitóides Variscos Ibéricos em três grandes grupos.

1- Sin-orogénicos, ante-D3
2- Sin-orogénicos, sin- a tardi-D3
3- Tardi a pós orogénicos

Segundo o período de instalação dos granitos e a terceira fase D3 e com o apoio da petrografia e geoquímica os granitos estão divididos em dois grandes grupos, os granitos de duas micas e os granitos biotíticos.

Os granitos de duas micas são, essencialmente, granitos sin- a tardi-D3 (320-305 Ma.), leucocratas, que derivaram da cristalização de magmas gerados a níveis crustias médios a inferiores, peraluminosos húmidos, por fusão parcial de rochas metassedimentares aluminosas metapelíticas (Pinto et al, 1987; Capdevila et al, 1990; Dias et al, 1990; Noronha, 2007; Dias et al, 2010; adaptado de Vieira, R., 2010).

Os granitos biotíticos são rochas calcoalcalinas geradas por fusão parcial de materiais de níveis mais profundos (Capdevila et al, 1973). Podem ser ante- a sin-D3 (> 321-312 Ma); tardi-D3 (311-305 Ma); tardi- a pós-D3 (aproximadamente 300 Ma) e pós-D3 (299-290 Ma) (Dias et al, 1998-2010; adaptado de Vieira, R. 2010).

Na região da mina de Lagoa Negra não ocorre nenhuma ocorrência de magmatismo acima descrito, embora este possa estar relacionado indiretamente (Couto, 1993) com a mineralização de Sb-Au da Lagoa Negra, pois pode ter sido o principal “motor” para a circulação de fluidos mineralizantes na zona de esmagamento entre rochas de idade Ordovícica e Silúrica que denuncia a existência de falha (Figura 10).

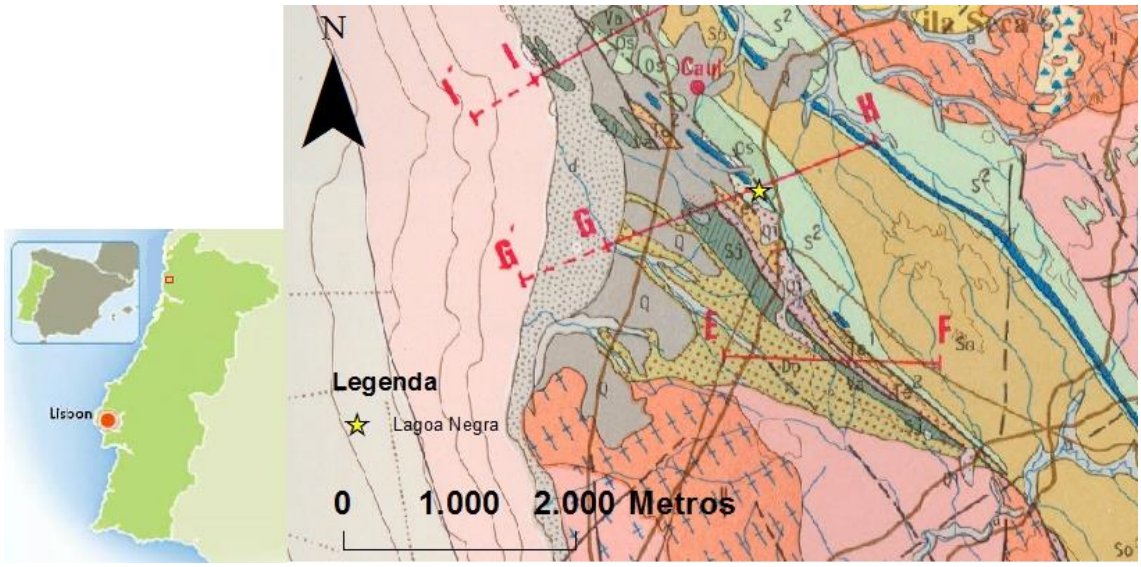


Figura 10- Representação da geologia da área envolvente da Lagoa Negra com base na Cartografia Geológica de Portugal à escala 1:200000, localização dos perfis geológicos G-H e E-F que se encontram no Anexo I

Como é visível as intrusões graníticas delimitam os terrenos metassedimentares quer a NE da Lagoa Negra quer a S da mesma. São de salientar portanto, duas expressões graníticas, uma série precoce de granitóides biotíticos com plagióclase cálcica sin-orogénicos, ante- a sin D3 (y"1) e os granitóides de duas micas Hercínicos sin-tectónicos relativamente a F3 (y"3),

Relativamente aos granitóides biotíticos com plagióclase cálcica (y"1), temos a sul da Lagoa negra e a NNE da mesma a ocorrência de granitos e granodioritos de grão médio, de duas micas. Evidenciam aspetos metassomáticos devido à presença de pertites na microclina, zonamento da plagióclase, ocorrência de mirmequite e textura simplectítica da moscovite. Como minerais acessórios temos zircão, apatite, rútilo e grãos minerais opácos.

As expressões dos granitóides de duas micas Hercínicos sin-D3 são três (y'3), o granito de grão médio de duas micas (granito do Porto), o granito de grão médio de duas micas com esparsos megacristais (granito da Póvoa de Varzim) e o granito de grão médio ou grosseiro de duas micas (granito de Gondifelos). Localizado a NE da Lagoa Negra temos o granito de Gondifelos e a sul as outras duas expressões.

O granito de grão médio de duas micas tem textura hipidiomórfica granular e é constituído por microclina poicilítica, plagióclase (frequentemente) zonada (núcleo sericitizado) e quartzo xenomorfo cataclástico de bordos recortados. Granito muito deformado, alterado e fraturado.

O granito da Póvoa de Varzim é um granito porfiróide de grão médio, geralmente cataclástico e deformado. Dos minerais que o compõem destaca-se a microclina que ocorre sob a forma de megacristais com formação típica da macla de Carlsbad. Como minerais acessórios temos o zircão, apatite, e rútilo frequentemente em inclusões na biotite.

O granito de Gondifelos é um granito no geral fraturado, com microclina pertítica e moscovite com textura simplectítica com alguma silimanite inclusa. Como minerais acessórios temos a apatite, zircão, rútilo e grãos minerais opacos. Quando ocorrem microfraturas estas encontram-se preenchidas por sericite.

1.4.4- Metamorfismo

Os metassedimentos que afloram na região estão situados entre dois cisalhamentos dúcteis cartografados, o Sulco Carbonífero Dúrico-Beirão e o cisalhamento Vigo-Régua, sendo o cisalhamento do Sulco Carbonífero Dúrico-Beirão o que contacta os metassedimentos da área de estudo (Figura 11).

Os maciços graníticos existentes entre os dois cisalhamentos dúcteis são alóctones e induziram metamorfismo de contato de grau médio, fáceis anfibolítica, nos metassedimentos encaixantes.

A recristalização metamórfica é elevada e está associada à 3ª fase de deformação, como associações mineralógicas típicas destaca-se:

- Quartzo+ Albite+ moscovite+ biotite+ óxidos de ferro +/- cordierite +/- andaluzite;

- Quartzo+ biotite+ silimanite;

- Quartzo+ biotite+ moscovite + andaluzite+ fibrolite;

- Quartzo+ biotite+ cordierite+ andaluzite+ feldspato potássico+ moscovite;

- Quartzo+ feldspato potássico+ biotite+ cordierite+ fibrolite.

Trata-se de um gradiente metamórfico de baixa pressão de grau médio a alto, mais recente, associado com a 3ª fase de deformação à qual correspondem paragéneses que incluem a clorite, biotite, cordierite, andaluzite e silimanite.

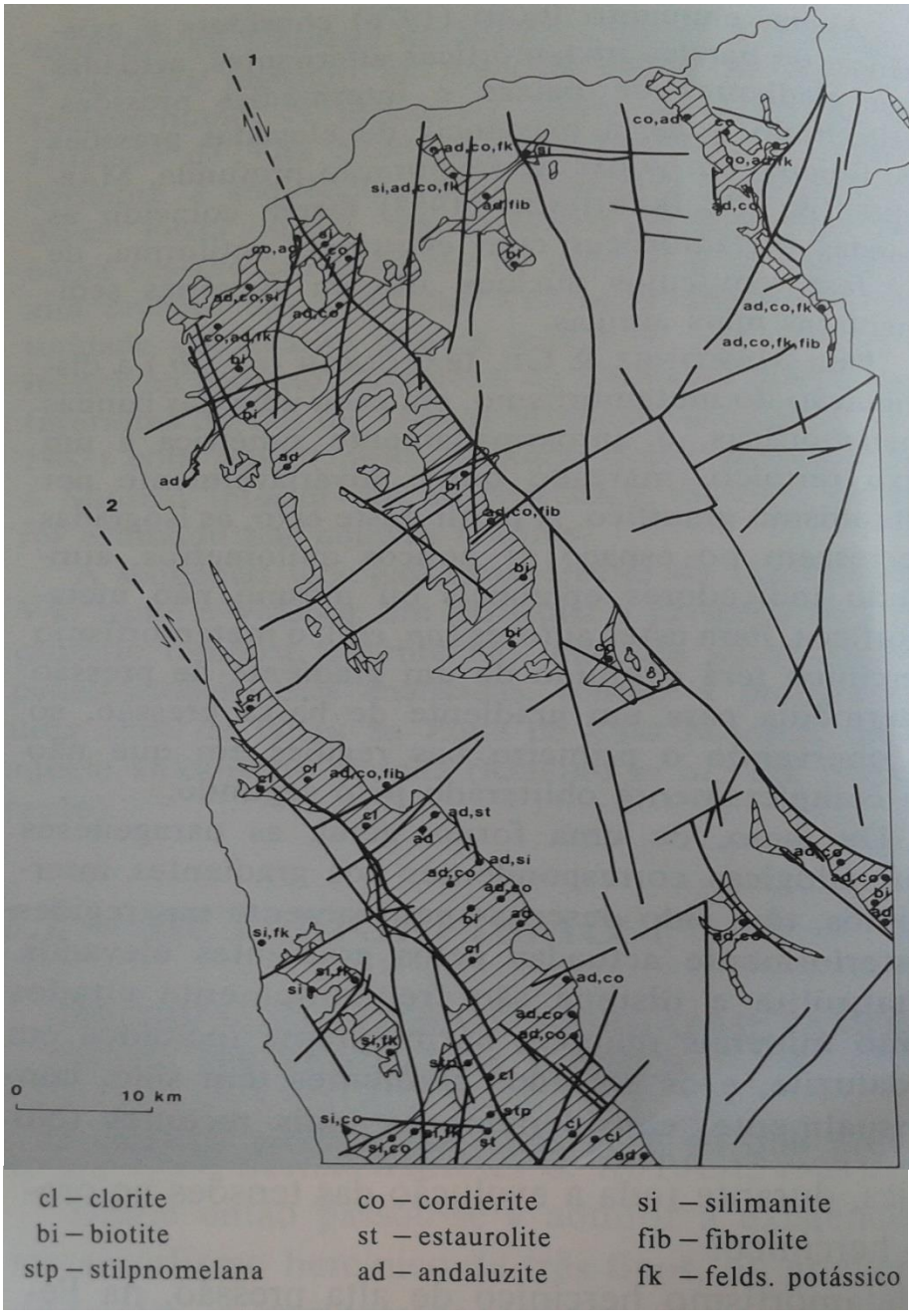


Figura 11- Distribuição das principais manchas de metassedimentos (a tracejado) na região abrangida pela folha 1 (Minho), à escala 1:200000, com referência aos principais minerais indicativos do grau de metamorfismo atingido em cada ponto amostrado. 1- Zona de cisalhamento dúctil de Vigo - Régua; 2- Zona de cisalhamento dúctil do Sulco Carbonífero Dúrico-Beirão, in notícia explicativa da folha 1 da cartografia Geológica, 1:200.000, de Portugal.

1.5- Metalogénese e recursos minerais

Sob o ponto de vista metalogénico a ZCI foi afetada por sucessivos períodos genéticos (ante-, sin- e pós Variscos) condicionados com a formação da orogenia Varisca, fazendo desta uma das mais importantes e produtivas sob o ponto de vista metalogénico, (Vieira, R., 2010), Figura 12.

	ZGTM	ZCI
Pós-		Jazigos filonianos de quartzo com metais-básicos; Jazigos filonianos com Au-Sb; Jazigos de U
Variscos		Jazigos filonianos de quartzo com Ag-Pb-Zn.
		Jazigos filonianos de quartzo com Au-Ag; Jazigos tipo skarn com scheelite; Jazigos filonianos de quartzo com Sn-W
	Pegmatitos com Nb-Ta-Sn	Pegmatitos com Sn-Li-Be
Ante-		Jazigos tipo BIF em quartzitos

Figura 12- sequência cronológica relativamente à orogenia Varisca com os principais jazigos minerais metálicos da ZGTM e ZCI (adaptado de Thadeu, 1989) em Vieira, R. 2010

Na zona de estudo é de salientar as ocorrências mineiras antigas de Ferro da Serra de Rates, Antimónio e Ouro da Lagoa Negra bem como as de tungsténio e estanho (que evidenciam uma grande distribuição quando comparadas com as restantes) a NEE da Serra de Rates.

As ocorrências mineiras de Ferro (Fe) localizam-se na vertente leste da Serra de Rates e são jazigos exógenos ligados a processos de meteorização estando espacialmente associadas a formações greso-pelíticas do Devónico inferior. O principal mineral de ferro é a limonite, geralmente compacta macroscopicamente, com minerais acessórios a goethite e a lepidocrocite.

As ocorrências de antimónio e ouro da Lagoa negra (principal matéria de estudo) são jazigos endógenos ligados a processos magmáticos associados a rochas granitóides em filões quartzosos que deram origem a uma grande exploração mineira. Definem um alinhamento NW-SE com as ocorrências no Anticlinal de Valongo, alinhamento paralelo ao Sulco Carbonífero Dúrico-Beirão.

As ocorrências de Tungsténio e Estanho são classificados do mesmo modo que as ocorrências de Antimónio e Ouro e ocorrem encaixadas em metassedimentos do Ordovícico e Silúrico definindo também um alinhamento NW-SE paralelo ao Sulco Carbonífero Dúrico-Beirão. A produção destas minas foi no conjunto de apenas 35t.

2- EXPOSIÇÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1- Envolventes dos Sistemas mineralizantes da ZCI

A ZCI representa a cintura interna do domínio orogénico Varisco constituída essencialmente por granitóides que afloraram em diferentes sequências metassedimentares e metavulcânicas com idades compreendidas desde o Neoproterozóico ao Carbónico inferior (Mateus e Noronha, 2010).

Estas litologias são importantes do ponto de vista económico pois alojam numerosos sistemas mineralizantes epigenéticos, relativamente abundantes, relacionados com a estruturação orogénica Meso- a Tardi-Varisca (de ca. 340-315 Ma a ca. 312-270 Ma, respetivamente) e apresentam como elementos fundamentais (Mateus e Noronha, 2010)

1- Sn, P e/ou Li (± Fe, Mn, Nb, Ta, W, Mo);
2- Sn e/ou W (-Cu, Mo);
3- Au-Ag (-As-Sb-Pb) ou Sb-Au (-Ag-Pb-Cu) ou Sb-Cu (-Pb-Zn) ou Pb-Sb (-Zn) ou Pb-Zn.

Este tipo de associações mineralógicas correspondem a corpos pegmatíticos, domínios de endo- ou exo-contacto, campos filonianos satélite de intrusões graníticas e preenchimentos hidrotermais polifásicos em zonas de cisalhamento e falhas, revelando uma distribuição espacial heterogénea com as rochas granitóides geradas e instaladas durante o período Meso- a Tardi-Varisco bem como as zonas de cisalhamento formadas e reativas durante o mesmo período de tempo, sendo estas as principais envolventes dos sistemas mineralizantes da ZCI condicionadas pela estruturação orogénica produzindo processos metalogénicos distintos que coexistem espacialmente (Figura 13) (Mateus e Noronha 2010).

De salientar que os fluídos crustais, que circularam durante o período Meso- a Tardi- Varisco com composições diferentes, são um interveniente importante para as mineralizações do N de Portugal. As descontinuidades tectónicas serviram como redes de drenagem de quantidades consideráveis de fluídos crustais (ocasionalmente metalíferos) com diferentes fontes de fluído envolvidos na génese de diferentes precipitados hidrotermais (Mateus e Noronha 2010).

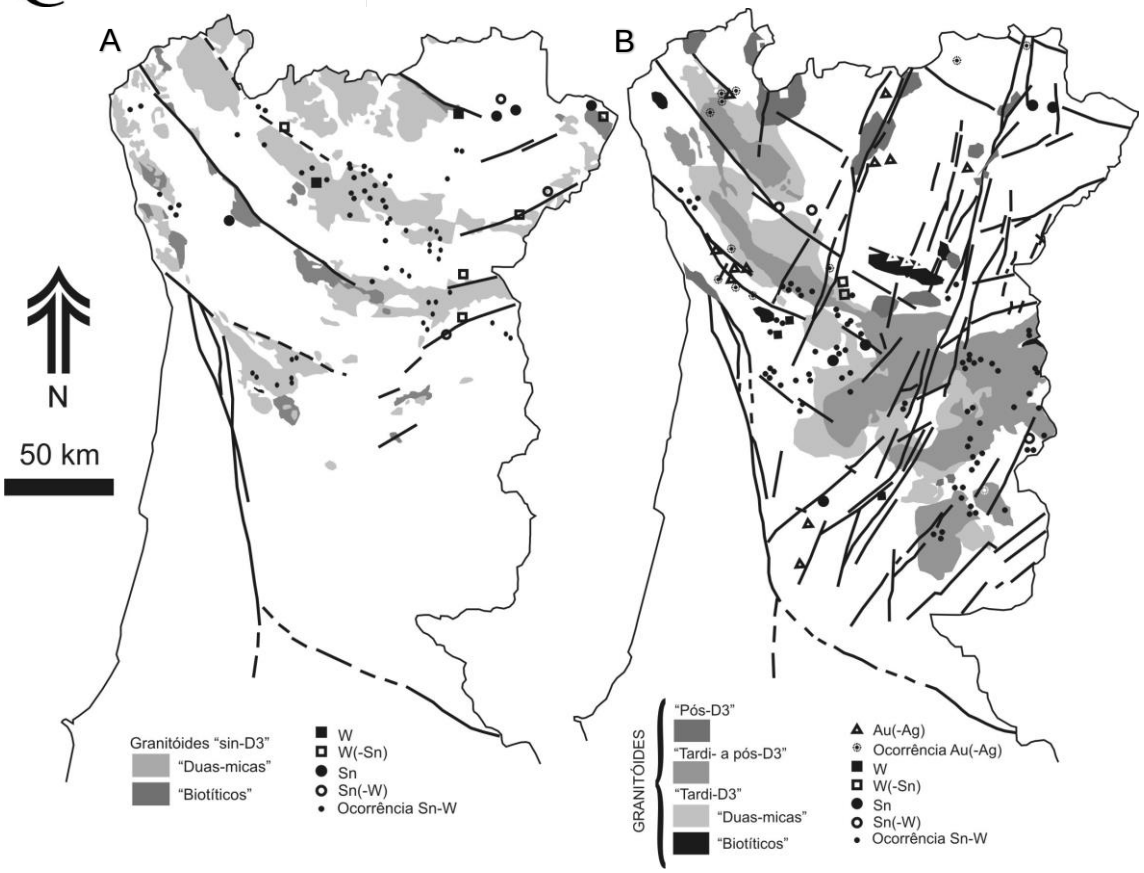


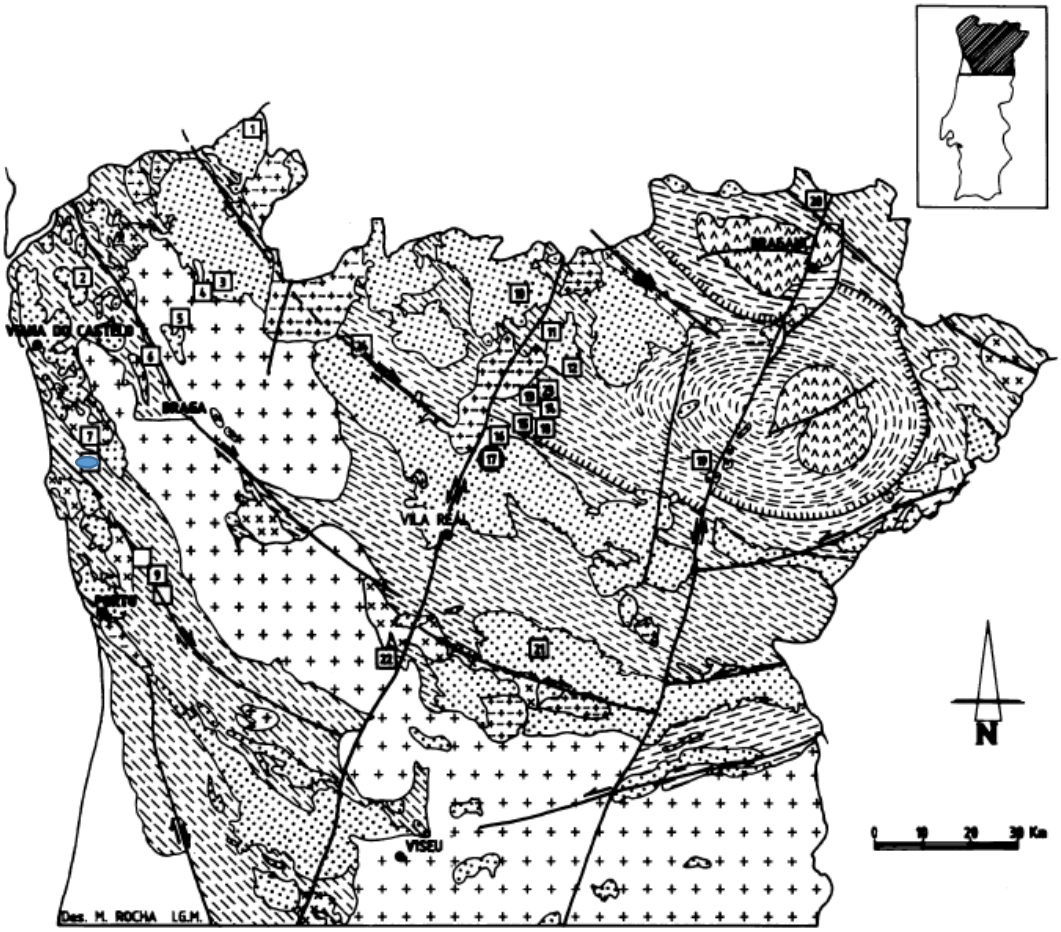
Figura 13- Distribuição dos principais sistemas mineralizantes da ZCI e sua relação espacial com os granitoides e zonas de cisalhamento "sin-D3" (A), bem como com os granitoides "tardi- a pos-D3" e desligamentos Tardi- Variscos (B). (Mateus e Noronha 2010).

2.2- Distribuição das Mineralizações de ouro do norte de Portugal

Vários foram são os autores que estudaram as mineralizações auríferas do norte de Portugal, considerando que estas são de idade Hercínica e estão relacionadas com a instalação de granitos Hercínicos bem como com a intervenção de fluidos hidrotermais (Noronha e Ramos, 1993).

Geologicamente as mineralizações de ouro são predominantemente do tipo filoniano, com ganga quartzosa, ou mais complexas, com associação do quartzo a material mais antigo de natureza aplito-pegmatítica formando filões de aspeto zonado (Noronha e Ramos, 1993).

A distribuição destas (Figura 14) não é aleatória e encontram-se associadas a grandes zonas de cisalhamento dúctil (sin-D3), tais como: 1- Sulco Carbonífero Dúrico-Beirão (com ocorrências no Monte de Faro, Lagoa Negra e Valongo); 2- Vigo-Régua- Penedono (Arga, Portelo das cabras, Penedono e Resende); 3- Peneda-Borralha-Gralheira (Gralheira e três minas), ocorrendo em diversos contextos geológicos: granitos biotíticos tardi a pós-tectónicos (Grovelas, Vila Nova da Muia), granitos de duas micas sin-tectónicos (Melgaço, Entre-Ambos-os-Rios, Monte Faro, Jales, Penedono) e rochas metassedimentares Paleozóicas (Arga, Portela das Cabras, Cerdeira, Gralheira, Três- Minas, Vale de Campo, Vale de Égua, Velhaquinhas, Penabeice, Freixeda, Valongo) (Noronha e Ramos, 1993).



1 - MELGAÇO
2 - ARGA
3 - ENTRE AMBOS OS RIOS
4 - MLÉA
5 - GROVELAS
6 - PORTELA DAS CABRAS
7 - MONTE FARO
8 - LAGOA NEGRA
9 - VALONGO
10 - POÇO DA FREITA
11 - CARVELA
12 - ARGERIZ
13 - VELHAQUINHAS
14 - VALE DE CAMPO E VALE DE ÉGUA
15 - TRÊS MINAS
16 - GRALHEIRA
17 - JALES
18 - PENABEICE
19 - FREIXEDA
20 - FRANÇA
21 - PENEDONO
22 - RESENDE
23 - JOGADOURO
24 - CERDEIRA

Legenda - Lagoa Negra

Figura 14- Distribuição das Mineralizações de ouro do norte de Portugal

2.3- Cisalhamentos Hercínicos e as mineralizações de Au no N de Portugal.

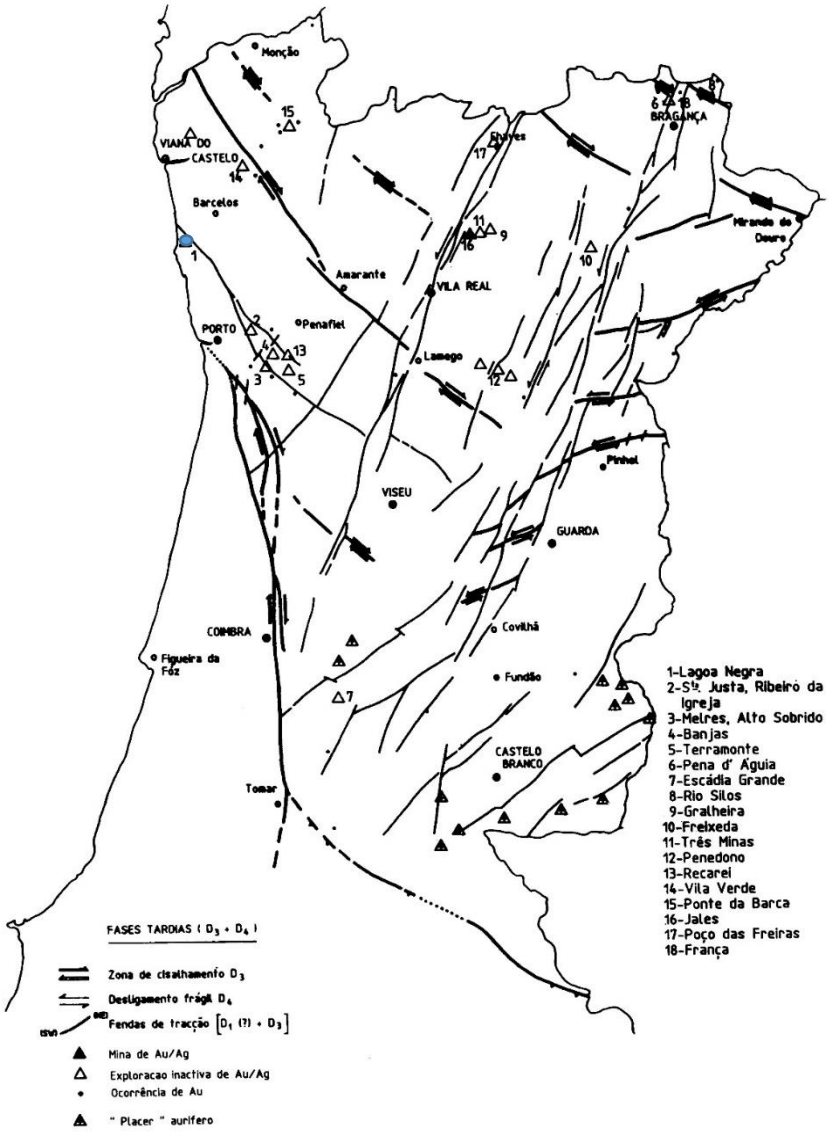
Um forte controlo estrutural ao qual não será alheio um controlo litológico provocou a mobilização de pré-concentrações de Au através de fluidos oriundos de processos metamórficos e tectónicos (Pereira et al, 1993; Couto,1993).

As mineralizações de Au, como já foi referido, estão espacialmente associadas a zonas de cisalhamento dúctil (D3) e apresentam evidências de terem sido afetadas por diversos períodos de deformação, nalguns casos o regime de deformação variou de dúctil- frágil a frágil e o essencial do seu preenchimento é posterior a D3 (Noronha e Ramos, 1993). A litologicamente as mineralizações localizam-se nos quartzitos do armoricano e nos “black shales” do ordovícico e silúrico, e mais raramente intragranito e C.X.G. (Pereira et al, 1993).

Mediante o controlo estrutural temos que a área estudada se enquadra em D1/D3 (Figura 15):

- D1/D3

Lagoa Negra, Ribeiro da Igreja, Sta. Justa, Melres e Alto de Sobrido (Sb-Au), Banjas (Pb-Zn-Au) e Terramonte (Pb-Zn-Ag) estão condicionados por cisalhamentos direitos associados à estrutura antiforma de Valongo, Boca da Caborea e Pena da Águia- Bragança (As-Au) encaixadas no Quartzito Armoricano, Escádia Grande- Serra da Lousã (As-Pb-Zn-Cu-Au), Rio Silos entre Rio de Onor e Guardramil (Fe-Au) em fendas secundárias nos filitos do Silúrico e por fim Gralheira (As-Au) intra Quartzito Armoricano.



- Lagoa Negra

Figura 15- Minas e ocorrências mineiras de Au na ZCI (Pereira et al, 1993)

2.4- Fluidos envolvidos nos processos mineralizantes

Os precipitados hidrotermais formados durante o período Meso- a Tardi- Varisco estão reconhecidos em campos filonianos satélite de corpos granitóides e ao longo estruturas de cisalhamento e de falhas. Distinguem-se diferentes fluidos em função das características químicas e condições de P-T de circulação e diferentes fontes de fluido, que contribuíram para o desenvolvimento de misturas de soluções aquosas de origem metamórfica, magmática e meteórica (Figura16) (Mateus e Noronha 2010).

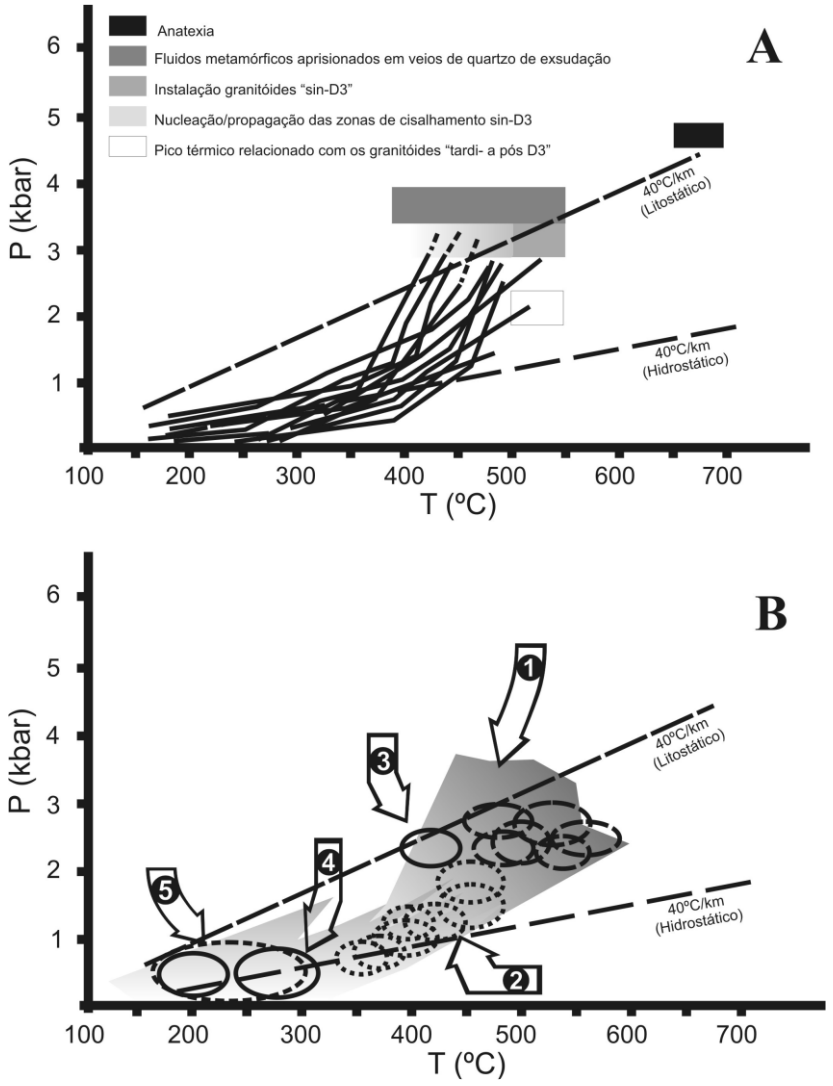


Figura 16- A: Representação esquemática da evolução P-T registada para vários sistemas geológicos localizados na ZCI, considerando os dados de inclusões fluidas. B: Condições P-T de formação dos principais sistemas mineralizantes. 1: Pegmatitos ricos em fases de Sn-, P- e Li- (Fe, Mn, Nb, Ta), aplitos contendo Sn (-W) e skarns de W; 2: Mineralizações filonianas tardias de W- (Sn) e skarns de W relacionados com granitoides "tardi- a pos-D3"; 3: Precipitados hidrotermais precoces (mais comuns) em zonas de cisalhamento reativadas; 4: sistemas Au (-Ag); 5: sistemas Pb (-Zn-Sb). Mateus e Noronha (2010).

Vários são os autores que definem quatro estádios de circulação hidrotermal nos precipitados minerais polifásicos que selam zonas de cisalhamento ou de falha (Mateus e Noronha 2010), sendo eles:

1º Estádio hidrotermal

Relacionado com a formação de agregados de quartzo leitoso- acinzentado, com minerais acessórios de apatite e arsenopirite, desenvolvidos com a instalação de diques aplíticos ao longo de estruturas NE-SW.

Fluidos de composição dominantemente aquosa, salinidade moderada e enriquecimento variável em Boro.

2º Estádio hidrotermal

Definido pelo desenvolvimento de preenchimentos maciços de quartzo leitoso com fracturação pronunciada, sucedendo-lhe a precipitação de moscovite fengítica ou carbonatos de Mg-Fe.

Fluidos de composição aquo-carbónica e salinidade baixa a moderada em diferentes condições de P-T que resultaram da mistura de fluídos magmáticos residuais com fluídos resultantes de processos metamórficos reequilibrados subsequentemente com metassedimentos carbonosos.

Os fluidos de origem metamórfica são os mais dominantes nos principais eventos de circulação.

3º Estádio hidrotermal

Este é o que tem maior importância metalogenética caraterizado pela precipitação de quartzo leitoso + clorite +/-sulfuretos +/-sulfossais +/-electrum +/- filossilicatos +/- carbonatos com deposição mineral de forma polifásica em diferentes episódios de fraturação e/ou brechificação.

A composição química dos fluídos é diferente à medida que se dá o arrefecimento progressivo do sistema, pois inicialmente estamos na presença de fluidos com caraterísticas idênticas às do segundo estádio hidrotermal, com uma componente carbónica mais empobrecida e menos salinos, que com a mistura gradual de águas meteóricas dão origem a fluxos de fluídos predominantemente aquosos de origem meteórica e de muito baixa salinidade.

4º Estádio hidrotermal

Relacionado com a deposição de várias gerações de quartzo que selam diferentes famílias de veios e filonetes determinantes na génese de mineralizações de Zn-Pb.

Os fluídos intervenientes neste estádio hidrotermal são quimicamente diferentes dos outros estádios, com salinidades moderadas a elevadas e enriquecimento significativo em Ca (e Mg). Estes fluidos representam o rejuvenescimento/evolução hidrotermal no soco varisco, ficando em aberto se marcam os registos tardi- variscos ou registos de atividade Eo-Alpina.

A circulação de fluídos resultantes de misturas de soluções aquosas meteóricas definem um papel importante na evolução das mineralizações de Au-Ag (-As-Sb-Pb), Sb-Au (-Ag-Pb-Cu) e Sb-Cu (-Pb-Zn) (Mateus e Noronha 2010).

2.5- Jazigos de Au do tipo orogénicos e associados a intrusão

São vários os tipos de jazigos que dão origem a diferentes concentrações anómalas de sistemas mineralizantes auríferos.

Temos jazigos de Au do tipo orogénico (ou mesotermais), jazigos de Au epitermais e os jazigos de Au associados a intrusão, também como subproduto dos pórfiros de Cu, dos Skarns de Cu-Au (produto principal nos Skarns de Au), jazigos vulcanogénicos de sulfuretos maciços (VMS), jazigos de sulfuretos magmáticos de Ni-Cu, jazigos de U do tipo discordante, entre outros. A distinção de jazigos de Au do tipo orogénico dos jazigos auríferos associados a intrusão nem sempre tem sido fácil (Inverno, 2011).

2.5.1- Jazigos de Au do tipo Orogénico (mesotermais)

Lindgren, (1933), inicialmente definiu que a génese deste tipo de jazigos seria a profundidades entre os 1 a 4,5 Km a temperaturas que rodavam os 200-300ºC, mais tarde, Groves et al (1998), definiu que se formavam em intervalos de temperatura e profundidade mais amplos, profundidade até cerca de 20 Km, temperaturas entre 150 a 700ºC a pressões de 0.5 a 6 Kbar.Com o contributo de Goldfarb et al. (2005) os jazigos de Au mesotermais são divididos em, epizonais, formações até 6 Km de profundidade com temperaturas entre os 150-300ºC, mesozonais, profundidade entre os 6-12 Km e 300-475ºC e por fim os hipozonais, profundidades superiores a 12 Km, até cerca de 20 Km, com temperaturas superiores a 475ºC (Figura 17) (Inverno, 2011).

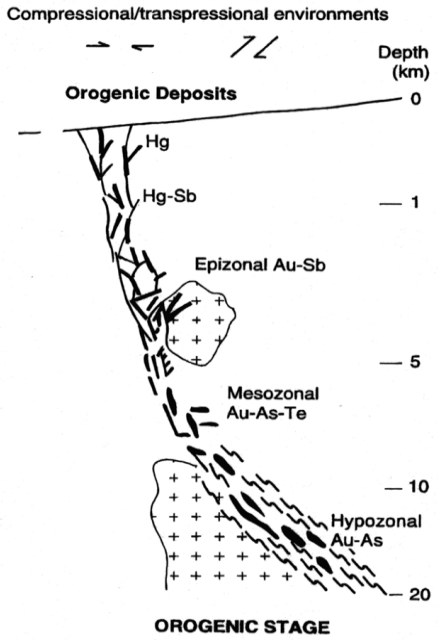


Figura 17- Profundidade de formação e ambiente estrutural dos jazigos de ouro mesotermais (ou orogénicos), formados nas margens de placas convergentes, Groves et al (1998).

Inicialmente denominados por jazigos de ouro mesotermais, Groves et al. (1998) inspirado em Bohlke (1982) passa a denomina-los por jazigos de Au do tipo orogénico, visto que são formados em contexto de placas convergentes.

2.5.1.1- Caraterísticas gerais

Os jazigos de ouro orogénicos são formados ao longo de margens convergentes, junção arco-fossa, durante a acreção de terrenos do lado do mar em relação às margens cratónicas antigas ou aquando da colisão continente-continente (Figura 18). Goldfarb et al (2001) salienta que a velocidade e os ângulos de convergência, das placas litosféricas, favorecem a formação deste tipo de jazigos (Inverno, 2011).

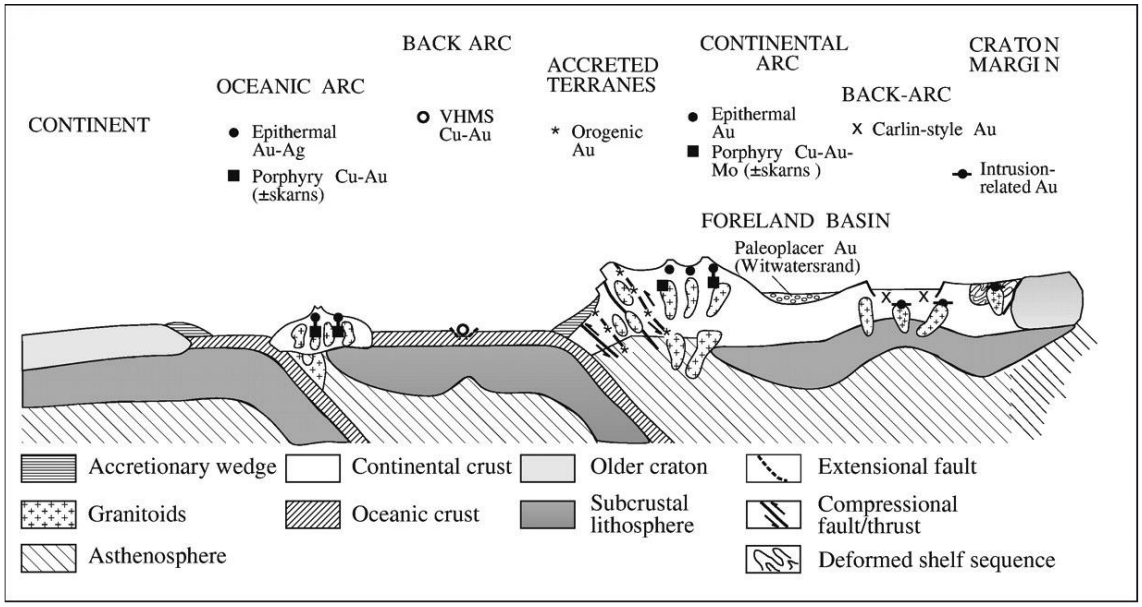


Figura 18- Diagrama esquemático do ambiente geotectónico de vários tipos de jazigos de ouro, incluindo os jazigos de ouro orogénicos e os jazigos de ouro associados a intrusão de Groves et al., 2005, (Inverno, 2011)

Este tipo de jazigos (orogénicos) ocorrem geralmente nas proximidades (ou no interior) de um “stock” intrusivo de rochas ácidas porfiríticas ou em níveis pouco espessos de rocha vulcanoclástica ácida, o minério (Au) também está presente na interface vertical ou lateral de rochas vulcânicas ou sedimentares que, por vezes, definem um alinhamento, falha ou zona de cisalhamento regional por norma paralelo ou sub-paralelo à estratificação nos terrenos vucânicos do Pré-câmbrico e nas margens dos terrenos acrescidos do Paleozóico, associados a zonas de falha e cisalhamentos secundários (Inverno, 2011).

Metamorficamente a rocha na qual está alojada a mineralização sofreu o efeito de metamorfismo regional, associada à fáceis dos xistos verdes e fácies anfibolítica superior (Figura 19) (Inverno, 2011).

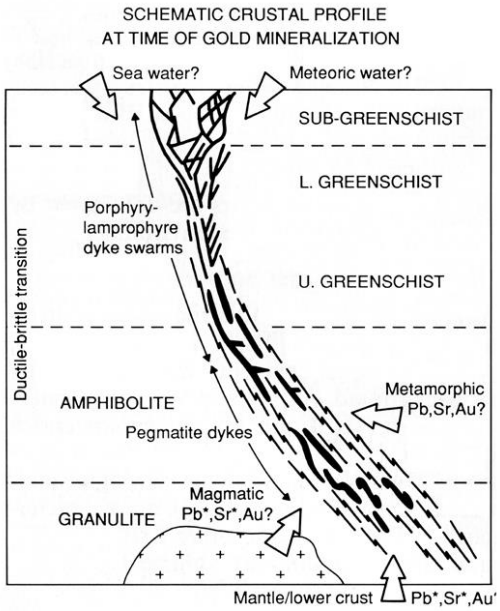


Figura 19- Hipotético sistema hidrotermal contínuo, em diferentes níveis da crusta, até 25 Km de profundidade com a origem (setas) de possíveis fluidos mineralizadores dos jazigos de Au do tipo orogénico de Groves (1993), (Inverno, 2011).

Jazigos formados numa fase tardia de uma determinada orogénese onde raramente existe um sincronismo entre a deposição de ouro e a instalação de intrusões graníticas. Mineralogicamente o minério é constituído essencialmente por 70 a 95% de quartzo, carbonatos, feldspato alcalino (albite), sericite e clorite, contendo electrum e ouro nativo (fino e grosseiro), por vezes visível a olho nu. Contém ainda, pirite e pirrotite, a arsenopirite (quando presente) pode conter os valores mais elevados de Au ou é estéril (Figura 20) (Inverno, 2011).

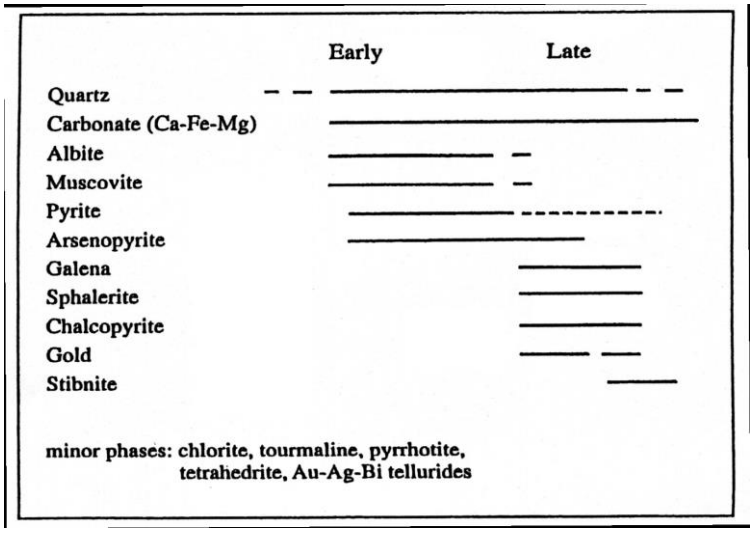


Figura 20- Sequência paragenética genérica dos jazigos de ouro orogénicos do Fanerozóico de Bierlein and Crowe (2000), (Inverno, 2011).

Au - Fe - As - B ± Sb ± Bi ± Hg ± Cu ± Pb ± Zn ± Te ± W ± Mo ± Ag é a associação geoquímica (Inverno, 2011).

O modelo genético mais aceite é o modelo denominado por modelo contínuo da crusta, baseado no modelo meteórico (águas meteóricas circularam até grandes profundidades, constituindo o fluido hidrotermal mineralizante de ouro), verifica a existência deste tipo de mineralização em terrenos de fácies metamórficas desde a prenite-pumpeleite, passando pelas fáceis dos xistos verdes e amfibolítica, até à fácies granulítica. O minério seria depositado desde, veios nas fendas de tração e brechas nos jazigos de fáceis de prenite-pumpeleite, zonas de cisalhamento e/ou veios associados nas fácies intermédias, até zonas de cisalhamentos dúcteis largos e veios associados nos jazigos que variam desde a fácies anfibolítica intermédia até à fácies granulítica (Figura 21), (Inverno, 2011).

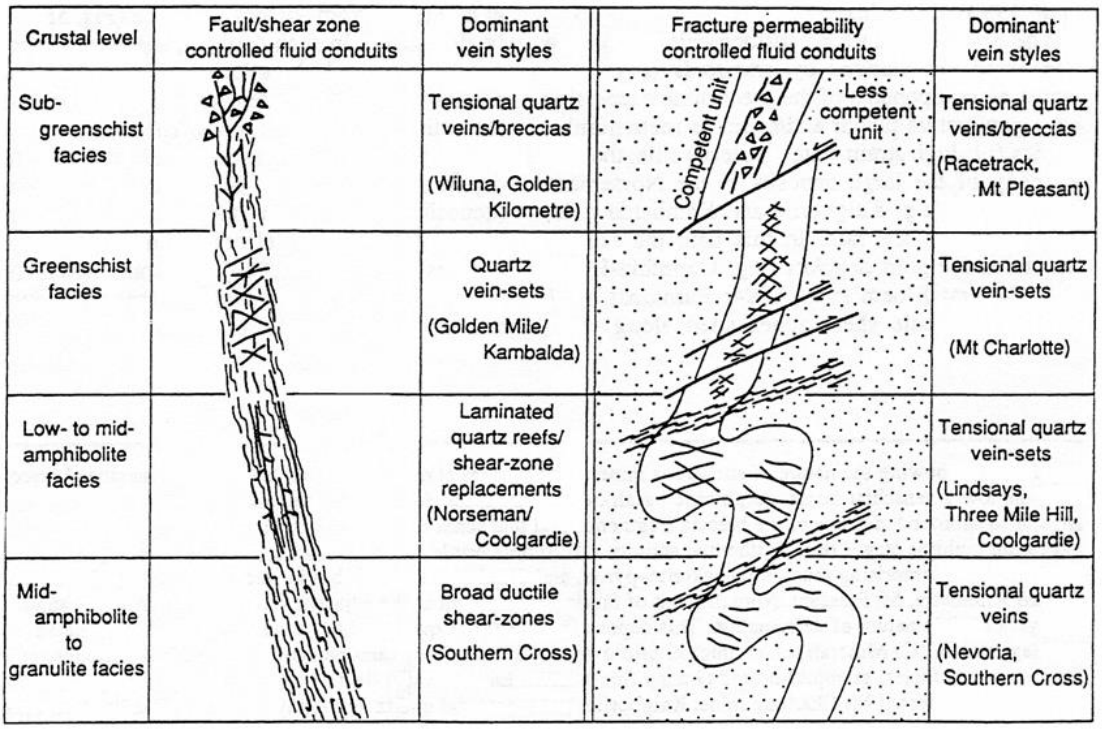


Figura 21- Hipotético sistema hidrotermal contínuo, em diferentes níveis da crusta, até 25 Km de profundidade, com os estilos tectónicos e diferentes tipos de filões de quartzo auríferos em diferentes níveis da crusta de Groves et al (1995), (Inverno, 2011).

2.5.2- Jazigos de ouro associados a intrusão

Os jazigos de ouro associados a intrusão contêm diversas semelhanças com os jazigos de ouro do tipo orogénico, mas muitas outras são distintas.

Na maioria dos casos este tipo de jazigos são de idade Fanerozóica, ocorrem em províncias de W e/ou Sn (menos frequentemente), distais das margens convergentes, localizadas em margens cratónicas em posição para o interior do continente relativamente aos jazigos de pórfiros de Cu-Au-Mo e epitermais de Au ou em "back-arc" (Figura 18), podem ainda ocorrer em ambientes de colisão continental (associados a zonas de subducção com intrusões a poucas centenas de quilómetros das mesmas) (Inverno, 2011).

2.5.2.1- Caraterísticas gerais

Encontram-se encaixados quer na própria intrusão, quer no exo-contato (jazigos proximais) ou mais distais relativamente à intrusão (a 0,5-3 Km), encaixados geralmente em xistos ou rochas vulcânicas (Figura 22).

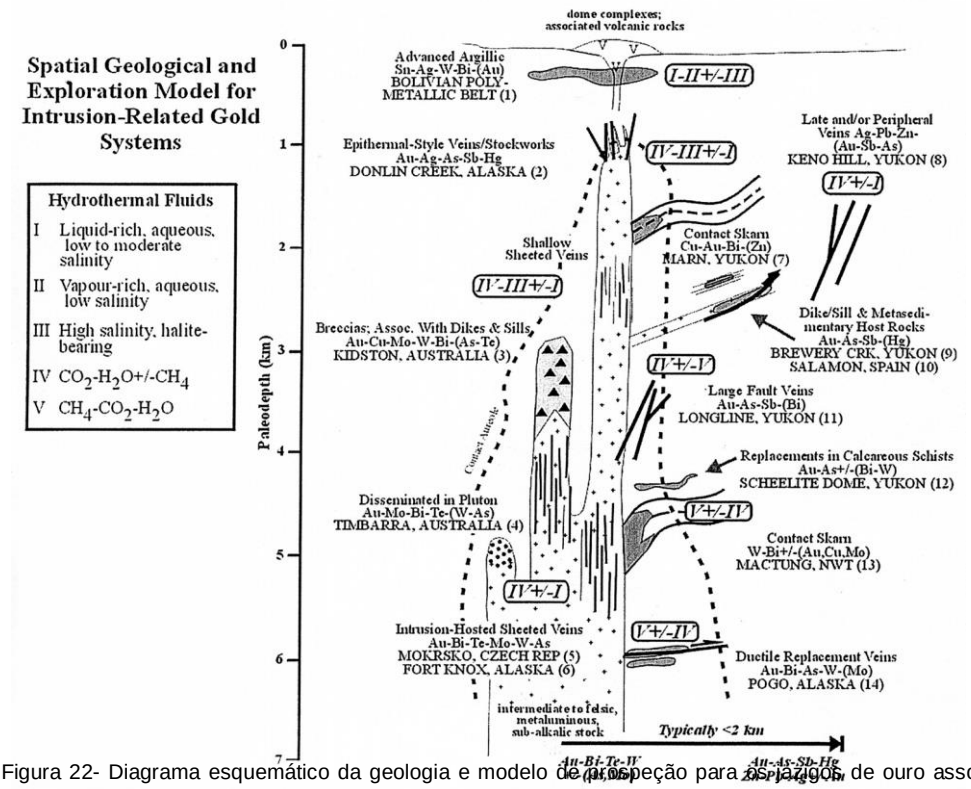


Figura 22- Diagrama esquemático da geologia e modelo de prospeção para os jazigos de ouro associados a intrusão com variação vertical e lateral nos estilos dos jazigos, características dos fluidos e assinaturas metálicas de Lang and Baker (2001), (Inverno, 2011)

As intrusões são de composição granítica a granodiorítica dando origem a grandes batólitos, pequenos plutões e pequenos “stocks” e domos porfiríticos, diques e filões-camada. Plutões predominantemente metaluminosos a peraluminosos (pouco expressivo), calco-alcalinos ou sub-alcalinos. Da série da ilmenite ou da transição entre a série da ilmenite e a da magnetite, acrescentando o facto de serem granitóides do tipo I (raramente do tipo S) As fases mais félsicas (enriquecidas em Au) evidenciam a saturação de fluidos com a formação de pegmatitos, aplitos, cavidades miarolíticas e texturas de solidificação unidirecionais. As falhas transpressivas, cavalgantes, ou de desligamento são comuns neste tipo de jazigos, sugerindo em alguns casos o controlo da sua orientação por tensões regionais compatíveis com a orientação das falhas. (Inverno, 2011).

Metamorficamente os jazigos estão situadas em terrenos que sofreram metamorfismo regional, desde a fáceis sub-xistos verdes até à fáceis anfibolítica. Por efeito do metamorfismo de contato nas rochas encaixantes, as intrusões graníticas estão rodeadas por corneanas, normalmente aluminosas, e uma auréola de contato formada por xistos até 3-4 Km de distância dos plutões (Inverno, 2011).

Na generalidade dos casos a intrusão é contemporânea da mineralização, formada num estádio tardio da orogénese após o pico de metamorfismo regional com a seguinte associação mineralógica: Au – Bi – As – W- Mo – Te – Sb ± Sn ±(Pb, Zn, Ag, Hg distais) e forte zonagem metálica lateral dos metais predominantes, os jazigos encaixados na intrusão contêm Au – Bi – Te – W ± (Mo, As, Pb), os jazigos proximais contêm Au – As ± (Sn, W, Sb, Cu, Pb, Zn) e os jazigos distais contêm Au – As –Sb– Hg± (Ag, Pb, Zn) (Figura 23) (Inverno, 2011).

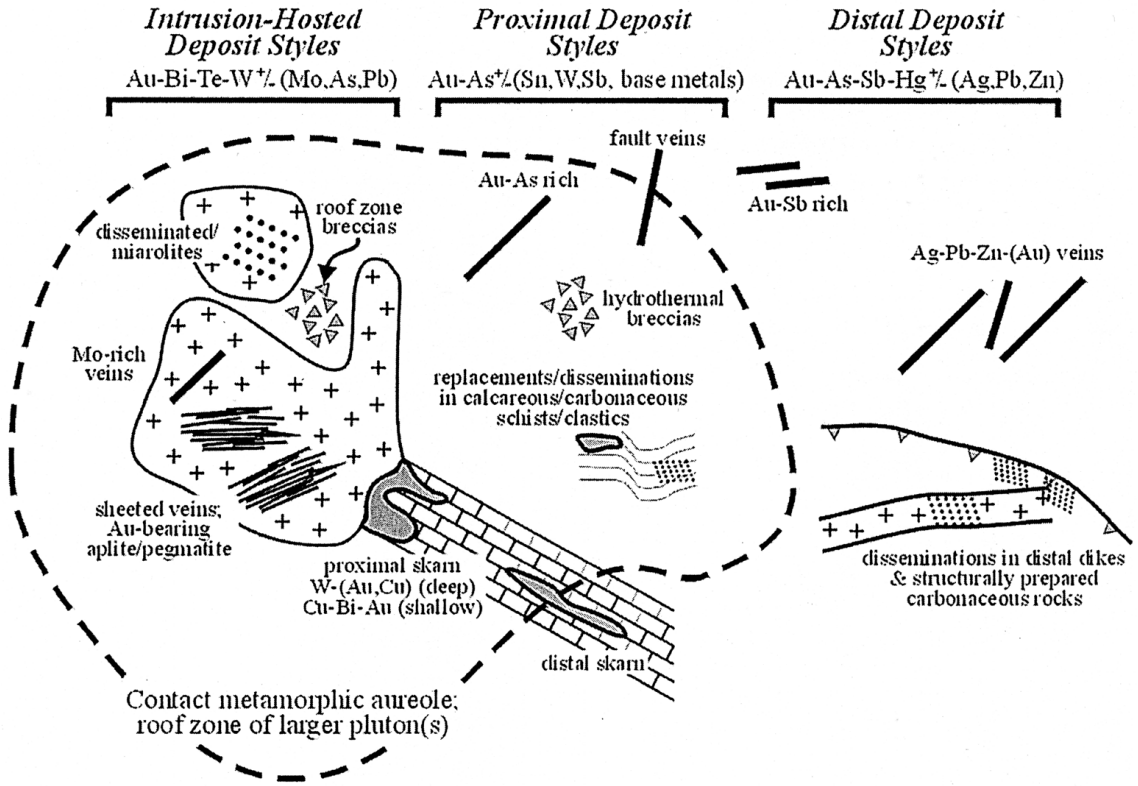


Figura 23- Diagrama esquemático da geologia e de modelo de prospeção para os jazigos de ouro associados a intrusão com a variação nos estilos dos jazigos, desde os encaixados na intrusão, passando pelos jazigos proximais e até aos jazigos distais. (Inverno, 2011).

2.5.3- Caraterísticas distintivas dos jazigos de Au do tipo orogénico (mesotermais) com jazigos de Au associados com intrusão

Thompson et al (1999), Thompson and Newberry (2000), Lang and Baker (2001), Groves et al (2003) e Goldfab et al (2005), foram os autores que traçaram as diferenças mais distintivas entre os dois tipos de jazigos:

- Jazigos de Au associados a intrusão ocorrem em províncias de W e/ou (menos frequente) de Sn, o que não acontece (geralmente) com os jazigos de Au do tipo orogénico;

- Jazigos de Au associados a intrusão usualmente possuem teores de 1-4 g/t Au, teores inferiores que a maior parte dos jazigos de Au do tipo orogénico, com 7-12 g/t Au;

- A génese dos jazigos de Au do tipo orogénico acontece numa fase sin.orogénica tardia, os jazigos de Au associados a intrusão formam-se numa fase pós-téctónica da orogenia;

- Jazigos de Au do tipo orogénico apresentam um caráter uniforme, raramente zonado, jazigos de Au associados a intrusão apresentam um zonamento, no estilo de mineralização e associação metálica, verticalmente e horizontalmente (no tempo e no espaço) no interior e nas redondezas da intrusão;

- Boa correlação de Bi-Au e concentrações superiores a 100ppm de Bi (em muitos casos acima de 1000ppm Bi são caraterísticas dos jazigos de Au associados a intrusão, caraterísticas que não se verificam nos jazigos de Au do tipo orogénico;

- Desenvolvimento mais expressivo dos produtos de alteração hidrotermal nos jazigos de Au do tipo orogénico, nos jazigos de Au associados a intrusão é mais restrito;

- Ambos os tipos de jazigos de Au possuem uma semelhança, alteração sericítico-carbonatada a pequena profundidade, mas nos jazigos de Au do tipo orogénico as micas são menos grosseiras e o carbonato dominante é a dolomite ferrífera (e siderite), enquanto que, nos jazigos de Au associados a intrusão as micas são mais grosseiras, de composição mais próxima da moscovite e com calcite e dolomite, como carbonatos dominantes;

- Nos jazigos de Au associados a intrusão a alteração do feldspato potássico é mais expressiva;

- Ambos os jazigos de Au são formados num contexto de placas convergentes, mas, os jazigos associados a intrusão formam-se para o interior do continente relativamente à zona de subducção e os do tipo orogénico formam-se na própria margem continental.

- Deriva (essencialmente) magmática de CO2 nos fluidos geradores de mineralizações de Au associados a intrusão, para as mineralizações de Au do tipo orogénico a deriva de CO2 nos fluídos é essencialmente metamórfica. Fluidos de baixa salinidade para os primeiros o que não acontece para o segundo tipo de jazigos de Au.

2.6- Mineralizações de Sb-Au da Região Dúrico-Beirã

As mineralizações de Sb-Au surgem em formações pouco metamorfizadas da estrutura anticlinal Dúrico-Beirã (anticlinal de Valongo) associadas a um estreito sinclinal Carbonífero. Os filões mineralizados são geralmente pouco espessos (≤1m), de desenvolvimento longitudinal, regra geral, a não ultrapassar os 200m, essencialmente constituídos por ganga quartzosa. As explorações auri-antimoníferas situam-se, preferencialmente, no flanco inverso, nas proximidades do cavalgamento do Carbonífero sobre o pré-Câmbrico (Figura 24), (Couto, 1993).

Na região Dúrico-Beirã ocorrem quatro tipos paragenéticos distintos, Sb-Au, Au-As, Pb-Zn-Ag e W-Sn, que correspondem a duas sequências paragenéticas distintas, (Couto,1993), (Couto, 2010):

- Uma mineralização Hercínica, dominada pelas mineralizações de Au-As e Sb-Au que resultam de um mesmo processo metalogénico. A associação Sb-Au é composta por 4 estádios mais um de remobilização e na associação Au-As o primeiro estádio (Ferri-arsenífero) é dominante.

- Uma mineralização pós-Hercínica, com Pb-Zn ou Pb-Zn-Ag, mais tardia, que correspondem a uma sobre-imposição de fluidos plumbi-zincíferos sobre mineralizações de Sb-Au preexistentes, segundo as mesmas direções de filões de Sb.

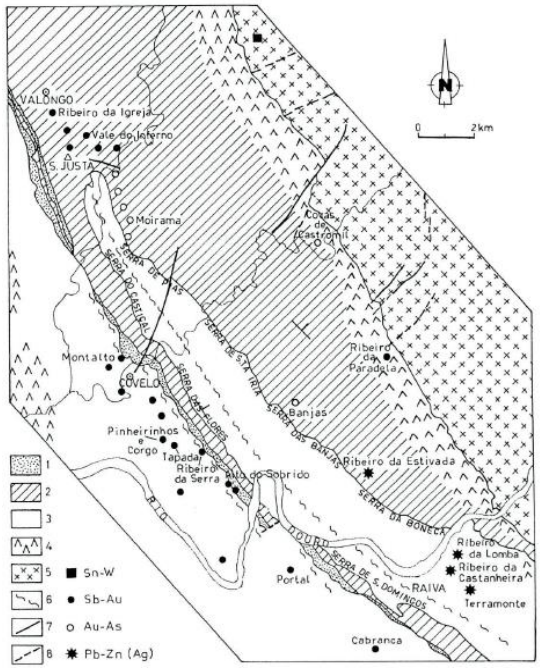


Figura 24- Mapa de distribuição dos jazigos de Sb-Au na região Dúrico-Beirã. 1- Carbonífero; 2- Ordovícico a Devónico; 3- Pré-Câmbrico e ou Câmbrico?; 4- auréola de contato; 5- Granitóides sin-orogénicos biotíticos tardi F3 e tardi a pós F3; 6- Cisalhamento; 7- Falha; 8- Falha provável, Couto (1993).

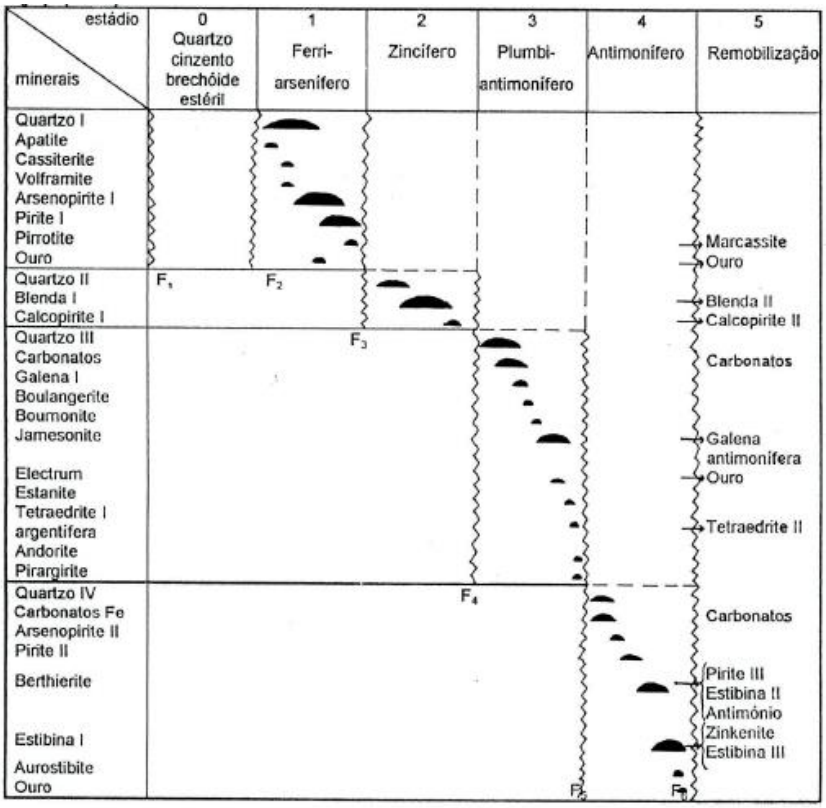
Os filões mineralizados em Sb-Au (de sequência paragenética mais completa) obedecem a um esquema clássico de evolução das mineralizações filonianas peribatolíticas de Oelsner (1965), de sequência paragenética com quatro estádios mais um estádio de remobilização. A sucessão traduz uma ordem bem definida de depósito dos minerais sob a forma sulfurosa (Quadro 1):

1º Estádio ferri-arsenífero: Fe é dominante, com um decréscimo da sua concentração relativa para o final do depósito.

2º Estádio zincífero: Presença de cobre e zinco, característico.

3º Estádio plumbi-zincífero: Chumbo dominante, com alguma prata e presença de sulfossais de Sb.

4º Estádio antimonífero: Antimónio dominante.



Quadro 1- Exemplo de Sucessão paragenética e evolução geoquímica das mineralizações de Ribeiro da Igreja (Sb-Au), Couto (1993)

2.6.1- Controlo das mineralizações

As mineralizações de Sb-Au da região Dúrico-Beirã obedecem a um controlo estrutural e litoestratigráfico (Couto, 1993).

Estruturalmente este é exercido através de fraturas relacionadas com o dobramento anticlinal e condicionado por zonas de cisalhamento, nomeadamente os bordos do sinclinal Carbonífero. Os jazigos filonianos ocupam fraturas de direção dominantemente (E)NE-(W)SW e E-W transversais ao Anticlinal de Valongo e ao Sinclinal Carbonífero. A zona de cisalhamento do Douro (ZCD- bordo W do sinclinal Carbonífero) tem direção N150º, ativa durante sucessivas fases de deformação, que controla particularmente os jazigos de Sb-Au nas proximidades do mesmo, como acontece nas mineralizações de Sb-Au de Montalto e Alto de Sobrido (Couto, 1993).

Litoestratigraficamente as mineralizações ocorrem nas zonas de alternâncias de bancadas mais ou menos competentes e em alguns níveis de grauvaques quartzosos. Os metalotetos a ter em conta são: no Precâmbrico ou Câmbrico?, os conglomerados da associação litológica superior da Unidade de Montalto, com pré-concentração em Sb e os níveis vulcânicos da associação litológica inferior da Unidade de Montalto, no Ordovícico, os níveis vulcano-sedimentares do Arenigiano, com pré-concentrações em Au e Sb e no Carbonífero, a brecha de base que apresenta os teores mais elevados em Au, Sb e Pb (Couto, 1993; Couto & Borges, 2005).

2.6.2- Préconcentrações de Au em rochas de idade Ordovícica

Préconcentrações metálicas (Au-As-Sb) ocorreram durante os processos de sedimentação do Paleozóico, no Pré-Câmbrico/Câmbrico ? e/ou em camadas de idade Câmbrica com evidências de vulcanismo, na estrutura vulcano-sedimentar do Ordovícico inferior e na brecha de base do Carbonífero, (Couto & Borges, 2005).

O controlo litoestratigráfico mais evidente, nas mineralizações do distrito mineiro Dúrico-beirão faz-se nos depósitos de Au-As, em sequências do Arenegiano, caraterizado pela presença de sedimentação vulcanogénica e camadas negras com matéria orgânica, controlo que não é tão evidente nas mineralizações de Au-Sb da região, (Couto & Borges, 2005; Couto & Moelo 2011).

As relações genéticas entre as mineralizações e as rochas de idade Ordovícica devem-se segundo 3 fatores definidos por Couto et al (2003): 1º- Caráter mecânico (competência das rochas), 2º- Reações topoquímicas entre os fluidos mineralizantes e as camadas negras de matéria orgânica e sulfuretos disseminidos, 3º- existência de concentrações metálicas nas alternâncias do Arenegiano, (Couto & Borges 2005).

Em Valongo as rochas do Ordovícico inferior, ricas em chamosite e siderite, contém duas gerações distintas de Pirite e arsenopirite, uma de origem singenética e outra epigenética. A interação das soluções hidrotermais com minérios de ferro oolitíco (Chamosite e siderite) causam a sulfuritização desses minérios, a matéria orgânica induz a redução das soluções e a dissolução da siderite provocou um aumento do Ph, tais mudanças químicas induziram a ligação do enxofre (em solução) com o ferro precipitando sulfuretos ferrosos, principalmente pirite (Couto & Moelo 2011).

A presença de evidências de actividade vulcânica singenética e de Pirites e Arsenopirites auríferas singenéticas, definem uma contribuição detrítica do Au nos “ironstones” do Ordovícico formando mineralizações estratiformes singenéticas idênticas a formações em bandados ferrosos aprisionando Au (Couto & Moelo 2011).

2.6.3- Granitos associados às mineralizações auríferas

Couto (1993) considera que as mieralizações do distrito mineiro Dúrico-Beirão não estão relacionados com os granitos aflorantes da região mas sim com um “apexe” granítico oculto.

A localização dos depósitos auríferos encontram-se, principalmente, relacionados através de controlos estruturais e litoestratigráficos que se fazem sentir na região, contudo, estes sugerem uma estreita relação genética indireta entre os filões de Sb-Au e um granito não aflorante, que funcionou como fonte de calor melhorando a circulação dos fluidos hidrotermais.(Couto et al.2007).

Os depósitos de Sb-Au da região Dúrico-Beirã sugerem uma relação genética entre as mineralização e intrusões graníticas funcionando como “gatilho” da atividade hidrotermal e/ou fonte magmática dos fluídos, metais e sulfuretos. A hipótese de enriquecimento dos fluídos hidrotermais através da lixiviação de concentrações metálicas das rochas circundantes é a mais aceite nos trabalhos relacionados com as mineralizações de Sb-Au no norte de Portugal .(Couto et al.2007).

3- METODOLOGIA

Este trabalho realizado na área de Lagoa Negra resultou de trabalho de campo integrado nos trabalhos de prospeção levados a cabo pela empresa mineira Klondike Gold Corporation na concessão de Balazar.

Numa primeira fase toda a informação referente à cartografia geológica, militar, e dados geoquímicos foram introduzidos numa base de dados georreferenciada (SIG).

3.1- Integração dos dados

Inicialmente os dados disponíveis foram a cartografia geológica à escala 1:50.000 e a cartografia militar portuguesa à escala 1:25.000, sobre a qual foi feita a respetiva digitalização.

Posteriormente e com o apoio do LNEG (Laboratório Nacional de Energia e Geologia) foi disponibilizado um relatório do BRGM, consórcio Baixo Douro (EDM/ECD/SEREM), do qual foram extraídos dados sobre sedimentos de corrente e campanha de bateia realizados na área de trabalho.

Os dados referentes aos sedimentos de corrente foram fornecidos em papel, dados que com o devido tratamento foram adicionados ao projeto SIG (Sistema de informação Geográfica) sob a forma de “shapefile”, bem como os dados referentes à campanha de mineralometria (bateia).

3.2 Os SIG e a seleção de áreas com potencial

Os SIG possibilitam a organização da informação espacial por temas e, de forma expedita, efetuar operações que permitem definir zonas de maior potencial, executar pesquisas por áreas, obter pesquisas cronológicas e visualizar o seu resultado de forma gráfica. A base de dados criada pode ser constantemente atualizada, possibilitando uma visão global e evolutiva da área alvo de estudo. A metodologia a desenvolver para a seleção de áreas com potencial através da utilização de uns SIG envolve geralmente 6 fases de trabalho (Sobreiro, 2010).

1- Recolha bibliográfica e aquisição de informação disponível:

Consiste na aquisição de informação relevante para o estudo, nomeadamente a cartografia geológica, cartografia militar, fotografia aérea, artigos científicos, bem como a aquisição de relatórios de prospeção antigos na área alvo.

2- Entrada e armazenamento dos dados (Input):

A informação recolhida é introduzida num programa SIG e transformada em formato vetorial (localização dos elementos no espaço) de forma a poder relacionar a informação entre si.

3- Organização dos dados e seleção dos dados mais relevantes:

A organização da informação deve ser efetuada por áreas temáticas tais como, a geologia, o controlo estrutural, concessões mineiras antigas e recentes, o tipo de acessos, bem como todos os outros elementos de interesse para o estudo.

4- Análise e avaliação dos dados:

Esta é desenvolvida em 4 sub-fases, nomeadamente:

4.1- Seleção das litologias com interesse para o estudo;

4.2- Cruzamento das litologias com as diversas condicionantes de forma a adquirir áreas com potencial.

4.3- Realizar trabalho de campo para validar a informação existente.

No trabalho de campo é necessário avaliar o interesse económico das litologias, através de prospeção e pesquisa (sanjas, poços, sondagens mecânicas e recolha de amostras para análise físico-mecânica e/ ou química), selecionar os melhores acessos às áreas e verificar a possível presença de obstáculos ambientais para uma futura área mineira (presença de edificações nas proximidades e qualidade visual da área de estudo).

4.4- A informação obtida no trabalho de campo é inserida na base de dados, sendo necessário voltar a relacionar a informação de modo a obter áreas com as litologias desejadas e sem condicionantes.

5- Hierarquização de áreas com potencial e pesquisa dos resultados:

Por base com os objetivos inicialmente definidos para a seleção de áreas com potencial, é efetuada uma pesquisa na base de dados e selecionadas áreas com potencial hierarquizado de acordo com os objetivos definidos.

6- Saída dos resultados (output)

A saída dos resultados pode ser feita através de peças desenhadas, relatórios, gráficos e imagens.

3.3- SIG: o exemplo do software ArcGIS

Um SIG é um sistema baseado nos computadores que serve para manipular e armazenar informação geográfica, e foi desenvolvido para recolha, armazenamento e análise de dados onde a localização geográfica é uma caraterística essencial para a análise desses mesmos dados.

Este deve ter a capacidade para lidar com dados geográficos nos seguintes aspetos: capacidade de adquirir, inquirir, manipular, integrar, armazenar e apresentar, respondendo sempre às seguintes questões:

– O que está num dado local?

– Onde estão objetos com determinadas características?

– O que está próximo de...?

– O que acontece se...?

– O que resulta se combinar dois conjuntos de dados?

3.3.1- Acerca do ArcGIS e as suas ferramentas

O ArcGIS é um software desenvolvido pela ESRI (Environmental Systems Research Institute) utilizado para a criação de SIG e tem como principais pontos fortes:

- Utilizar várias projeções cartográficas;

- Editar dados tabulares, possibilitando a inclusão de novos dados nas tabelas alfanuméricas, a exclusão de itens existentes e a alteração dos valores armazenados;

- Relacionar tabelas;

- Digitalizar dados vetoriais no ecrã ou através de uma mesa digitalizadora;

- Analisar espacialmente dados vetoriais e raster;

- Processar imagens de satélite;

- Processar redes geográficas;

- Processar dados 3D;

Este software incorpora cinco componentes principais: ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox, ArcGlobe e ArcScene.

- ArcMap: Criação e interação de mapas temáticos. As informações geográficas são visualizadas, editadas, analisadas e consultadas de forma interativa. Os mapas criados são construídos sobrepondo vários temas (Layer) ou dados (Shapefiles).

- ArcCatalog: Semelhante ao Windows Explorer, permite navegar nos diretórios para criar, procurar, pré-visualizar, documentar e organizar dados adaptando-os às informações geográficas.

- ArcToolbox: Funciona como uma “caixa de ferramentas” de SIG utilizada no geo-processamento. Destacam-se as análises espácias e estatísticas, criação e cálculo de rasters, definição de projeções geográficas, criação de “Buffers” entre outros.

- ArcGlobe: Semelhante ao ArcMap, mas apresenta a informação numa visão 3D, as “Layers” são associadas a uma fonte de dados tridimensional em comum.

- ArcScene: visualização de mapas e criação de animações numa apresentação dinâmica de dados.

Todos estes componentes trabalham em conjunto e são complementares para a construção de um SIG, sendo o ArcMap, ArcCatalog e o ArcToolbox os aplicativos de maior utilidade.

3.3.2- Modelos de dados geográficos

O tipo de dados utilizados são de dois tipos, os dados vetoriais e os raster (Figura 25).

Os dados vetoriais correspondem a dados cujas coordenadas de pontos e a sequência de coordenadas de vértices de linhas permitem definir a forma e posição dos objetos representados. Os atributos são guardados numa base de dados.

Aquisição de dados vetoriais é feita essencialmente através de GPS, Mesa Digitalizadora e Digitalização sobre a imagem previamente georreferenciada.

Os dados raster correspondem de forma geral a uma estrutura “Array” (matriz), onde o espaço retangular do mapa é dividido em quadrículas (grid), onde para cada uma delas é armazenado o valor da variável em questão.

Este tipo de dados é obtido através de sensores ou scâner e gerados por cálculo (interpolação, classificação, etc..).

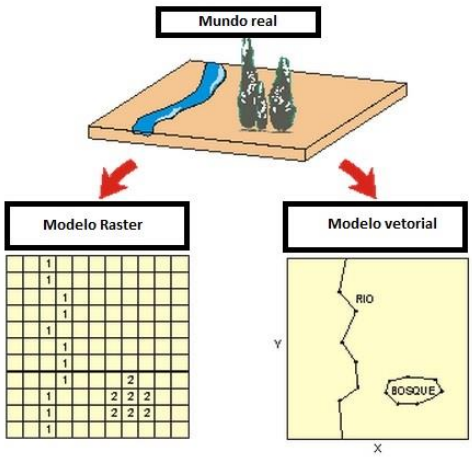


Figura 25- Diferença entre os dados raster e dados vetoriais.

3.4- Prospeção geoquímica

A prospeção geoquímica é muito utilizada nas campanhas de prospeção e tem como principal objetivo a localização de zonas ("targets") mineiras potencialmente económicas. É baseada na análise sistemática de uma ou de várias propriedades químicas do material formado naturalmente (rochas, solos, gossans, sedimentos de glaciares, vegetação, sedimentos de rios e lagos etc…) com o objetivo de definir uma distribuição anómala dos elementos visando distinguir um depósito rico com valores anómalos de um depósito sem interesse (Neto & Rocha, 2010).

3.4.1- Definições básicas

O clarke é o teor médio crustal de um determinado elemento químico, sendo a concentração de um elemento químico ou mineral considerada normal para uma região, recebendo o nome de Background .

Os elementos químicos, em relação á sua abundância na crosta terrestre, são classificados como elementos maiores, menores e traço.

- Elementos maiores: teores de clarke acima de 1%.

- Elementos menores: Teores de clarke entre 0.1 e 1%.

- Elemento traço: Teores de clarke abaixo de 0.1%.

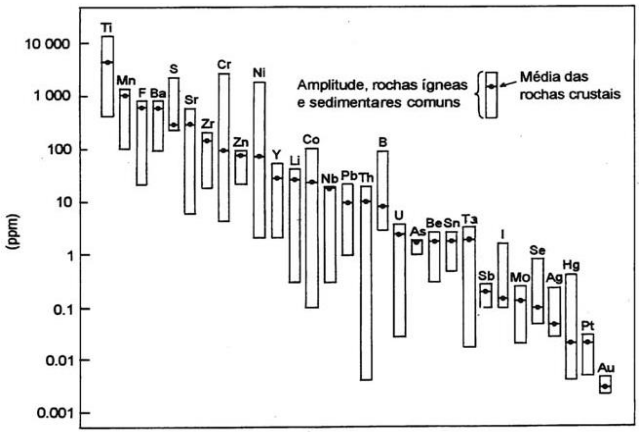


Figura 26- Médias e amplitudes dos teores dos principais elementos menores em rochas normais. Segundo Rose, Hawkes e Webb,1979 (extraído de (Neto & Rocha, 2010))

Uma anomalia geoquímica é a concentração anormal de um determinado elemento na crusta terrestre. Uma das definições é quando a sua concentração é maior que a média de concentração desse elemento (X) mais dois desvios padrões (X + 2 σ) constitui uma anomalia positiva.

Os metalotetos são determinados para diferentes tipos de rocha que têm uma afinidade por determinados elementos químicos. Como por exemplo cobre nos peridotitos, nióbio nos carbonatitos, scheelite nos skarn, volframite nas rochas ácidas etc…

Mesmo que determinada rocha tenha afinidade a um determinado elemento químico, este não constitui necessariamente uma anomalia nem um alvo para ser pesquisado (Neto & Rocha, 2010).

3.4.2- Principais métodos de prospeção geoquímica

Consoante a fase dos trabalhos de prospeção, a amostragem pode ser feita através de sedimentos de corrente, solo (pedogeoquímica), rocha (litogeoquímica), botânica (biogeoquímica), Água (hidrogeoquímica) e ainda concentrados de bateia.

Independentemente do tipo de método utilizado, é importante responder às seguintes questões:

- Onde e como recolher a amostra?

- Qual o tamanho de fração a analisar?

- Qual o método analítico a utilizar?

No caso de amostragens para quantificação de reservas, as respostas podem ser obtidas através da estatística. Na generalidade dos casos torna-se numa questão mais complexa que depende de vários fatores, tais como, expetativa quanto ao tamanho do depósito, foco ou objetivo dos trabalhos, geologia do depósito, padrões de dispersão, conforme o Quadro 2 (Neto & Rocha, 2010).

	FINALIDADES	ANÁLISES	MATERIAIS
1/50-200km²	⇒Delimitar províncias geoquímicas. ⇒Distinguir e diferenciar unidades litológicas regionais ⇒Não identifica mineralizações. ⇒Primeira avaliação	Geralmente analisa vários elementos - 50	**Sedimento de corrente Água**
1/10-50km²	⇒Detectar particularidades nas provícias geoquímicas menores ⇒Determ. mineralizações de grande porte (Sn em granitos, Cu pórfiro, Nb em carbonatitos)	30 elementos	**Sedimento de corrente Água**
1/2-10km²	⇒Mais utilizada. ⇒Reconhecer e identificar sub-áreas, mas não delimita-as. Auxilia na definição de contatos geológicos	Mais de 30 e elementos específicos	**Sedimento de corrente**
1/2 km² a 5/1km²	⇒Localizar e circunscrever áreas anômalas (anomalia/ background). ⇒Selecionar áreas de solo residual.	Somente elementos específicos	**Sedimento de corrente Solo**
> 5/1km²	⇒Delimitar anomalias com maior precisão. ⇒Precede abertura de trincheiras, poços, sondagens.	Elementos específicos	**Solo, Rocha Vegetação**

Quadro 2- Método geoquímico segundo diferentes escalas (Regional/Detalhe) (Neto & Rocha, 2010)

3.5- Sedimentos de corrente

Este método é utilizado à escala regional e permite uma avaliação rápida a um custo relativamente baixo. Os sedimentos de corrente são todos os sedimentos que estão a ser transportados segundo uma corrente fluvial. As amostras recolhidas permitem a avaliação de possíveis anomalias a montante do local de drenagem, pois este método geoquímico baseia-se no facto de que o sedimento reflete a composição das rochas de uma determinada bacia ou sub-bacia de drenagem (Neto & Rocha, 2010).

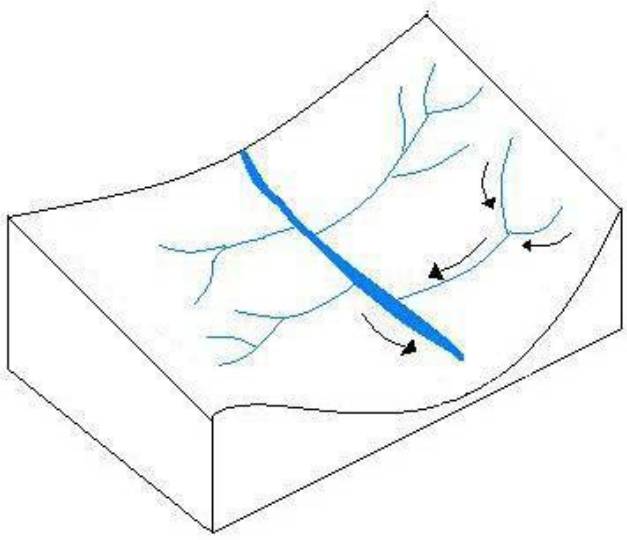


Figura 27- Exemplo de uma bacia de drenagem

Estes podem ser analisados na sua totalidade e/ou numa determinada granulometria ou fração mineralógica específica.

3.6- Litogeoquímica

Método geoquímico que tem como principal objeto de estudo as rochas. Este engloba dois tipos distintos de amostragem, “chip Sample” (amostragem de rocha) e amostragem em canal (Channel Sample). Ambas são usadas em campanhas de prospeção e no Quadro 3 podem se ver as suas vantagens e desvantagens.

Prioritariamente a amostragem em canal visa a cubicagem de reservas minerais, conforme a espessura do minério e o coeficiente de variação. Estas são recolhidas com equipamentos pontiagudos manuais ou mecânicos. A amostragem é realizada em travessas ou malhas, afloramentos, testemunhos de sondagem, trincheiras, poços ou em trabalhos de sub-superfície (galerias, inclinados etc) (Neto & Rocha, 2010).

VANTAGENS	DESVANTAGENS
• Revelar depósitos do tipo “blind” utilizando-se dos halos primários • Na exploração regional, com um pequeno número de amostras pode-se identificar uma província geoquímica.	• O contraste de anomalias é baixo • O halo primário geralmente é bastante pequeno.

Quadro 3- Vantagens e desvantagens da amostragem litogeoquímica

As comparações com depósitos padrão (ou Jazigos Tipo) devem ser consideradas, desde que a amostragem seja na rocha hospedeira da mineralização (metaloteto ou minério).

3.7- Concentrados de bateia

Método geoquímico que tem como finalidade obter um resíduo pesado (concentrado pesado) por meio de concentração gravimétrica utilizando uma bateia (Figura 28).

Figura 28- Exemplo de uma bateia

Utilizado principalmente na busca de elementos/minerais resistentes num determinado ambiente secundário, visa a concentração de minerais pesados para realçar possíveis anomalias.

Defensores do método afirmam que, se o objetivo da pesquisa mineral são os minerais pesados (ouro, scheelite, cassiterite, etc…) o concentrado de bateia apresenta uma maior probabilidade na obtenção de resultados positivos, diminuindo a possibilidade de erros analíticos devido á baixa concentração do elemento procurado ou o seu "pathfinder" (elemento associado). Pode fornecer informações de campo, segundo a abundância do elemento e o avanço dos trabalhos de prospeção, favorecendo a tomada de decisões e agilização de determinados procedimentos de campo (Neto & Rocha, 2010). Outras vantagens são indicados no Quadro 4.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
- Análise rápida e barata – realizada com ou sem lupa – no próprio campo. - Anomalias são realçadas devido a eliminação do estéril	- Suprimento intenso e permanente de água - O transporte do volume total de amostra é desaconselhado em virtude dos grandes volumes amostrados

Quadro 4- Vantagens e desvantagens do método segundo (Neto & Rocha, 2010).

3.8- Validação dos dados de campo

A informação obtida através de trabalho de campo, com recolha de amostras e reconhecimento de campo, foi analisada através de análises geoquímica bem como a caracterização macroscópica das amostras.

3.8.1-Análise Geoquímica da rocha total

A análise geoquímica pode ser realizada em laboratórios creditados e compõe uma série de etapas para a obtenção dos resultados, britagem, moagem e separação mineralógica, esta última é dispensada quando se trata da análise da rocha total (RT). A apresentação dos Resultados pode ser através de Mapas de isoteores, perfis, blocos diagramas, tabelas, etc...

- Método ME-ICP41

Método de deteção de elementos traço através de ICP-AES (“Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectroscopy”).

O método ME-ICP41 consiste na assimilação da amostra através de água-régia num bloco de aquecimento de grafite, após o arrefecimento, a solução resultante é diluída em água desionizada e analisada através de ICP-AES.

Os resultados analíticos são corrigidos para interferências espectrais inter-elementos. Teor mínimo de deteção para Ag, Ba, Be, Cd, Cr, Cu, Li, Mo, Ni, Sc, Sr, Zn, Zr e Y de 1 ppm, Co, Pb, Sb e V de 3 ppm, Bi, Sn e W de 10 ppm, La, B, de 10 ppm, Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P e Ti de 0,01%. Limite de deteção a 10.000 ppm.

- Método Au-AA25

Método de análise quantitativa pelo qual o metal é separado por fusão em meio redutor, dissolvido em água-régia e determinado por Absorção Atómica (Quadro 5).

METHOD CODE	ELEMENT	SYMBOL	UNITS	SAMPLE WEIGHT (G)	LOWER LIMIT	UPPER LIMIT	DEFAULT OVERLIMIT METHOD
Au-AA25	Gold	Au	ppm	30	0.01	100	Au-GRA21

Quadro 5- Caraterísticas do método Au-AA25

4- DESENVOLVIMENTO DOS TRABALHOS REALIZADOS

No âmbito da dissertação de mestrado e com estágio realizado na empresa mineira canadiana, Kondike Gold Corporation, foi proposto a realização de mapas temáticos para localização de áreas com potencial para a prospeção detalhada de mineralizações de Au e a sua continuidade para além da mina da Lagoa Negra.

O projeto foi desenvolvido no ArcGIS 10.0, sendo composto por vários ficheiros, cada uma contendo uma determinada informação específica.

4.1- Tratamentos dos dados em SIG

Numa primeira fase procedeu-se á aquisição/recolha de informação referente aos mapas topográficos e geológicos abrangidos pela área de estudo.

Estes foram georreferenciados, segundo a projeção Lisboa Hayford Gauss no datum 73 (Datum_73_Hayford_Gauss_IPCC).

Conhecendo os valores das coordenadas extremas de cada folha, com a ferramenta “Georeferencing” e selecionando o respetiva folha bastava clicar com o botão direito do rato no ponto que vai servir de referência e introduzir os valores das coordenadas desse ponto (input X and Y), sendo realizados de forma sistemática para todos os pontos extremos de todas as outras folhas (Figura 29).

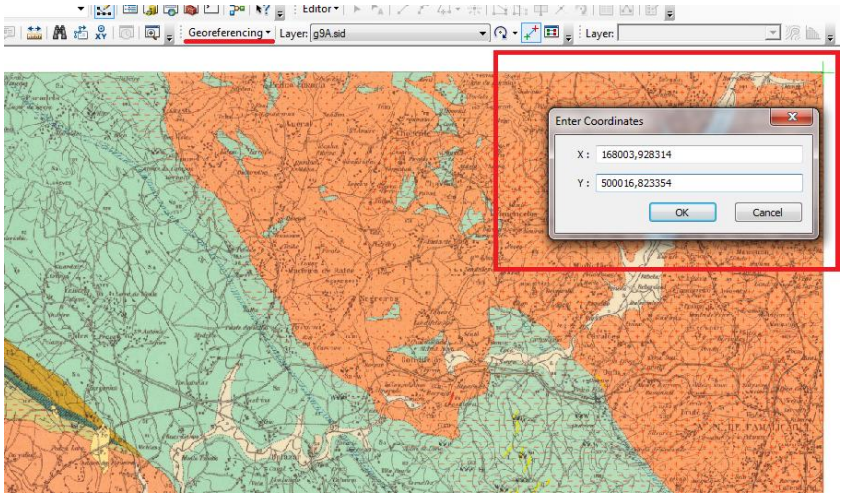


Figura 29- Introdução das coordenadas para Georreferenciação

Depois de georreferenciados os mapas, foram criadas várias “shapefiles” de forma a digitalizar toda a informação contida nas cartas. Posto isto temos uma “shapefile” de linhas para as falhas e filões de Quartzo e uma de pontos para as ocorrências mineiras.

Para as “shapefile” dos filões de quartzo e falhas (shapefiles de linhas) e com a utilização de uma extensão do ArcGIS denominada “COGO”, calcularam-se as respetivas direções. Ativando a extensão “COGO” e criando na tabela de atributos, para os filões de quartzo e falhas, duas colunas denominadas “Direction” e “Distance”, este automaticamente calcula as direções pretendidas assumindo o Norte como azimute e com unidades os graus (Figura 30).

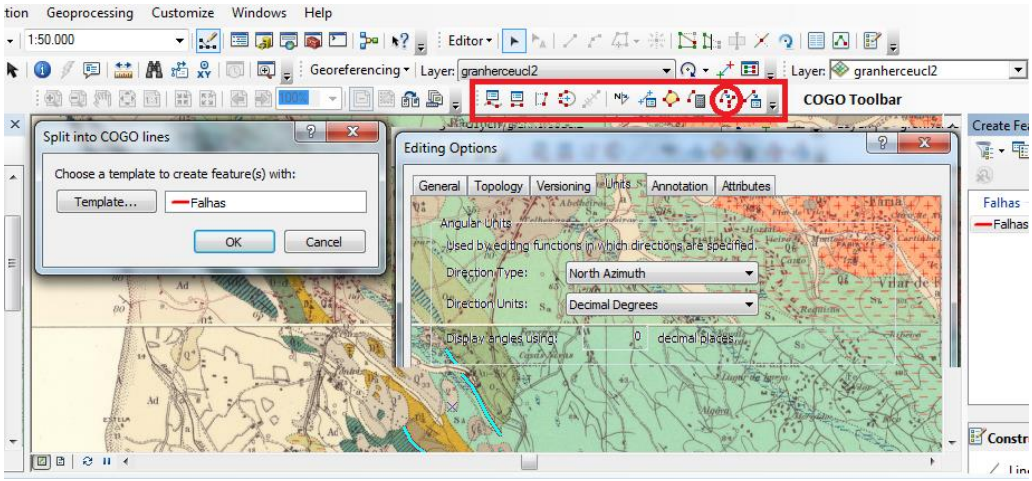


Figura 30- Caraterísticas do aplicativo “COGO”

Para a digitalização dos polígonos correspondentes à litologia, numa primeira fase através de uma “shapefile” de linhas digitalizaram-se todos os contactos litológicos, posteriormente através de uma “shapefile” de pontos com os atributos de cada litologia, utilizando a ferramenta “Arcinfo – Tools – Data management tools – features - feature to polygone”, geraram-se polígonos com informação sobre a geologia (Figura 31).

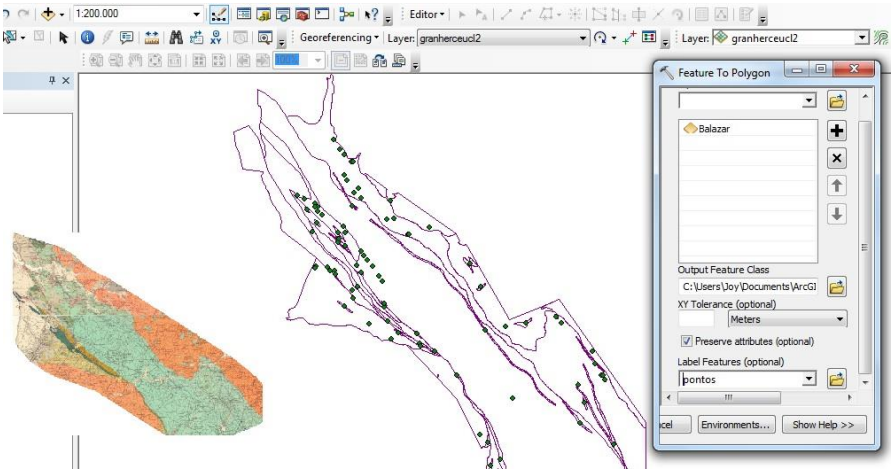


Figura 31- Aspeto sobre a criação dos polígonos referentes á geologia

A informação sobre a geologia teve por base a cartografia geológica existente á escala 1:50000 e 1:200000, que se encontra dividida segundo o período, época e descrição litológica.

Para efeitos de uma posterior análise estatística e espacial foram digitalizadas as folhas 5-C, 9-A e 9-C da cartografia geológica portuguesa, 1/50000. O mapa digitalizado encontra-se no Anexo II.

4.2- Fotografia aérea

Através da fotografia aérea disponível nos servidores do ArcGIS, também no Google Earth, é notória a diferença de cor dos terrenos metassedimentares e graníticos, bem como a estrutura que carateriza o anticlinal de Valongo de direção NW-SE (Figura 32).

Figura 32 - Fotografia aérea com individualização da área atribuída à empresa Klondike em Diário da República (DR)

4.3- Sedimentos de Corrente

A campanha de sedimento de corrente abaixo descrita, foi cedida pelo LNEG e faz parte de um relatório do BRGM, consórcio Baixo Douro (EDM/ECD/SEREM) (Figura 33).

Os dados foram fornecidos em papel e com o devido tratamento foram introduzidos no projeto de SIG criado.

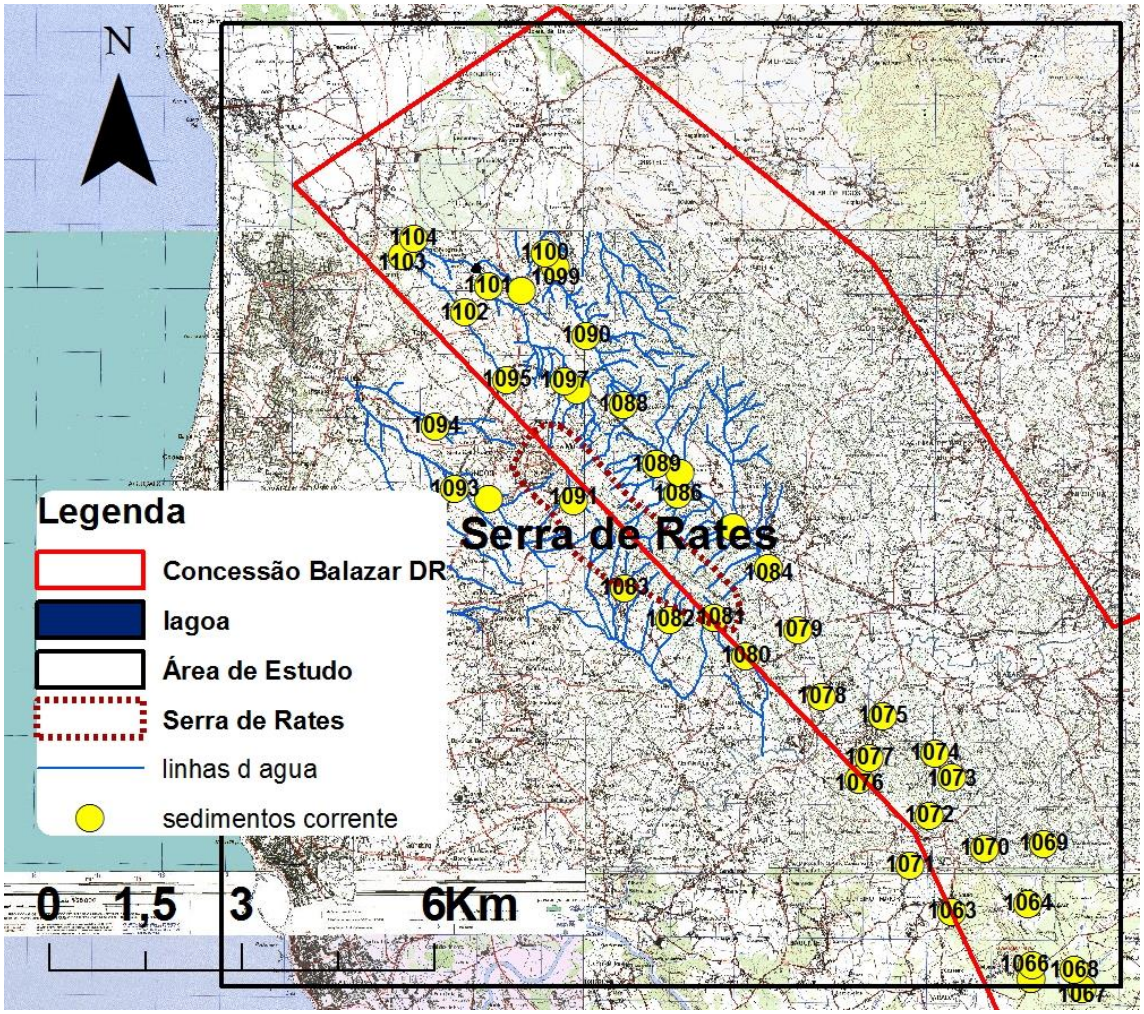


Figura 33 - Sobreposição dos locais de amostragem com as linhas de água da região num excerto da folha 82 e 83 da cartografia militar 1/25000.

Na campanha de sedimentos de corrente descrita no relatório fornecido, foram amostradas 245 amostras (2 por Km2) sendo analisados 35 elementos, 34 foram analisados através de espectroscopia de emissão atómica (ICP) e para o ouro através de absorção atómica de chama ou câmara de grafite.

A área de análise corresponde a uma área de 120 km2, área denominada por zona A (Zona que engloba a área da Lagoa Negra), onde foram detetadas anomalias em Cobre (Cu), Chumbo (Pb), Zinco (Zn), Arsénio (As), Antimónio (Sb), Ouro (Au), Estanho (Sn) e Tungsténio (W).

A tabela de valores com a análise de sedimentos de corrente encontra-se no anexo III.

Também no relatório é feita a associação mineralógica para a Lagoa Negra, sendo esta, Ouro (Au) + Estibina (Sb) + Cassiterite (Sn) + Arsenopirite (As), este último em muito pouca quantidade.

A análise dos 34 elementos foi feita abaixo dos 120 µm com um limite de deteção de 20 ppb. O limite mínimo de correlação é de 0,50.

A campanha de sedimentos de corrente foi feita segundo as linhas de água que descem do alto de São Félix (colina Quartzítica) e Serra de Rates (Serra que se encontra no prolongamento para SE do alto de São Félix).

Para os valores obtidos de antimónio na campanha, este apresenta um valor médio regional (Background) de 16.1 ppb, com um desvio padrão de 21.2 ppb (Figura 34).

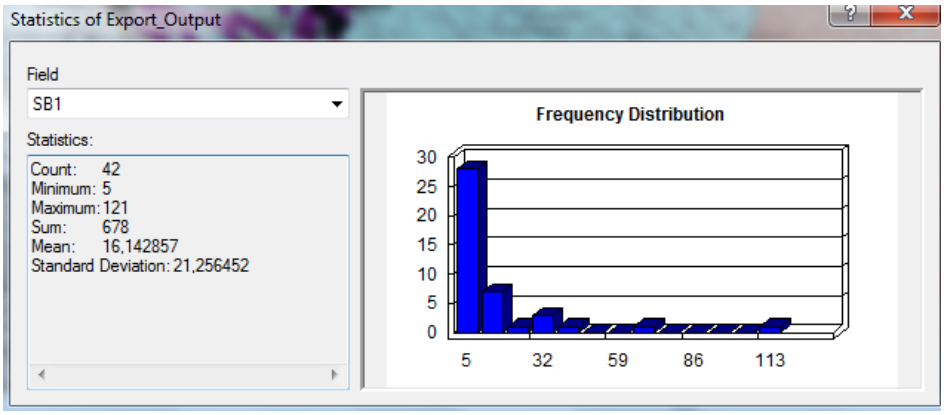


Figura 34- Parâmetros estatísticos para o Antimónio (Sb)

Com o objetivo de encontrar os valores anómalos de Sb para a região, definiram-se três intervalos de valores, os valores inferiores á média regional (Background) mais um desvio padrão (<X + σ) , valores entre a média e um desvio padrão (X + σ) com valores da média e dois desvios padrão (X + 2σ) e um último intervalo dos valores maiores á média e dois desvios padrão(>X + 2σ). Seriam portanto valores abaixo dos 37ppb, entre os 37 e 58 ppb e superiores a 58 ppb (que serão os valores anómalos da região).

De uma população de 42 pontos amostrados, temos 40 pontos abaixo dos 58 ppb onde 39 são abaixo dos 37 ppb e acima dos 58 ppb temos apenas dois pontos. Os pontos 1096 e 1101 (Figura 33) têm valores de Sb em ppb de 121 e 76, respetivamente. As respetivas bacias de drenagem/áreas de influência englobam três litologias com idades distintas, formações de idade Ordovícica, Silúrica e Devónica, que correspondem às litologias onde provêm as concentrações anómalas de Sb (Figura 35).

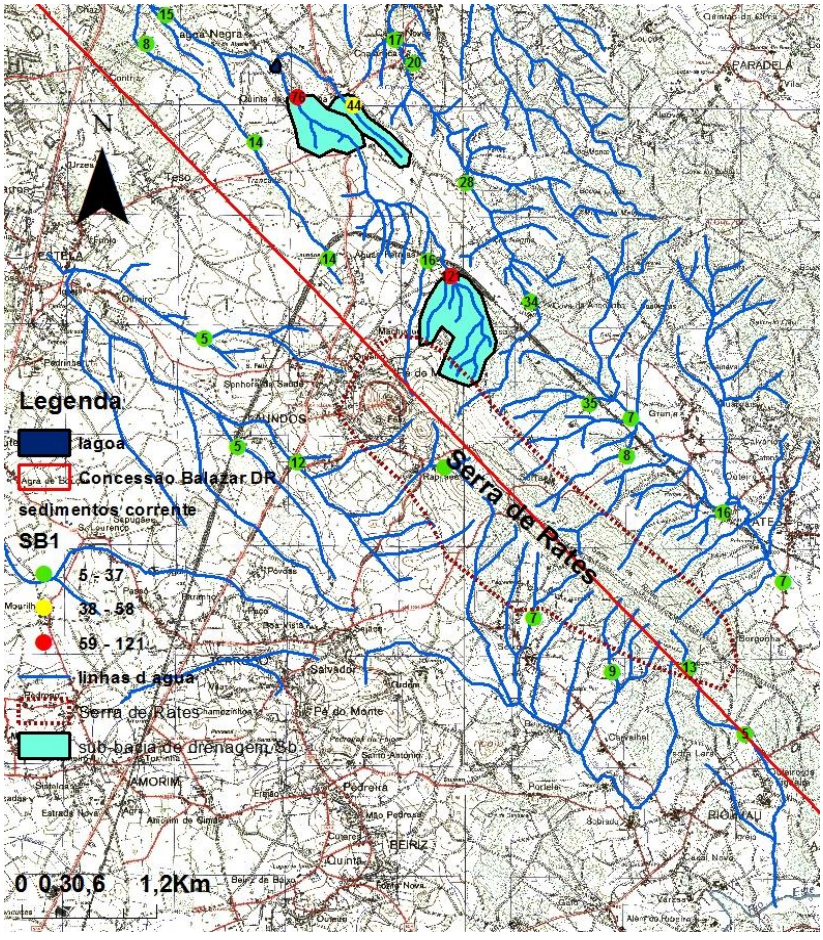


Figura 35- Distribuição das anomalias de Sb e as suas respetivas bacias de drenagem

Para o ouro e seguindo o mesmo método que anteriormente foi utilizado, temos um valor médio de 23 ppb e desvio padrão de 13 ppb, numa população de 42 pontos amostrados (Figura 36), só o ponto 1094 (Figura 33) é que tem valores superiores a 49 ppb (X + 2σ). O valor de 121 ppb corresponde a uma sub-bacia de drenagem/ área de influência a englobar duas litologias, os quartzitos do ordovícico e rocha de idade ante-Ordovícica (Câmbrica?), o que sugere que o Au possa estar relacionado com preconcentrações de Au em rochas de idade Ordovícica, sabendo que existem vários litótipos com preconcentrações em Au (Couto 1993; Couto & Borges 2005; Couto & Moelo 2011), (Figura 37).

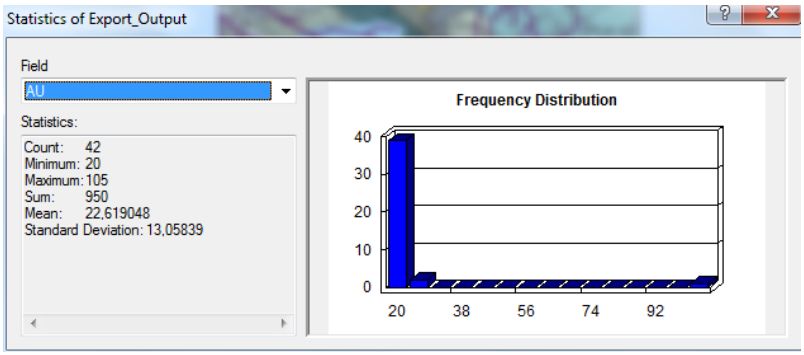


Figura 36- Parâmetros estatístico para o ouro (Au)

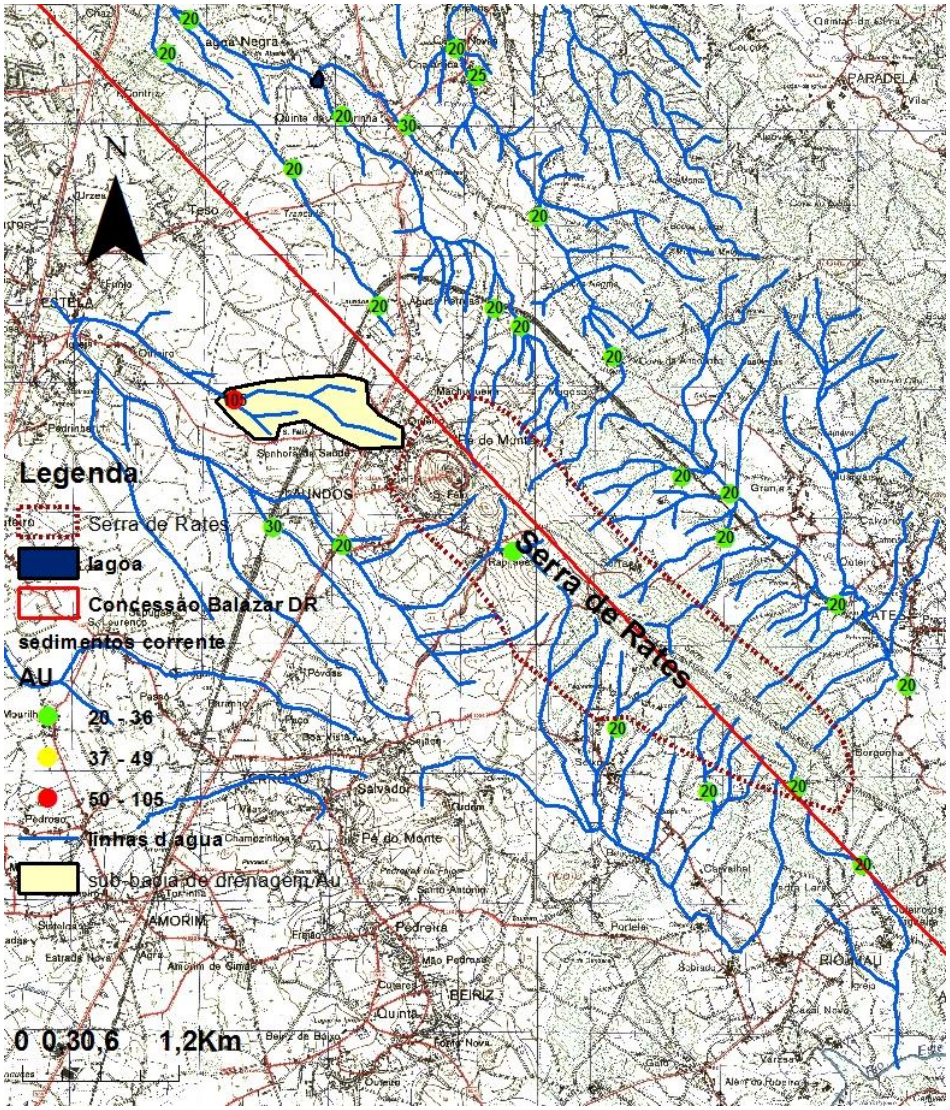


Figura 37- Distribuição da anomalia de Au e a sua respetiva bacia de drenagem

Para o Arsénio (As), temos um background regional de 32 ppb e desvio padrão de 19 ppb (Figura 38), com valores anómalos (X + 2σ) de 80 e 86 ppb correspondentes aos pontos 1088 e1098 respetivamente.

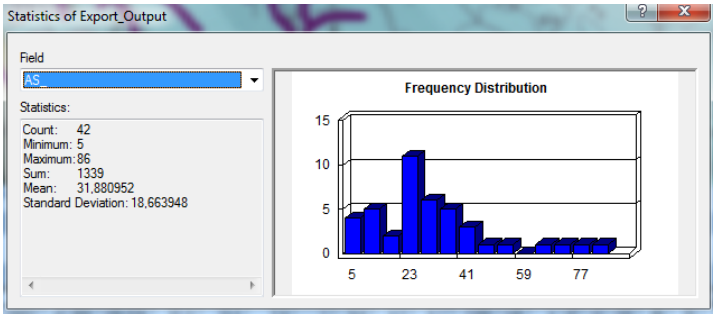


Figura 38- Parâmetros estatístico para o Arsénio (As)

Valores anómalos de As estão associados a mineralizações de sulfuretos e/ou ação antropogénica (Alexakis, 2008), fato que é comprovado com a presença de minas de antimónio na bacia de drenagem/ área de influência para o ponto 1088 anómalo em As (Figura 39).

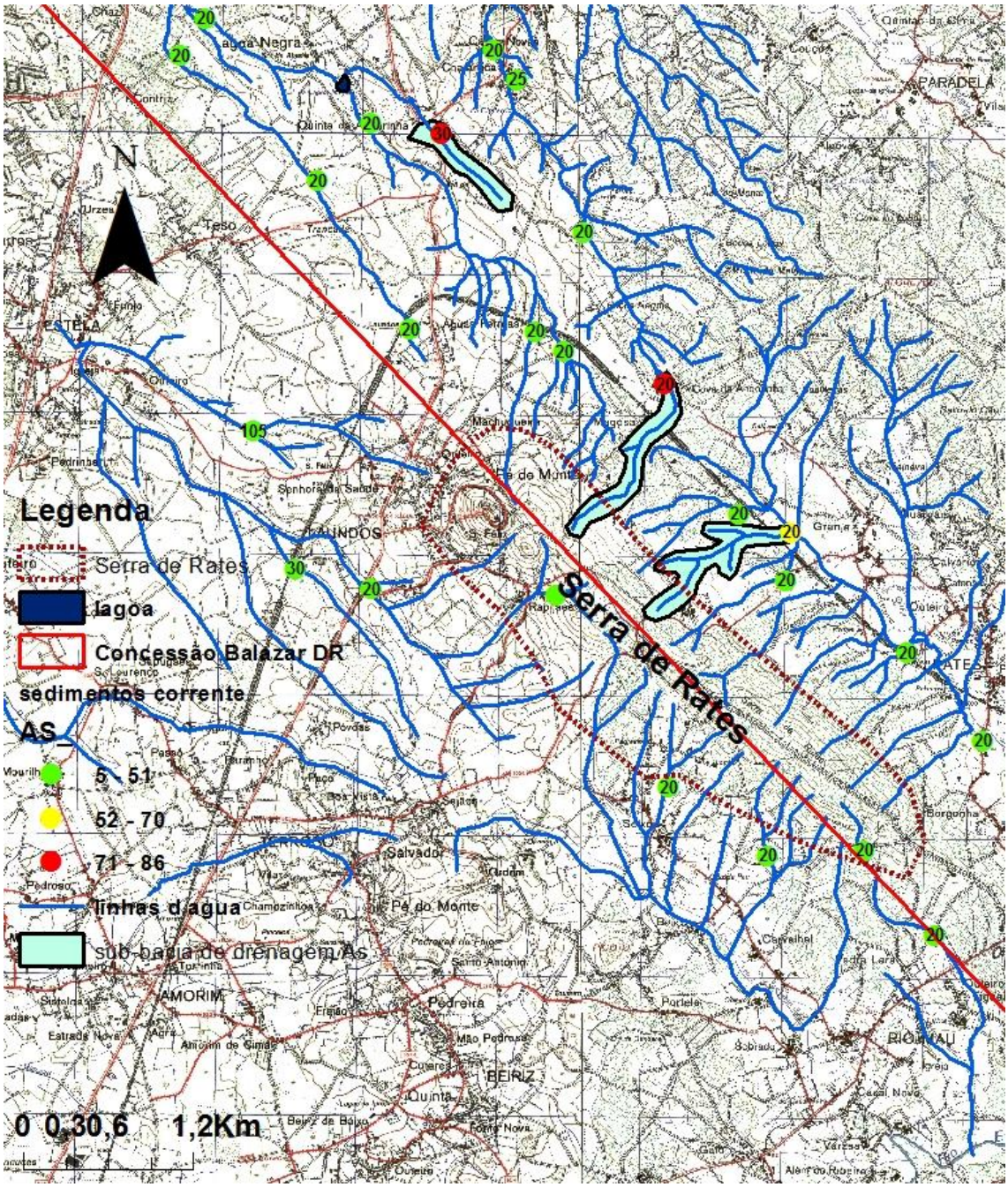


Figura 39- Distribuição das anomalias de As e as suas respetivas bacias de drenagem

4.4 Campanha de concentrados de Bateia

Esta campanha foi também realizada no âmbito do mesmo relatório do BRGM acima referido.

Nesta foram recolhidas 96 amostras de aluvião num concentrado referente a uma bateia de 5 litros, 40% das 96 possuem ouro livre (ouro visível não excedendo 0.01g). No mapa da Figura 40 apresentam-se os dados mais significativos.

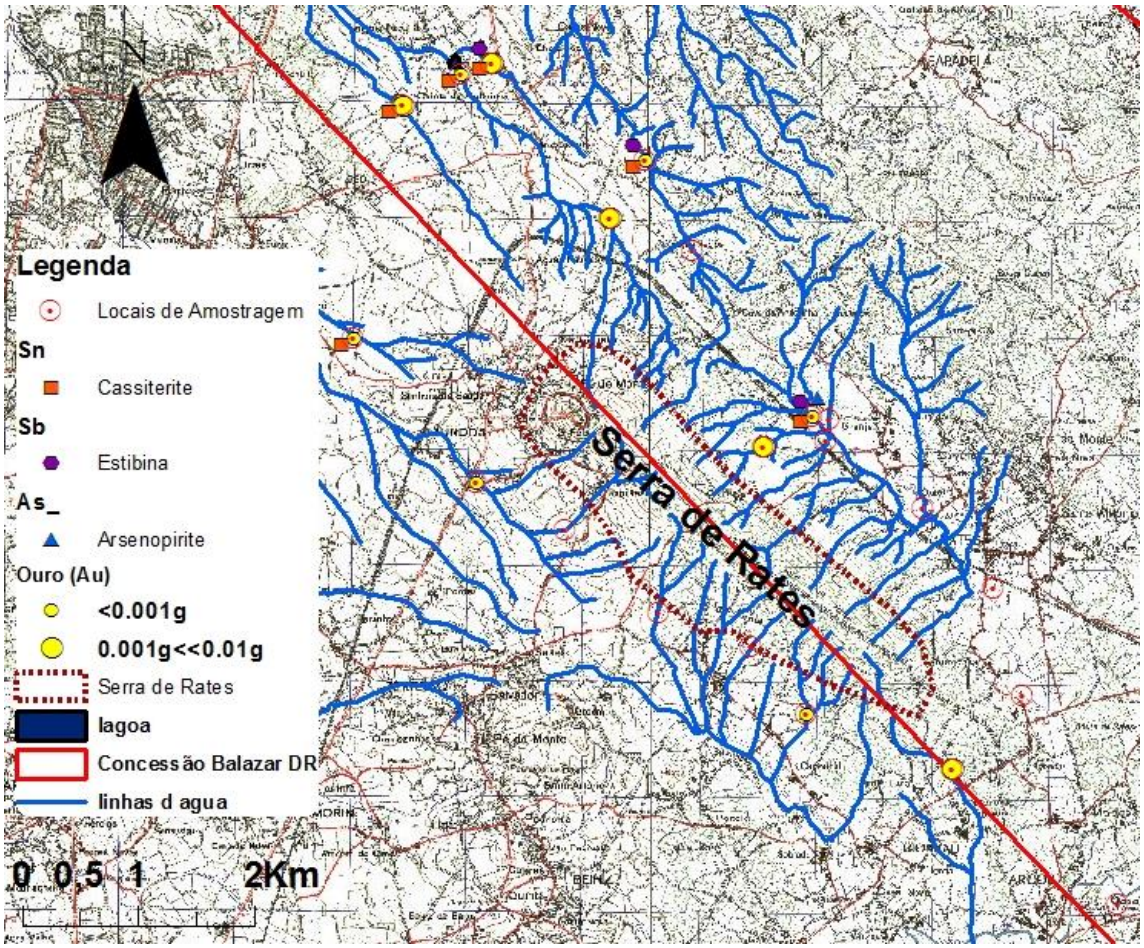


Figura 40- Campanha de concentrados de bateia

A campanha de mineralometria acima indicada destaca que tal como é referido na bibliografia, algumas das amostragens que deram pontos de ouro ou mesmo de estibina, não têm reprodução na campanha de geoquímica de sedimento de linhas de água. Por outras palavras, a mineralometria é mais fiável em campanhas de prospeção de minerais pesados como o ouro, e alguns dos sulfuretos. De qualquer forma na interpretação de todos os resultados encontrados na mineralometria, encontram-se as antigas minas de ouro e de antimónio da área de estudo.

4.5- Preditividade

A mapa preditivo da região desenvolveu-se com a finalidade de detetar áreas anómalas, áreas onde nas quais devem incidir os trabalhos de prospeção de pormenor, numa tentativa de obter mais informação acerca da área e possíveis sinais de mineralização, tendo por base alguns dos guias para prospeção de ouro e antimónio propostos por Couto (1993):

- Alternâncias de rochas de diferente competência
. Proximidade a Bacias Carboníferas
- Proximidade de falhas importantes, ou zonas de cisalhamento.

Para além disso utilizaram-se os dados da geoquímica de sedimento de corrente e a mineralometria. O método utilizado no processo de modelação, segundo os critérios definidos, teve por base os trabalhos de Billa et al (2004).

4.5.1- Valoração

Primeiro foi definida a área de estudo (Figura 41) para posteriormente ser alvo dos cálculos dos diferentes parâmetros no âmbito da preditividade. Na construção assumiu-se a quadrícula com 250 m de lado, de forma a criar células de 62500 m2, ou seja, cerca de 6 hectares, área que pode ser alvo de prospeção de pormenor com custos controlados.

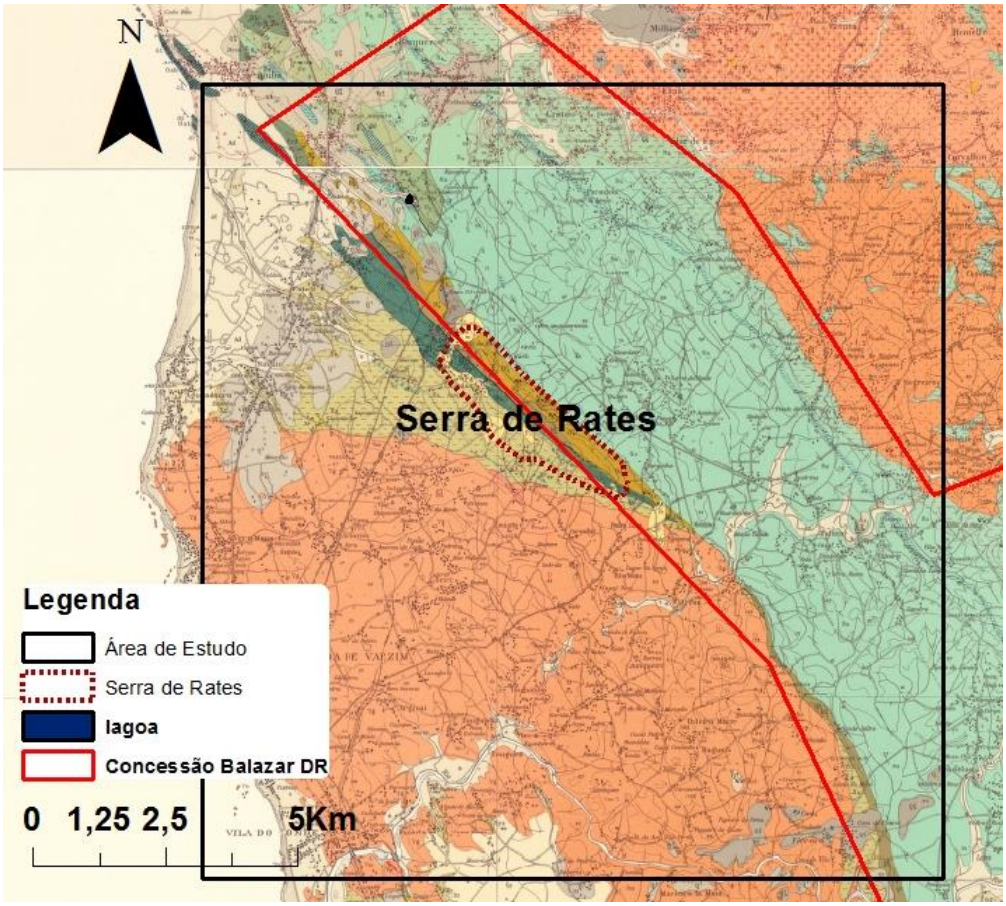


Figura 41- Área de estudo

Foi definido como critério a proximidade a falhas importantes, ou zonas de cisalhamento. As falhas da área de estudo, retiradas da cartografia geológica da folha 9-A de Portugal à escala 1:50.000 e cartografia geológica da folha 1 de Portugal à escala 1:200.000, pertencem ao domínio da zona de cisalhamento Dúrico-Beirã. Como se tratam de dois critérios relacionados com a proximidade aos mesmos, aplicou-se um "Buffer" (área de influência) de 1000m a cada critério (segundo Billa et al (2004)) (Figura 42), que posteriormente foram convertidos para "Raster".

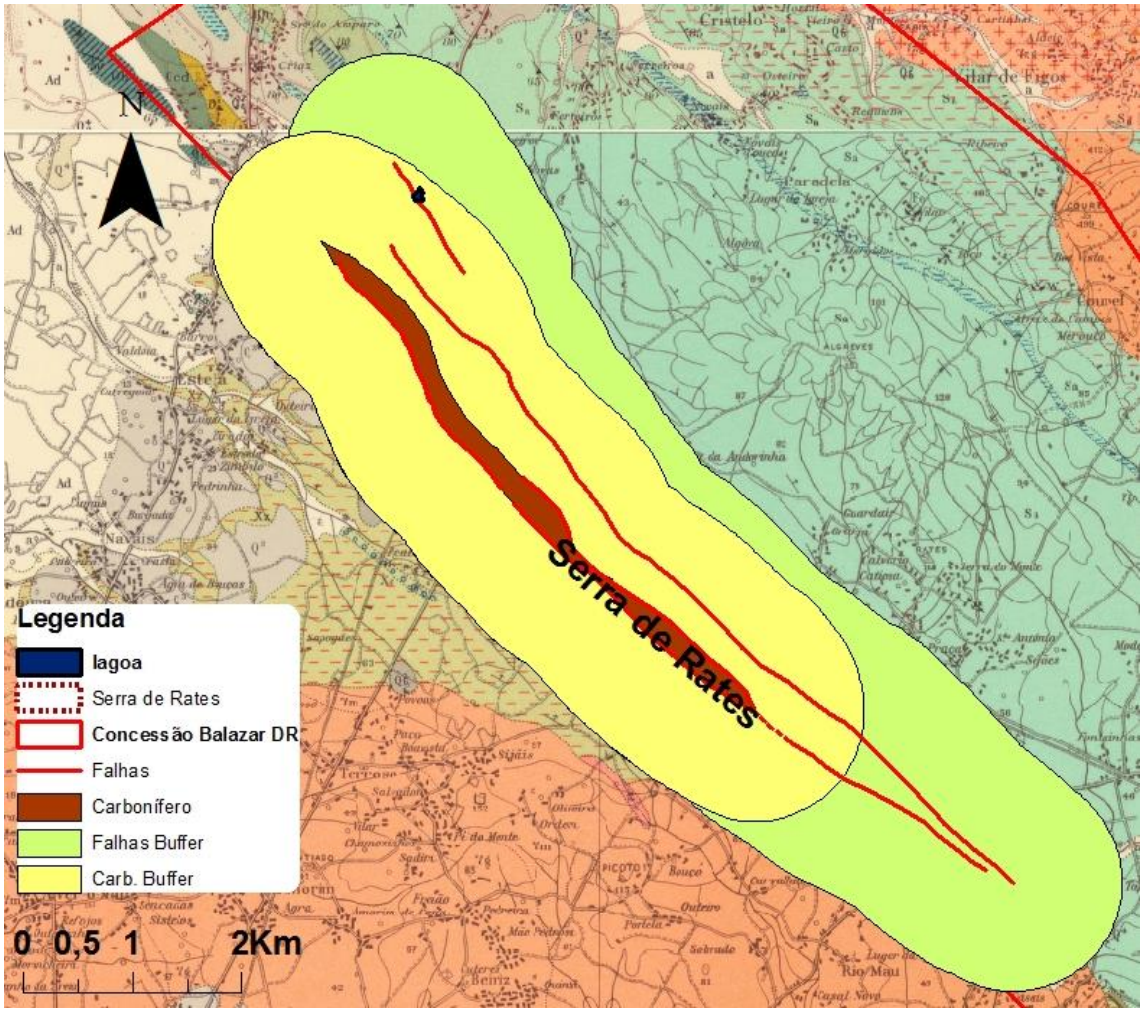


Figura 42- Buffer de 1000m á bacia Carbonífera e falhas

A valoração atribuída a estes dois critérios foi de 1 para as áreas abrangidas pelo “Buffer” e 0 para toda a restante área de estudo, mediante a grelha criada de 250m*250m na definida área de estudo.

Utilizando a ferramenta “Map Algebra- Raster Calculator” e somando os critérios que definem a proximidade às falhas e à bacia Carbonífera, obtemos um “Raster” final com uma valoração de 2 para as zonas onde os dois critérios se cruzam, o valor 1 que corresponde às áreas afetadas pela proximidade das falhas, sabendo que a área de influência das falhas ocupa uma maior área que a área de influência da bacia Carbonífera e valor 0 para toda a restante área (Figura 43).

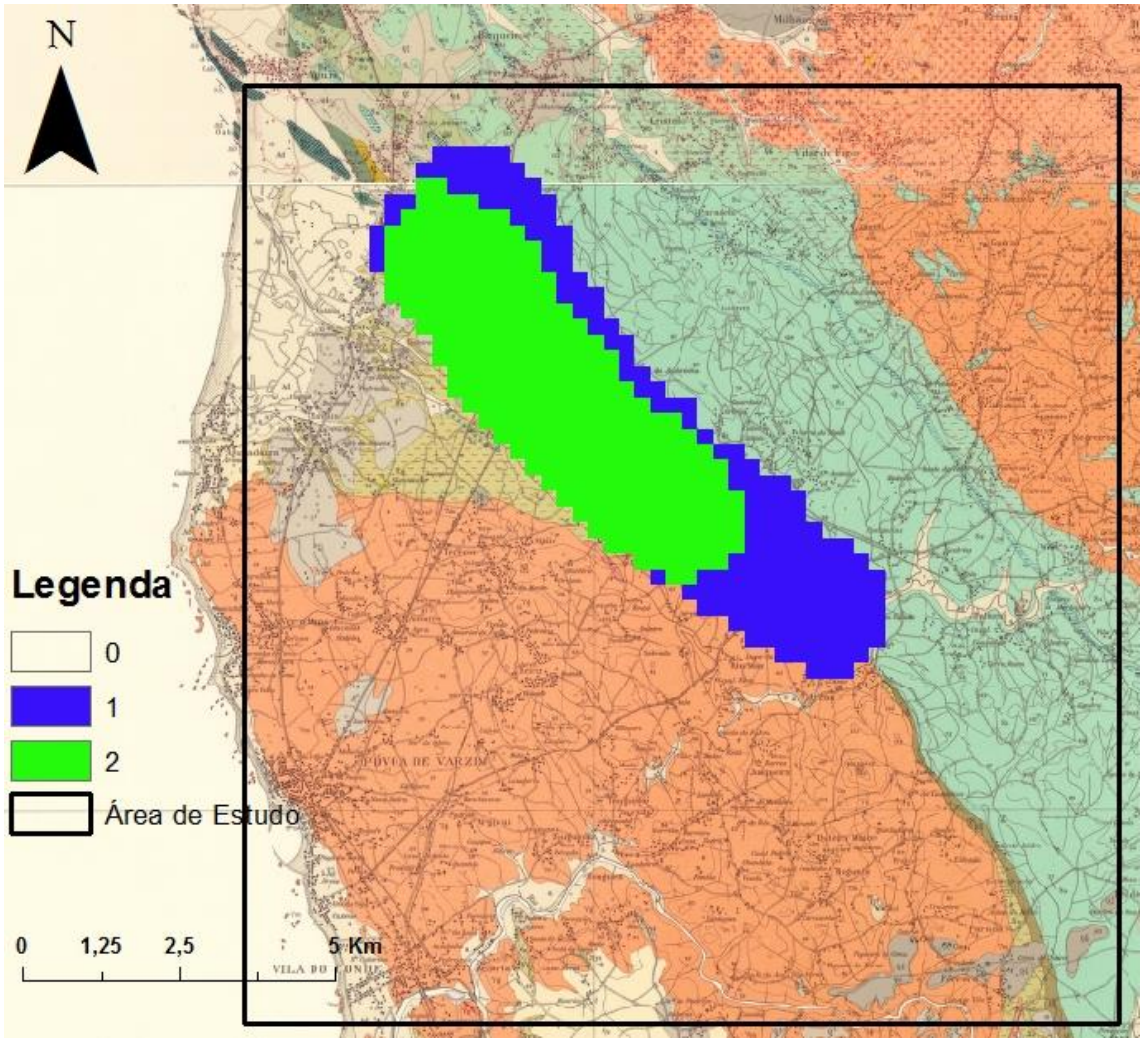


Figura 43- Valoração atribuída com a soma dos critérios de proximidade das falhas e da bacia Carbonífera

Outro critério a ter em consideração é a campanha de sedimentos de corrente, sobre a qual foram definidas anteriormente as respetivas bacias de drenagem para os resultados anómalos de Au, Sb e As. Curiosamente o valor anómalo de Au na região e a sua respetiva bacia de drenagem (Figura 37) não se encontra abrangida pela área de prospeção adquirida (Figura 1).

Com as bacias de drenagem dos valores anómalos de Sb, sabendo que o Au aparece associado ao Sb, e as bacias de drenagem dos valores anómalos de As, sabendo que valores anómalos podem indicar a presença de mineralização de sulfuretos, foram criadas imagens “Raster” que traduzem as bacias de drenagem para o Sb e As onde o valor 1 corresponde à área ocupada pela bacia e o valor 0 a toda a restante área de estudo.

Definidos os “Raster” que materializam as bacias de drenagem para os valores anómalos de Sb e As e através da soma de ambos, obtemos as áreas que correspondem as anomalias de Sb e As. Valoração de 1 para as áreas onde ocorre a anomalia de Sb ou As e 2 para a área onde ocorre tanto a anomalia de Sb como a de As (Figura 45).

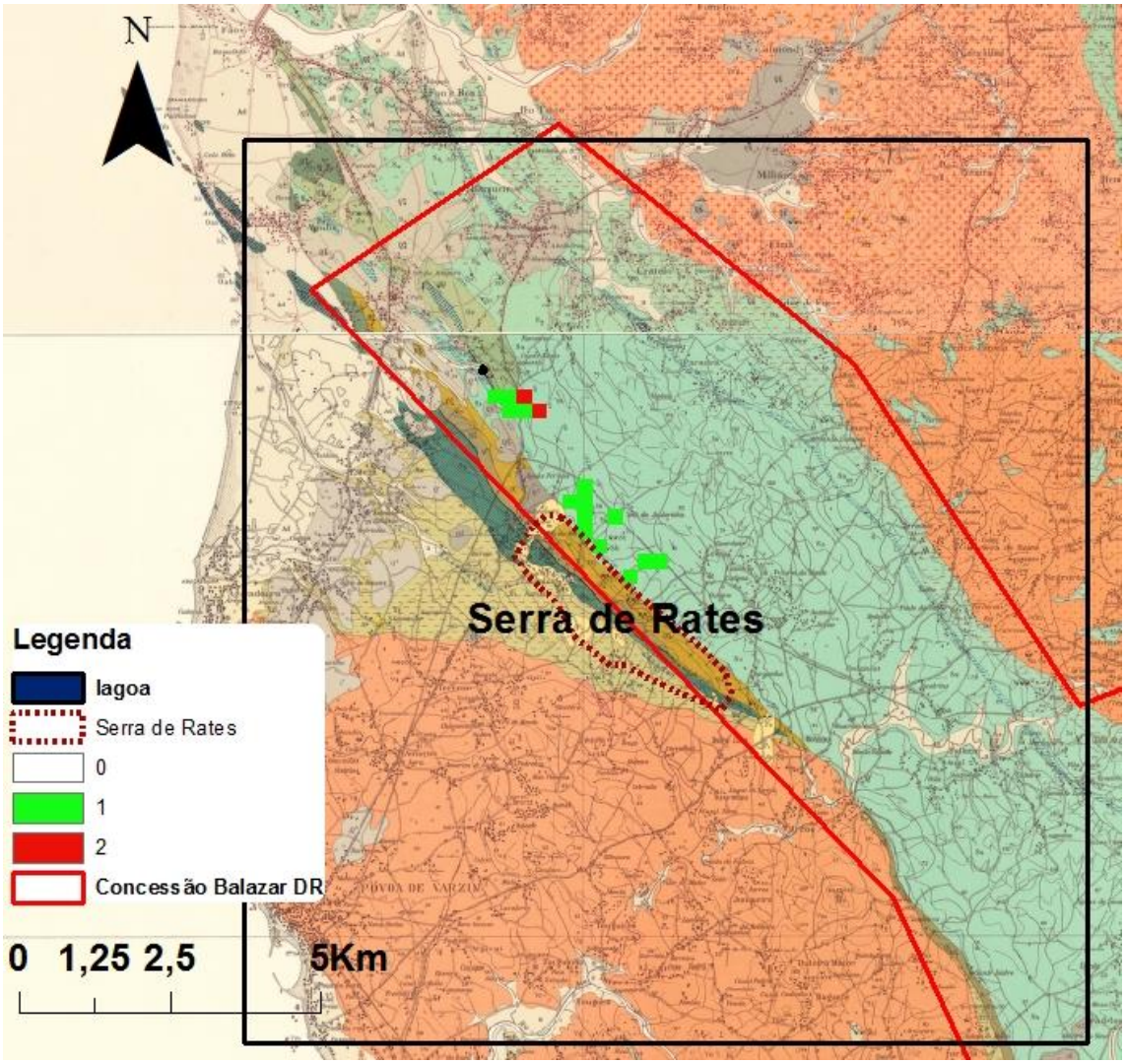


Figura 45- Resultado da soma dos “Raster” que correspondem às bacias de drenagem de Sb e As e a respetiva valoração

Os resultados obtidos através da campanha de Bateia/mineralometria (Figura 40) definem também um critério a ter em conta. Assumindo o mesmo método utilizado para os resultados da campanha de sedimentos de corrente definiram-se as bacias de drenagem (Figura46), correspondentes aos locais onde há a presença de ouro até 0.01g, que posteriormente foram convertidas para “Raster” e reclassificadas de forma a obter o valor 1 para as áreas definidas pelas bacias e 0 para a restante área de estudo (Figura 47).

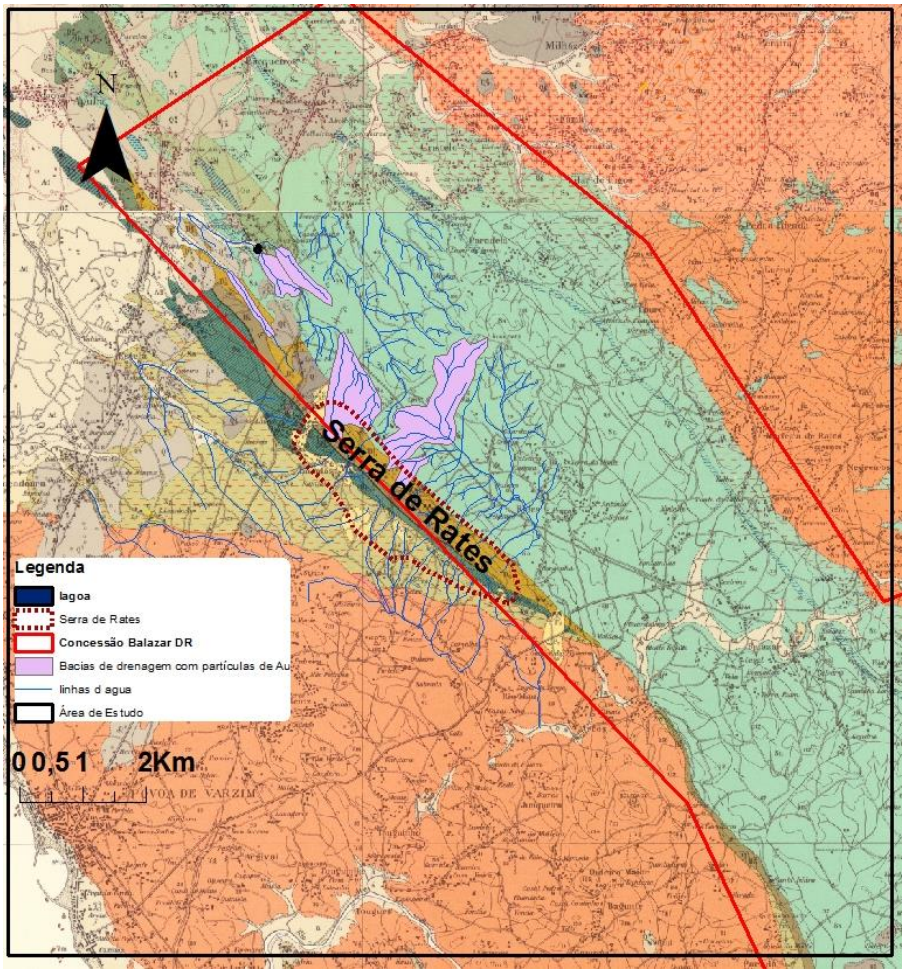


Figura 46- Localização das bacias definidas pela mineralometria com valores de Au até 0.01g

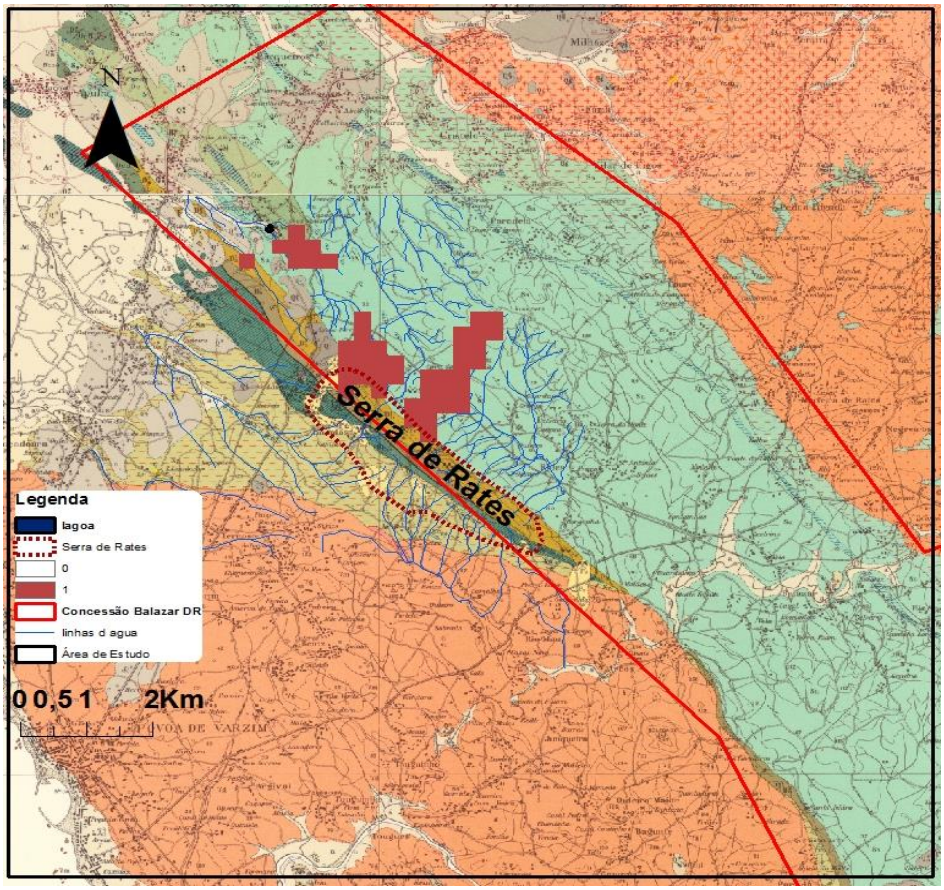


Figura 47- Conversão para "Raster" das bacias de Au em relação à campanha de mineralometria

Resumindo foram quatro os critérios utilizados para a modelação do mapa preditivo sendo eles, a proximidade às falhas, a proximidade à bacia carbonífera, as bacias de drenagem das anomalias de Sb e As da campanha de sedimentos de corrente e as bacias de drenagem para partículas de ouro inferiores a 0.01g da campanha de mineralometria, gerando o fluxograma da Figura 48 que traduz os processos utilizados na modelação do mapa preditivo.

Com os critérios definidos e o devido tratamento dos dados gerou-se o mapa preditivo da Figura 49, somando os critérios através da ferramenta "Raster calculator", que traduz, com base nos critérios selecionados, as áreas onde devem incidir os trabalhos de prospeção.

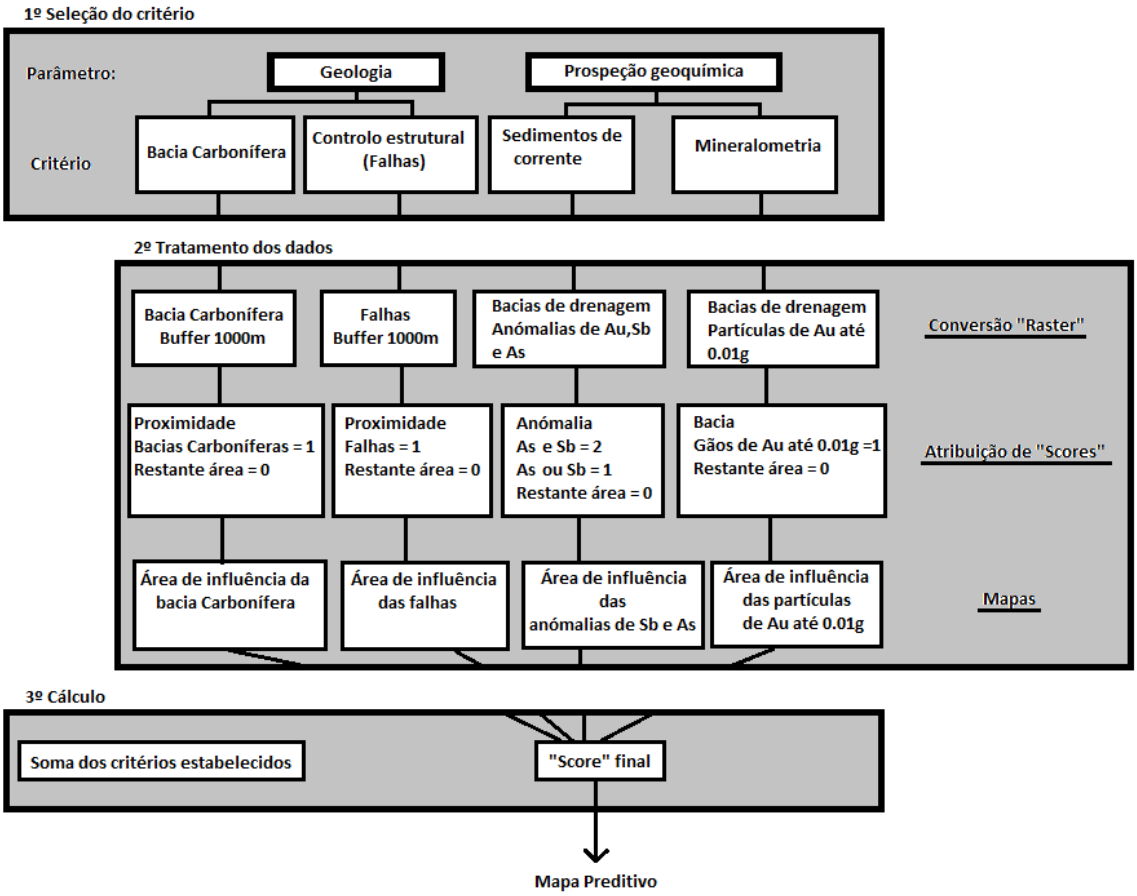


Figura 48- Fluxograma das etapas de modelação do mapa preditivo

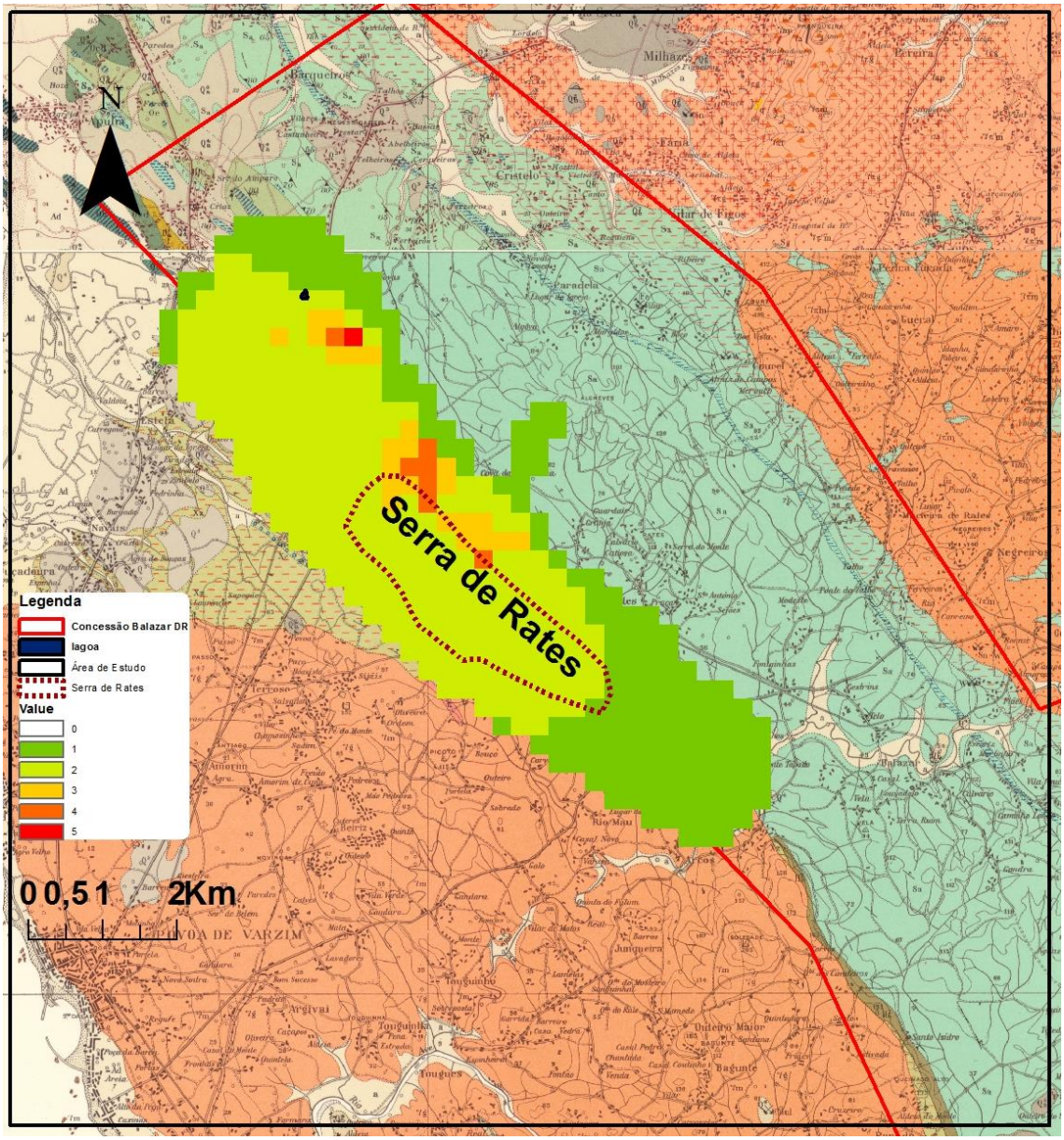


Figura 49- Mapa preditivo (áreas de incidência dos trabalhos de prospeção)

A valoração automaticamente atribuída ao mapa gerado (Figura 49) foi de 1 a 5, sendo 1 as áreas menos favoráveis para serem estudadas em pormenor e 5 as áreas com mais interesse em que a prospeção seja pormenorizada. As áreas onde devem incidir os trabalhos de prospeção serão nos locais de valoração 4 e 5, que são os locais onde a maioria dos critérios utilizados anteriormente se cruzam e definem duas zonas alvo principais, uma na zona da Lagoa Negra, que é o local que no mapa preditivo tem maior valoração e uma outra na vertente leste da Serra de Rates.

4.6- Trabalho de campo

As visitas de campo foram feitas na região de Lagoa Negra e nas imediações da vertente leste da Serra de Rates.

4.6.1- Visitas de campo

As visitas de campo tiveram como objetivo comprovar a existência da mineralização de Sb-Au na Lagoa Negra, pois toda esta área já foi alvo de uma antiga exploração mineira romana (Figura 3 e 50).

A exploração romana terá sido realizada a céu aberto ao longo de uma zona de falha comprovada através da cartografia geológica de Portugal 1:50.000 da folha 9-A (Póvoa de varzim), toda a região mostra indícios de um antigo complexo mineiro pois apresenta evidências do material de ganga e a NW da lagoa o local onde seria a escombreira e lavaria da mina, pois esta está a uma cota superior com forma circular e é constituída essencialmente por material xistento e maioritariamente por material quartzoso (Figura 51). A SSW da lagoa, a sensivelmente 50-100m, também há evidências de antigas trincheiras (definidas pela irregularidade do terreno) agora cobertas por solo (Figura 50).

Figura 50- Localização na fotografia aérea do local ande se encontra a escombreira do monte do moinho de vento e as trincheiras de exploração de antimónio.

Figura 51- Material da escombreira do monte do Moinho de vento, com material da ganga.

Foram efetuadas 5 amostras, coletadas em torno da Lagoa Negra, recebendo a seguinte numeração: K-23, K-24, K-25, K-26 e K-27. Estas estão distribuídas segundo o esquema da Figura 52, sendo que apesar de recolhidas no campo, estas não se encontravam “in situ”, estavam à superfície do terreno.

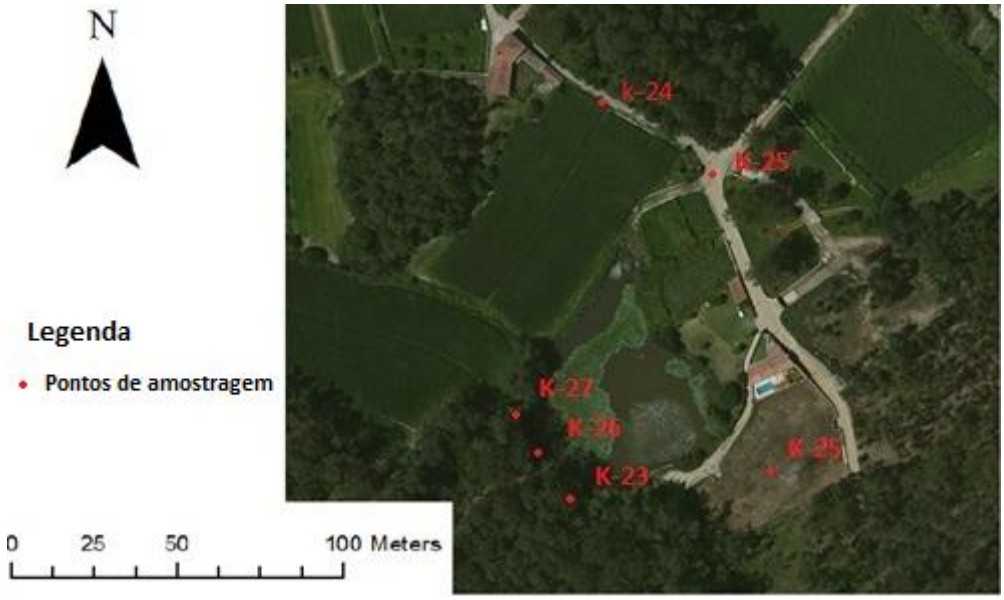


Figura 52- Locais de amostragem na região de Lagoa Negra sobre fotografia aérea.

As amostras recolhidas na lagoa negra tiveram o propósito de comprovar a mineralização de Sb-Au na Lagoa Negra bem como identificar quais a possível fácies mineralógicas portadoras de Au.

Amostra:

K-23- Lidito, material negro silicificado, cravada com pirite de tamanho milimétrico.

Figura 53- Amostra K-23 de lidito com cubos de pirite

K-24- trata-se de arsenopirite disseminada no quartzo, recolhida numa estrada de terra batida junto de uma antiga quinta abandonada, no encosto com a Lagoa.

Figura 54- Amostra k-25 de quartzo com arsenopirite

Figura 55- Amostra K-25

K-25- Amostra de antimonite maciça no encosto de um provável filão de quartzo, recolhida em dois locais distintos e com as mesmas características. Uma das amostras foi recolhida nas imediações de uma fundação de um poste de alta tensão e outra num cruzamento de terra batida.

K-26- Trata-se de Quartzo bréchoide com óxidos (sulfuretos muito pouco visíveis).

Figura 56- Amostra K-26

Figura 57- Amostra K-27

K-27- Brecha de quartzo a englobar restos de xistos negros. Esta amostra apresenta uma intensa silicificação

Mais tarde foi efetuada mais uma campanha de amostragem, a W da Lagoa Negra, a cerca de 250m. Foi recolhida a amostra K-42 numa zona de falha com direção N 85º, preenchimento com quartzo (Figura 58) e com óxidos de Ferro.

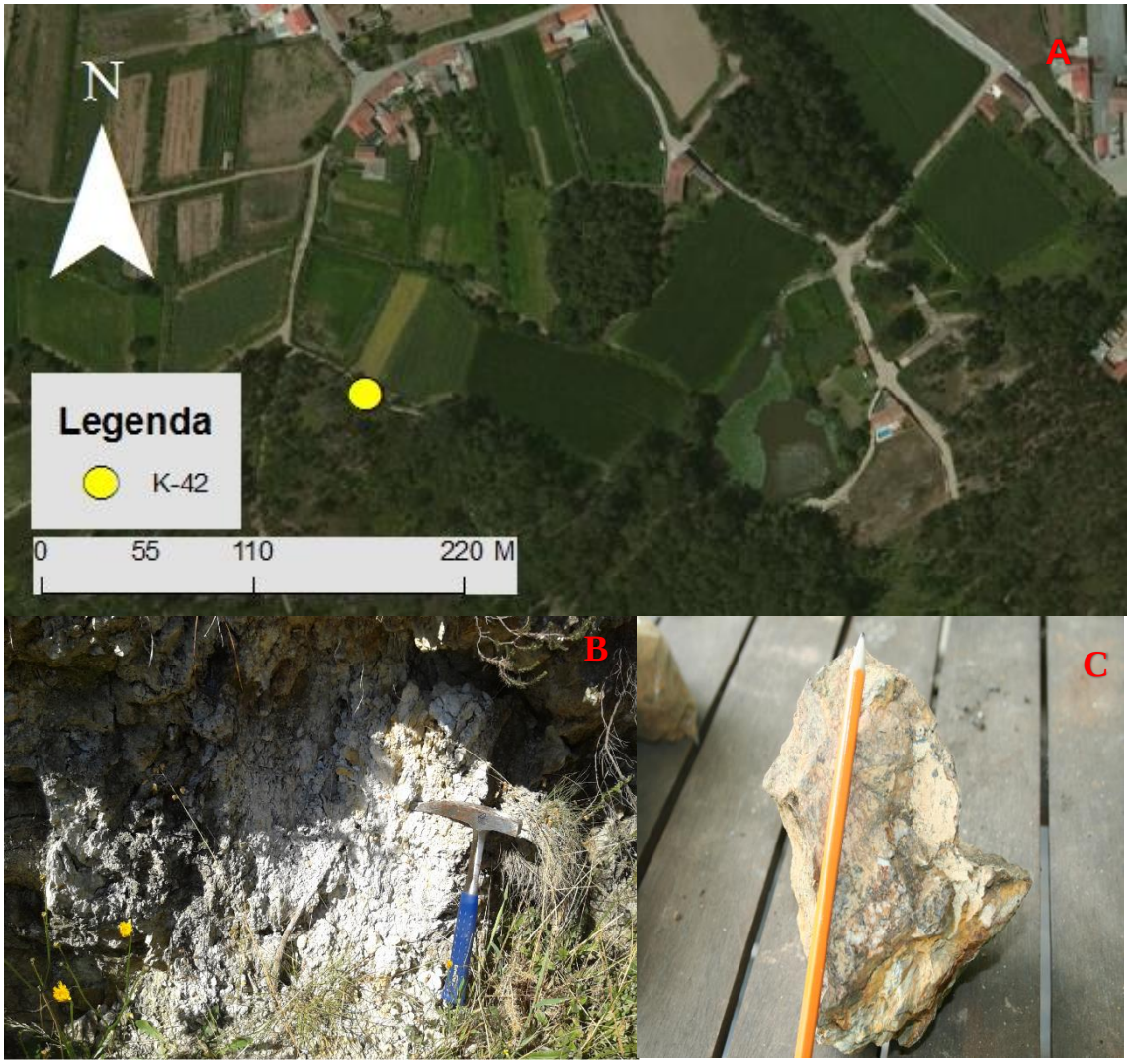


Figura 58- A: Localização da amostra K-42 através de fotografia aérea; B: Caixa de falha; C- Amostra K-42

A amostra K-42 foi recolhida com o propósito de saber se esta contém mineralização em Au, visto que se trata de um filão de quartzo orientado numa estrutura de falha de direção N85º (E-W), direção perpendicular à falha principal cartografada.

Rumando para SE, a cerca de 1 Km da Lagoa Negra, há a evidência de um poço de prospeção, de forma quadrada com dimensões 2m*2m agora inundado e com vegetação a circundar o poço. Nas imediações é visível a presença de numerosos filonetes de quartzo milimétricos bastante deformados que não apresentam indícios de mineralização nem zonas de oxidação (Figura 59).

Também nas imediações há a ocorrência de uma antiga pedreira, comprovada pela cartografia geológica existente, onde foram recolhidas 3 amostras (K-39, K-40 e K-41, figura 60) em estruturas quartzosas centimétricas com visíveis sinais de oxidação (figura 60).

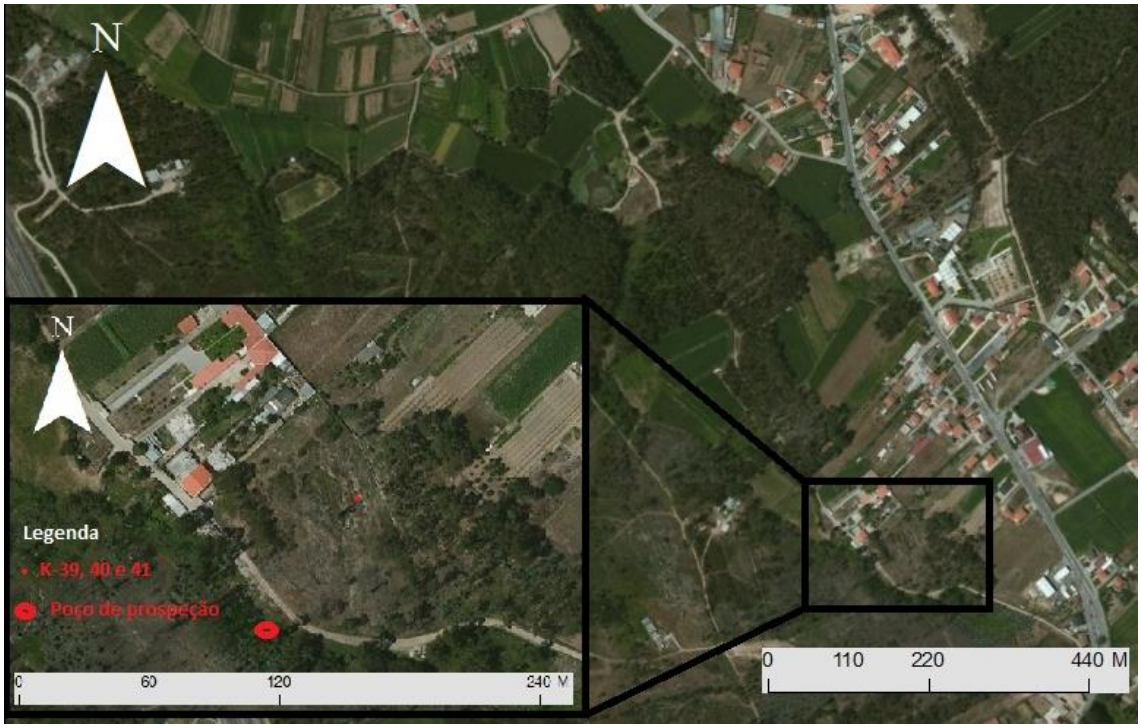


Figura 59- Localização das amostras e poço de prospeção romano

Figura 60- Amostras de quartzo com óxidos de ferro recolhidos na antiga pedreira perto do poço

Na vertente da Serra de Rates há a ocorrência de antimónio marcada na cartografia geológica, a ocorrência encontra-se num quintal de uma casa, ao qual não tivemos acesso, e infelizmente apesar de se vislumbrar trabalhos superficiais não são muito visíveis sinais de mineralização.

Por último recolheu-se a amostra K-33, que proveio dos resíduos para um furo de água. Esta amostra suscitou bastante interesse, pois trata-se de bandas de xistos negros centimétricos intercaladas com bandas quartzosas milimétricas com pirite nas fraturas.

Figura 61 – Amostras de quartzo com pirite e óxidos de ferro, recolhidos dos restos de um furo de água

4.6.2- Análise Geoquímica

As amostras acima recolhidas no campo foram posteriormente analisadas geoquimicamente no laboratório ALS, em Sevilha. Na análise geoquímica foram analisados 35 elementos (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Hg, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Sc, Sr, Th, Ti, Tl, U, V, W e Zn) através do método ME-ICP41 e o ouro (Au) foi analisado segundo o método Au-AA25.

A tabela de dados referente à análise química das amostras recolhidas encontra-se no anexo IV.

O conjunto de amostras recolhidas em torno da Lagoa Negra (K-23, K-24, K-25, K-26 e K-27) comprovou geoquimicamente a presença da mineralização de Sb-Au na Lagoa Negra distinguindo-se duas associações mineralógicas com o Au, uma com a arsenopirite (K-24) e outra com a antimonite (K-25). A amostra K-24 tem valores de Au e Ag em baixa quantidade, 0.30ppm e 0.40ppm respetivamente, e em maior quantidade As com 1140ppm, a amostra K-25 tem em menor quantidade Au e Ag, 0.21ppm e 4ppm respetivamente, e em maior quantidade Sb com >10.000ppm.

A amostra k-42, recolhida num filão de quartzo orientado N85º, não apresenta indícios de mineralização destacando-se algum As, 285ppm.

O conjunto de amostras recolhidas na pedreira (K-39, K-40 e K-41) também não apresenta indícios de mineralização de Au, destacando-se a amostra K-41 por conter uma quantidade apreciável de As, Cu, Pb e Sb.

Por fim temos a amostra recolhida na vertente leste da serra de Rates a amostra K-33 que também não apresenta vestígios de mineralização de Au nem de Sb.

5- CONCLUSÕES

5.1- Considerações finais

O trabalho efetuado está inserido nos trabalhos preliminares de prospeção sobre uma área do NW de Portugal, que visam o reconhecimento de campo da mineralização de Sb-Au existente na região de Lagoa Negra bem como a tentativa de reconhecimento de indícios de mineralização portadora de partículas de Au pela região, tendo em conta trabalhos de prospeção anteriores. Trata-se de uma zona com uma atividade agrícola ativa o que dificultou o reconhecimento e obtenção de amostras com representatividade maior sobre a mineralização "in situ". A recolha de amostras efetuada não obteve dados geoquímicos satisfatórios indicativos de mineralização nos locais onde foram recolhidos, excetuando as amostras K-24 e K-25, que não se encontravam "in situ" e que contêm valores de Au, o que nos permite identificar os indícios da mineralização de Sb-Au e As-Au na Lagoa Negra. A amostra K-25, antimonite maciça num provável filão de quartzo, é o tipo de amostra que provavelmente seria o minério aquando da exploração romana, pois o antimónio não era utilizado pelos romanos.

Quanto ao modelo metalogenético, os valores de Bi (bismuto) são na ordem dos 2ppm, levando-nos a sugerir que possamos estar na presença de um jazigo de Au do tipo orogénico, pese embora que pouca ou nenhuma informação exista acerca da mineralização em Sb-Au na Lagoa Negra.

Com os dados geoquímicos obtidos, salientando que estes representam uma amostragem regional, identificou-se a ocorrência de uma anomalia nos sedimentos de corrente de 105ppm de Au em terrenos do C.X.G. o que provavelmente possam derivar dos terrenos dos quartzitos do Ordovícico (com préconcentrações em Au) com os quais contata.

Quanto às anomalias de Sb e As, estão localizadas na região de Lagoa Negra e vertente leste da serra de Rates definindo um padrão anómalo para a região. A campanha de bateia/mineralometria mostra que na vertente leste da Serra de Rates e região de Lagoa Negra há também a presença de partículas de Au o que suscita o interesse pelo local.

Com toda a informação reunida, com uma componente “Knowledge driven” e “data driven” e auxílio dos sistemas de informação geográfica, obteve-se um mapa de preditividade que traduz os locais onde devem incidir os trabalhos futuros de prospeção de pormenor, salientando que os resultados obtidos obedeceram a critérios estruturais e litológicos segundo a cartografia geológica existente (1:50.000), e dados geoquímicos à escala regional. Os locais de interesse serão portanto, as áreas onde mais de metade dos critérios utilizados se cruzam, áreas com valoração maior que 3.

5.2- Trabalhos futuros

Realizar cartografia detalhada sobre as regiões, adquirindo a cartografia geológica 1:25.000 e detalhar nas zonas selecionada à escala 1:10.000. Dessa forma poder-se-á relacionar o modo de ocorrências litológicas e estruturais numa tentativa de perceber o modo de ocorrência da mineralização em Sb-Au na Lagoa Negra e Sb na vertente leste da Serra de Rates.

A evidência de trincheiras (desníveis abruptos no terreno) nas imediações da Lagoa Negra definem um local que poderia ser posto em evidência a geologia, pois tem bons acessos para uma máquina de escavar e encontra-se numa zona de floresta pouco densa, podendo obter informação valiosa acerca da mineralização.

Por fim realizar prospeção geoquímica de detalhe, nomeadamente solos, nas áreas selecionadas, que visem a individualização de áreas anómalas para os elementos analisados, obtendo assim mais informação acerca da região, fazendo uma cartografia fina à escala 1:1000, se possível pois a área é bastante ocupada por campos agrícolas.

Depois destes trabalhos pode-se justificar a realização de sondagens em locais estratégicos, nomeadamente na Lagoa Negra, sabendo que se trata de uma trincheira ovalada inundada, de forma a saber se há continuidade vertical da mineralização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÀFICAS

Alexakis, D. (2008). Geochemistry of stream sediments as a tool for assessing contamination by Arsenic, Chromium and other toxic elements: East Attica region, Greece. European Water 21/22: 52/72, 2008. E. W. Publications.

Billa, M., Cassard, R., Lips, A.L.W., Bouchout, V., Tourlie´re, B., Stein, G., Guillou-Fortier, L.. Predicting gold-rich epithermal and porphyry systems in the central Andes with a continental-scale metallogenic GIS. Ore Geology reviews 25(2004) 39-67.

Capdevila, R., Corretgé, L. G. & Floor, P. (1973). Les granitoides de la Meseta Ibérique. Bull. Soc. Géol. France.

Couto, H. (1993). As mineralizações de Sb-Au da região Dúrico-Beirã. Tese de Doutoramento. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 607 pp.

Couto, H. & Borges, F. S. (2005). Stratiform Sb and Au mineralizations in the Hercynian Dúrico-Beirã area (North Portugal). In: Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge Proceedings of the Eighth Biennial SGA Meeting Beijing, China, 18–21 August 2005. chapter 2-5, P.97-99.

Couto, H.; Borges, F. S. & Roger, G. (2007). Late Palaeozoic orogenic gold-antimony deposits from the Dúrico-Beirã area (North Portugal) and their relation with hidden granitic apexes. In: ^Proceedings of the ninth biennial meeting of the society for geology applied to mineral deposits, Dublin, Ireland 20TH-23RD August, 2007. Vol.1.

Couto, H. (2010). Ouro e sulfuretos do distrito minéiro Dúrico-Beirão. In: J. M. Cotelo Neiva, A. Ribeiro, L. Mendes Victor, F. Noronha & M. Magalhães Ramalho (Eds). Ciências Geológicas: Ensino, Investigação e sua História, Assoc. Port. Geólogos, vol. 2 (Geologia Aplicada). P. 3-14.

Couto, H. & Moelo, Y. (2011). Lower Ordovician oolitic ironstones of Valongo Anticline (Dúrico-Beirã area, Portugal) and of Châteaubriant Anticline (Armorican Massif, France): a comparative study. 11 th SGA Biennial Meeting Let's Talk Ore Deposits 26-29th September 2011 Antofagasta, Chile.

Díez Balda, M. A., Vegas, R. & González Lodeiro (1990). Central Iberian Zone: structure. In: R. D. Dallmeyer & E. Martinez Garcia (Eds.). Pre Mesozoic geology of the Iberian Peninsula, Springer Verlag. Berlim.

Dias, G., Noronha, F. & Ferreira, N. (2000). Variscan Plutonism in the Central Iberian Zone, Northern Portugal. Eurogranites 2000 Field Meeting Guide, Setembro 2000, Portugal.

Dias, G., Noronha, F., Almeida, A., Simões, P. P., Martins, H. C. B. & Ferreira, N. (2010). Geocronologia e petrogénese do plutonismo tardi-Varisco (NW de Portugal): síntese e inferências sobre os processos de acreção e reciclagem crustal na Zona Centro-Ibérica. In: J. M. Cotelo Neiva, A. Ribeiro, L. Mendes Victor, F. Noronha & M. Magalhães Ramalho (Eds). Ciências geológicas: Ensino, investigação e a sua história, Assoc. Port. Geólogos, vol. 1 (Geologia clássica). P. 143-160.

Ferreira, N., Iglésias, M., Noronha, F., Pereira, E., Ribeiro, A. & Ribeiro, M. L. (1987). Granitóides da zona Centro Ibérica e seu enquadramento geodinâmico. In: F. Bea, A. Carnicero, J. C. Gonzalo, M. López-Plaza & M. D. Rodríguez Alonso (Eds.), Geología de los Granitóides y Rocas Asociadas del Macizo Hesperico. Libro de Homenaje a L. C. García de Figuerola, Editorial Rueda. Madrid.

Goldfarb, R. J., Groves, D. I. and Gardoll, S. (2001). Orogenic gold and geologic time: a global synthesis. Ore Geology Reviews, v. 18: 1-75.

Goldfarb, R. J., Baker, T., Dube, B., Groves, D. I., Hart, C. J. R. and Gosselin, P. (2005). Distribution, character, and genesis of gold deposits in metamorphic terranes. Economic Geology 100th Anniversary Volume, p. 407 - 450.

Groves, D. I., Goldfarb, R. J., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S. G. and Robert, F. (1998). Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold types. Ore Geology Reviews, v. 13: 7- 27.

Groves, D. I., Goldfarb, R. J., Robert, F. and Craig, J. R. H. (2003). Gold deposits in metamorphic belts: Overview of current understanding, outstanding problems, future research, and exploration significance. Economic Geology, v. 98: 1- 29.

Iglesias, M. & Ribeiro, A. (1981 a). Zones de cisaillement ductile dans l´arc Ibéro-Armoricain. Comum. Serv. Geol. Portugal, 67: 85-88.

Inverno, C. M. C. (2011). Comparação de jazigos de ouro do tipo orogénico (mesotermais) e os jazigos de ouro associados a intrusão. Algumas extrapolações para Portugal. Cuaderno Lab. Xeolóxico de Laxe. Coruña. Vol. 36, pp. 99-156. ISSN: 0213-4497.

Julivert, M., Fontboté, J. M., Ribeiro, A. & Conde, L. E. N. (1974). Memória explicativa del Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares, à escala 1:1.000.000. Inst. Geol. y Minero. España.

Matte, P. (1986). Tectonic and plate tectonics model for the Variscan Belt of Europe. Tectonophysics, 126: 329-374.

Martins, Carla M. B. (2008). A exploração mineira Romana e a metalúrgica do ouro em Portugal. Editado pela Unidade de Arqueologia da Universidade do Minho. ISNN: 1647-0745.

Mário Tavares de Oliveira Cavalcanti Neto e Alexandre Magno Rocha da Rocha (2010). Noções de Prospecção e Pesquisa Mineral para Técnicos de Geologia e Mineração.Natal/RN: Editora do IFRN-RN. 267 p. ISBN 978-85-89571-52-4.

Mateus, A. e Noronha, F. (2010). Sistemas mineralizantes epigenéticos na zona Centro-Ibérico; Expressão da estruturação orogénica Meso- a Tardi-Varisca. In: J. M. Cotelo Neiva, A. Ribeiro, L. Mendes Victor, F. Noronha & M. Magalhães Ramalho (Eds). Ciências geológicas: Ensino, investigação e a sua história, Assoc. Port. Geólogos, vol. 2 (Geologia aplicada).

Noronha, F. e Ramos, J. M. F. (1993). Mineralizações auríferas primárias no norte de Portugal. Algumas reflexões. Cuaderno Lab. Xeolóxico de Laxe. Coruña. Vol. 18, pp. 133-146.

Noronha F., Ribeiro M. A., Almeida A., Dória A., Guedes A., Lima A., Martins H.C., Sant'Ovaia H., Nogueira P., Martins T., Ramos R. & Vieira R. (2006). Jazigos Filonianos Hidrotermais e Aplitopegmatíticos Espacialmente Associados a Granitos (Norte de Portugal). In: Dias R. e Araújo A (coord.), Geologia de Portugal no Contexto da Ibéria. Universidade de Évora.

Noronha, F. (2007). The Hercynian orogeny in the NW of Iberian Peninsula. In: A. Lima & E. Roda-Robles (Eds.), Granitic Pegmatites: the state of the art, Field trip guidebook, Dep. Geologia FCUP, Porto, Portugal, Maio 2007, Memórias n.° 9.

Pereira, E. & Ribeiro, A. (1992). Paleozóico. In: Notícia Explicativa da Folha 1. E. Pereira (coord) Carta Geológica de Portugal. Escala 1/200000, pp.51-77. Serviços Geológicos de Portugal,Lisboa.

Pereira, E., Ribeiro, A. e Meireles, C. (1993) Cisalhamentos hercínicos e controlo das mineralizações de Sn-W, Au e U na Zona Centro Ibérica, em Portugal. Cuaderno Lab. Xeolóxico de Laxe. Coruña. Vol. 18, pp.89-119.

Ribeiro, A. (1974). Contribution à l'étude tectonique de Trás-os-Montes oriental. Mem. Serv. Geol. Portugal, Lisboa, 24 (N. Série).

Ribeiro, A., Antunes, M., Ferreira, M., Rocha, R., Soares, A., Zbyszewski, G., Almeida, F., Carvalho, D. & Monteiro, J. (1979). Introduction à la géologie general du Portugal. Ser. Geol. Portugal, Lisboa. 114 p.

Ribeiro, A. (2006). Geologia de Portugal no Contexto da Ibéria. Universidade de Évora.

Sofia L. D. C. Sobreiro (2010). Os SIG e a selecção de áreas com potencial mineiro. Geóloga,Visa consultores. Artigo Março 2010.

Thompson, J. F. H. and Nerberry, R. J. (2000). Gold deposits related to reduced granitic intrusions. Reviews in Economic Geology, v. 13: 377-400.

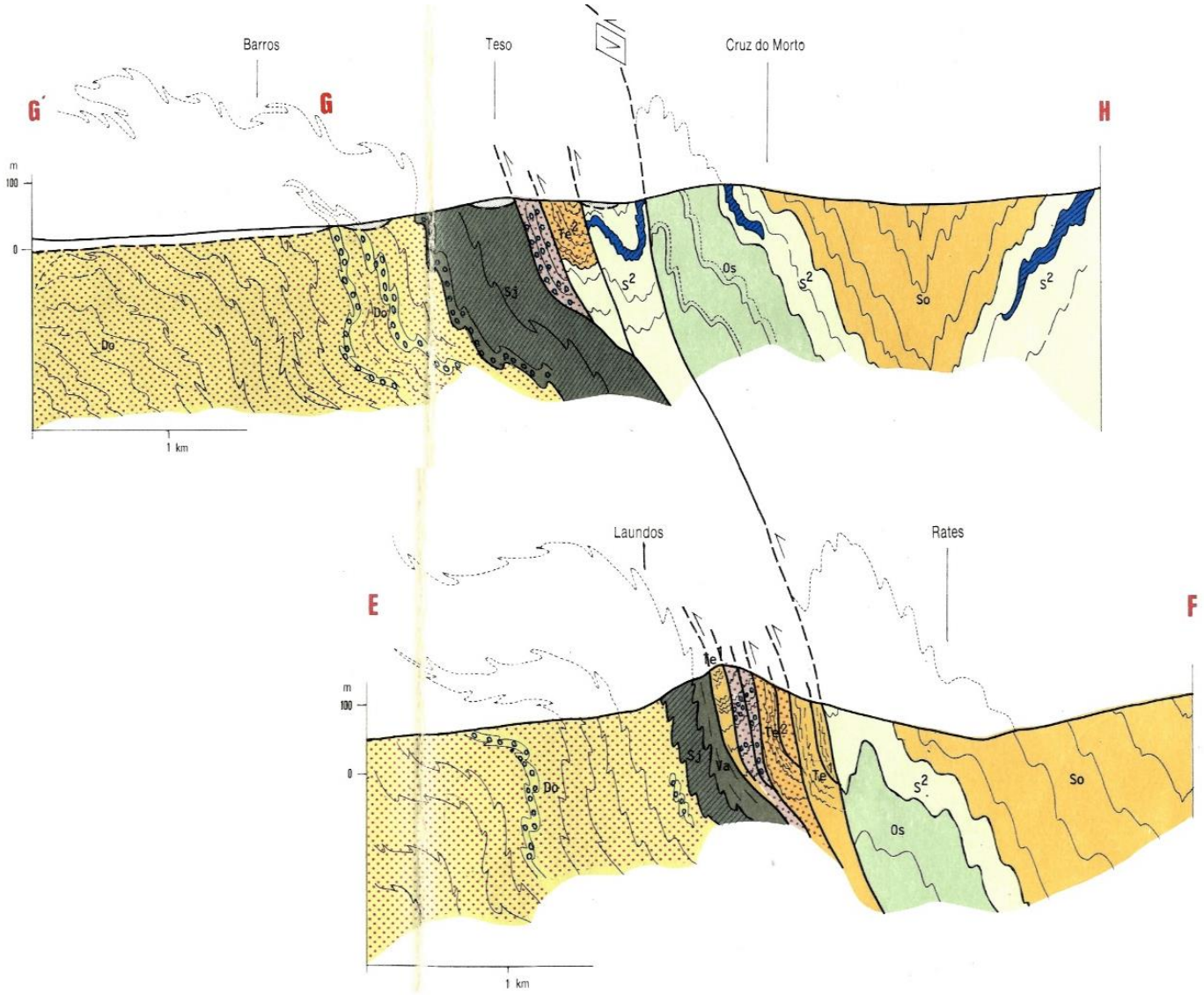
Thompson, J. F. H., Sillitoe, R. H., Baker, T., Lang, J. R. and Mortensen, J. K. (1999). Intrusion-related gold deposits associated with tungsten-tin provinces Mineralium Deposita, v. 34: 323-334.

Vera, J.A. (Ed.), 2004, Geología de España. SGE-IGME, Madrid, 890p. (Bloque 2 del programa de teoría)

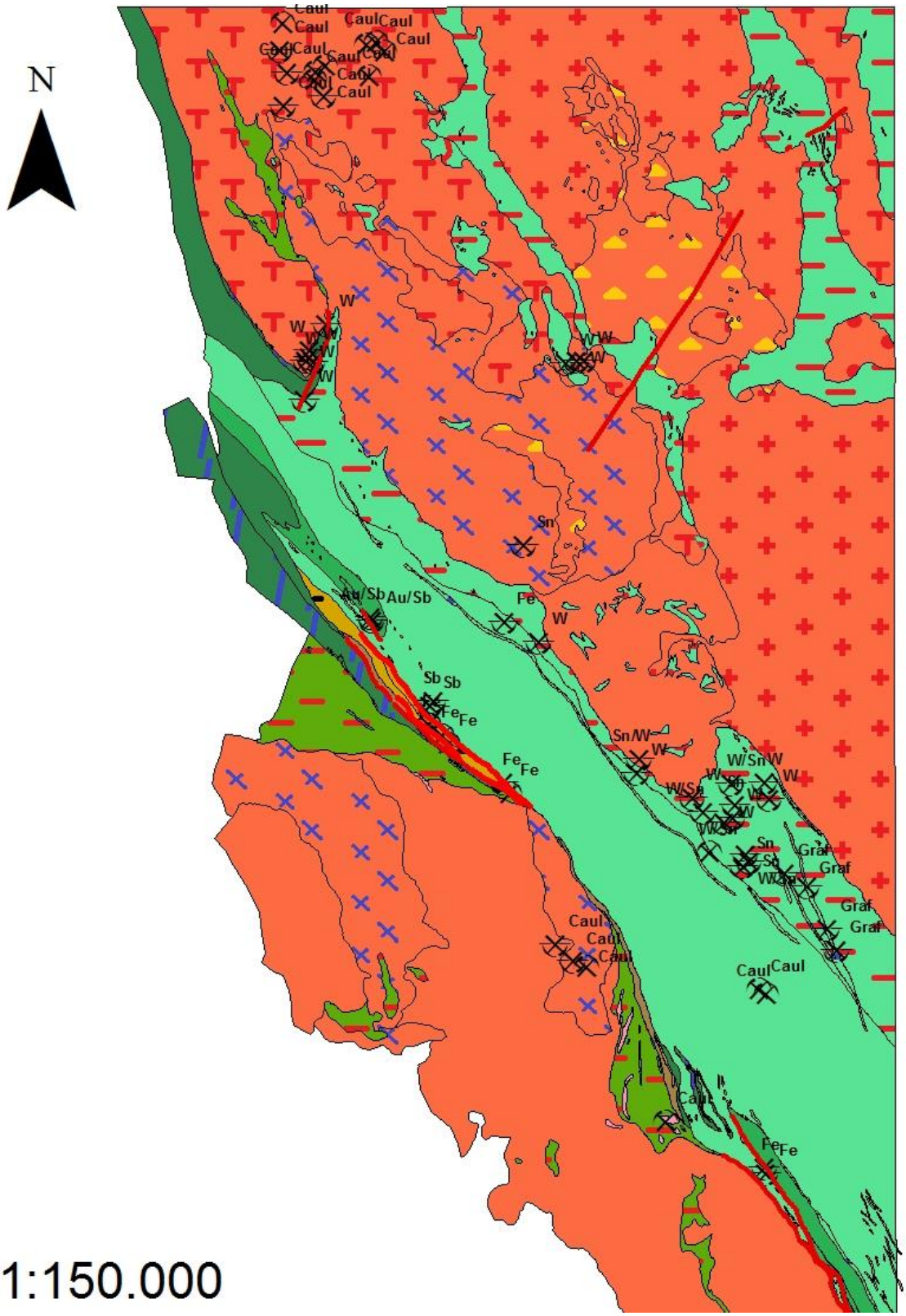
Vieira R, (2010), Aplitopegmatitos com elementos raros da região entre Almendre (V. N. De Foz-Côa) e Barca DÁlva (Figeira De Castelo Rodrigo). Campo aplitopegmatítico da Fregeneda-Almendra. Noronha, F., Ramos, J. M. F., Rebelo, J. A., Ribeiro, A. & Ribeiro, M. L. (1981). Essai de corrélation des phases de déformation hercynienne dans le Nord-Ouest Péninsulaire. Leid. Geol. Meded.

ANEXOS

Anexo I


Barros
Teso
Cruz do Morto
G´
G
H
m
100
0
Do
Sj
Te
S2
Os
So
1 km
Laundos
Rates
E
F
Va
1 km

Anexo II



Legenda
Falhas
Minas
legenda
Desativada
Ativada
Poligono finalr
<all other values>
Litologi_1
Complexo xisto-granito
Conglomerados intercalados
Conglomerados, arcoses, xistos com vegetais, etc...
Corneanas, xistos andaluzíticos, granatíferos, luzentes, etc..
Granito de grão médio ou grosseiro (Granito da pousa)
Granito não porfiróide de grão fino
Granito não porfiróide de grão médio
Granito porfiróide de grão muito grosseiro ou apenas grosseiro
Granito porfiróide de grão médio às vezes grosseiro
Granodiorito de grão médio ou médio a fino, frequentemente porfiroide
Grés micáceos, por vezes quartziticos, com restos de peixes, etc...
Quartzitos
Quartzitos (D)
Quartzitos (O)
Quarzitos com Bilobites
Rochas filonianas - Filões e massas de pórfiro granitico
Rochas filonianas - Filões graníticos, aplíticos e aplito-pegmatíticos
Xistos amarelos-arroxeados com fósseis. Quartzitos e grés friáveis intercalados
Xistos amplitosos com "Monograptus"
Xistos amplitosos e ftanitos
Xistos argilosos, ardosíferos, com fósseis (Xistos de Valongo)
Xistos e grauvaques Ordovícico
Xistos e grauvaques Silúrico
Xistos e grauvaques, mais ou menos metamorfizados
granitóides biotíticos com plagióclase cálcica sin-orogénicos, ante- a sin D3 (y"1)
granitóides de duas micas Hercínicos sin-tectónicos relativamente a F3 (y"3)

Anexo III

Id	IWDR	X	Y	XXXX	YYYY	SI02	AL2X	FE2X	CAO	MGO	K20	MNO	P205	LI	BE	B	V	CR	NI	CO	CU	ZN	AS	AU	AG	SR	BA	LA	CE	Y	SB	NO	W	SN	SB	PB	BI	CD	ZR
1	1063	-42255	189401	-42,255	189,401	58	25,4	4,2	1	0,7	5,8	0,1	3039	263	5	84	57	50	24	6	33	89	38	20	0,3	67	353	79	131	13	36	6	10	15	10	62	1	4	315
2	1064	-41069	189528	-41,069	189,528	61,5	19,8	5,9	1	0,6	4,2	0,1	1160	148	4	87	106	100	66	25	25	190	26	20	0,1	66	541	69	125	33	29	5	1	5	5	52	1	3	213
3	1065	-41019	188357	-41,019	188,357	62,8	20	5,2	1	0,4	3,9	0	1277	86	1	155	141	115	34	3	35	45	23	20	0,1	63	484	51	111	33	27	5	8	5	5	50	1	3	309
4	1066	-41000	188580	-41	188,58	62,7	20	5,4	1	0,4	3,2	0	1311	64	2	128	130	110	34	2	32	34	33	20	0,1	59	467	51	104	30	27	5	6	5	5	52	1	3	363
5	1067	-40214	188200	-40,214	188,2	61,9	18,1	8,3	1	0,5	4	0,3	1508	84	3	205	104	89	46	96	41	100	70	20	0,1	66	476	90	164	35	31	5	6	5	5	62	1	3	384
6	1068	-40342	188497	-40,342	188,497	64,2	16,8	5,3	1	0,7	4,3	0,1	3492	76	2	145	93	91	53	32	67	169	72	20	0,1	66	477	93	177	34	35	5	3	10	8	72	1	3	364
7	1069	-40817	190464	-40,817	190,464	57,1	21,2	7,4	1	0,8	5	0,1	1250	78	2	85	113	100	33	6	28	75	51	20	0,1	72	581	68	125	27	32	2	1	13	5	125	1	3	224
8	1070	-41735	190398	-41,735	190,398	65,1	17,5	5,1	1	0,6	3,7	0	1448	80	2	83	92	86	48	13	79	106	28	20	0,1	63	447	76	136	37	31	2	1	5	5	39	1	2	376
9	1071	-42896	190122	-42,896	190,122	62,1	20,8	2,3	1	0,6	5,3	0	2256	181	8	111	33	37	20	5	72	89	43	20	0,1	60	305	46	111	22	32	1	1	8	5	51	1	2	308
10	1072	-42595	190908	-42,595	190,908	69,4	14,4	4,7	1	0,3	2,4	0	1852	63	2	84	81	68	29	4	93	76	31	20	0,1	56	321	29	87	24	30	4	1	5	5	33	1	1	459
11	1073	-42244	191497	-42,244	191,497	61,2	21,7	6,2	1	0,6	3,9	0,2	2129	101	2	78	115	97	47	23	94	107	30	20	0,1	70	533	60	151	31	29	1	1	5	5	55	1	3	298
12	1074	-42516	191869	-42,516	191,869	63,6	18,4	5,6	1	0,7	3,7	0,1	1512	76	2	74	95	88	40	8	56	78	34	20	0,1	72	496	62	123	32	32	3	1	5	5	39	1	2	419
13	1075	-43319	192460	-43,319	192,46	61,6	20,9	6,1	1	0,8	4,1	0,1	2342	120	3	86	107	95	43	12	130	121	41	20	0,1	77	532	74	152	33	28	2	1	5	5	43	1	2	295
14	1076	-43690	191463	-43,69	191,463	59	24,1	2,6	1	0,7	5,7	0	2829	217	9	70	41	41	20	6	68	104	14	20	0,1	75	333	59	128	10	34	1	1	11	5	51	1	3	283
15	1077	-43527	191797	-43,527	191,797	58,6	25,6	4,1	1	0,8	5,2	0,1	3023	213	6	63	52	47	26	6	117	96	29	20	0,1	68	343	52	112	11	32	3	1	13	8	72	1	3	246
16	1078	-44273	192754	-44,273	192,754	61,6	18,4	6,6	1	0,7	4,3	0,1	3231	86	3	86	96	91	43	25	256	168	15	20	0,1	90	475	73	131	32	30	3	1	6	13	76	1	3	244
17	1079	-44646	193790	-44,646	193,79	63,7	18,5	5,1	1	0,5	3,9	0,1	1488	102	2	87	93	85	39	14	44	97	25	20	0,1	92	460	66	116	27	31	3	1	5	32	53	1	2	321
18	1080	-45461	193389	-45,461	193,389	62,9	18,7	5,5	1	0,5	3,8	0	1660	88	2	98	109	99	40	9	65	93	5	20	0,1	54	452	45	91	23	27	4	1	5	5	40	1	2	293
19	1081	-45960	193992	-45,96	193,992	66,4	20	3,7	1	0,4	2,7	0	1508	59	1	89	112	102	30	5	20	34	26	20	0,1	75	437	70	119	33	32	4	1	5	13	47	1	3	468
20	1082	-46637	193956	-46,637	193,956	65	19,5	5	1	0,5	3,9	0	1677	60	1	102	133	116	35	10	128	84	24	20	0,1	54	481	48	95	28	29	3	2	5	9	46	1	3	308
21	1083	-47348	194442	-47,348	194,442	62,4	19,6	5,4	1	0,7	4,3	0,1	1518	69	1	93	137	118	44	10	150	112	26	20	0,1	61	527	50	101	28	26	4	1	5	7	47	1	3	262
22	1084	-45113	194771	-45,113	194,771	62,6	17,4	6,2	1	0,7	3,7	0,1	2381	74	2	87	98	96	42	12	211	136	7	20	0,1	85	471	74	128	32	31	3	1	5	7	44	1	2	318
23	1085	-45649	195392	-45,649	195,392	59,1	19,3	6,5	1	0,7	3,9	0,1	2294	94	3	91	118	106	49	18	261	145	26	20	0,1	95	521	64	127	33	29	2	1	5	16	51	1	2	291
24	1086	-46515	195909	-46,515	195,909	69,5	16,2	4,3	1	0,3	2,6	0,1	1521	52	2	80	90	81	40	15	102	85	5	20	0,1	99	385	44	96	27	31	3	1	5	8	29	1	2	307
25	1087	-46476	196250	-46,476	196,25	59,7	20,8	6,1	1	0,8	4,5	0,1	1430	107	2	89	111	105	48	13	47	111	54	20	0,1	88	567	69	160	29	32	4	3	5	7	49	1	3	251
26	1088	-47371	197300	-47,371	197,3	55,2	26,8	5,5	1	0,6	6,4	0	1372	95	3	179	276	142	50	11	41	86	80	20	0,3	126	826	69	138	33	39	12	11	5	34	50	1	4	206
27	1089	-46848	196381	-46,848	196,381	65,6	17,4	4,6	1	0,6	3,3	0	1091	80	1	87	93	84	35	9	31	85	24	20	0,1	82	445	51	99	31	30	1	1	5	35	44	1	2	322
28	1090	-47942	198380	-47,942	198,38	62,7	19	6,3	1	0,7	3,9	0,1	1608	81	3	122	181	97	56	24	109	158	32	20	0,1	82	563	79	145	38	33	8	1	5	28	46	1	3	284
29	1091	-48141	195801	-48,141	195,801	64,5	21,3	4,6	1	0,4	2,8	0,1	2563	131	2	85	112	103	37	9	61	73	39	20	0,1	95	398	47	107	33	32	4	1	5	11	64	1	3	333
30	1092	-49456	195848	-49,456	195,848	69,5	14,5	4,8	1	0,5	3	0,1	1989	44	1	79	86	83	35	9	51	101	20	20	0,1	61	363	41	84	24	34	3	1	5	12	50	1	2	381
31	1093	-49989	195992	-49,989	195,992	70,3	15,1	4,9	1	0,6	3,1	0,1	1259	43	1	95	104	91	36	11	131	103	15	30	0,1	44	413	36	92	26	34	3	1	5	5	38	1	2	473
32	1094	-50288	196966	-50,288	196,966	68,6	13,1	5,1	1	0,5	3,4	0,1	1411	41	1	86	90	82	38	10	42	115	27	105	0,1	54	362	87	192	46	45	5	1	39	5	42	1	2	450
33	1095	-49174	197689	-49,174	197,689	67,5	19	3,3	1	0,3	2,7	0	1068	104	1	88	91	89	32	12	13	52	38	20	0,1	86	359	67	129	36	35	3	1	5	14	44	1	2	499
34	1096	-48083	197531	-48,083	197,531	58,8	20,2	7	1	0,6	4,6	0	1682	97	2	95	111	104	39	13	70	89	43	20	0,1	105	555	61	116	33	32	4	4	5	121	45	1	2	312
35	1097	-48287	197674	-48,287	197,674	63,1	18,4	6,7	1	0,8	4,4	0,1	2523	80	2	105	109	95	48	23	162	158	16	20	0,1	90	511	77	142	35	32	4	4	5	16	75	1	3	308
36	1098	-48956	199077	-48,956	199,077	55	25,2	6,5	1	0,6	4,7	0	1412	160	3	100	333	128	79	33	124	223	86	30	0,2	150	875	68	120	36	33	14	9	5	44	48	1	3	227
37	1099	-48421	199460	-48,421	199,46	62,4	17	6,4	1	1	3,8	0,1	1587	87	2	120	137	91	54	20	110	161	5	25	0,1	78	512	75	154	41	38	6	9	5	20	33	1	3	313
38	1100	-48587	199671	-48,587	199,671	53,7	23,8	8	1	1	5,2	0,4	1832	98	4	93	331	128	61	52	59	142	38	20	0,1	137	864	68	131	35	30	12	2	5	17	31	1	4	207
39	1101	-49458	199152	-49,458	199,152	63,6	18,4	5,9	1	0,5	3,8	0,3	1706	93	3	94	159	99	74	31	57	220	19	20	0,1	109	624	60	135	36	30	6	1	5	76	52	1	3	394
40	1102	-49833	198744	-49,833	198,744	69,4	17,6	4,8	1	0,3	1,8	0,1	1610	91	3	86	107	89	37	17	43	127	16	20	0,1	79	306	68	142	45	36	4	1	5	14	50	1	2	852
41	1103	-50808	199633	-50,808	199,633	67	17,9	4,3	1	0,4	2,9	0,1	2794	111	3	81	99	91	44	20	61	150	28	20	0,1	111	367	67	153	40	36	5	1	15	8	54	1	3	606
42	1104	-50633	199899	-50,633	199,899	66,8	17,4	4,6	1	0,4	2,9	0	1381	115	3	78	106	77	81	22	43	121	37	20	0,1	96	411	53	120	33	32	4	1	5	15	29	1	2	445

Anexo IV

Analyte	Recvd Wt.	Au	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ga	Hg	K
	0,02	0,01	0,2	0,01	2	10	10	0,5	2	0,01	0,5	1	1	1	0,01	10	1	0,01
K23	0,28	<0.01	1,1	0,09	43	<10	210	<0.5	<2	<0.01	<0.5	1	9	81	2,05	<10	<1	0,03
K24	1,1	0,3	0,4	0,21	1140	<10	30	<0.5	<2	0,03	<0.5	1	12	11	1,73	<10	<1	0,11
K25	0,22	0,21	4	0,04	6	<10	10	<0.5	<2	0,01	1,7	2	6	226	0,7	<10	<1	0,01
K26	1,1	0,01	<0.2	0,24	35	<10	40	<0.5	<2	0,01	<0.5	<1	16	21	1,78	<10	<1	0,1
K27	0,7	0,02	<0.2	0,14	3	<10	30	<0.5	2	<0.01	<0.5	<1	13	7	0,6	<10	<1	0,03
K33	1,28	<0.01	0,7	2	136	<10	60	1,2	3	<0.01	<0.5	10	21	220	6,71	<10	<1	0,24
K34	0,7	0,01	0,2	1,07	24	10	60	0,5	4	0,03	<0.5	<1	118	603	25,7	60	<1	0,21
	kg	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%

Method	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41
Analyte	La	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Sb	Sc	Sr	Th	Ti	Tl	U	V	W	Zn
	10	0,01	5	1	0,01	1	10	2	0,01	2	1	1	20	0,01	10	10	1	10	2
K23	<10	<0.01	31	14	<0.01	21	50	13	0,6	18	1	18	<20	<0.01	<10	10	15	<10	19
K24	<10	0,01	36	1	0,01	3	30	8	1,38	21	<1	9	<20	<0.01	<10	<10	3	<10	2
K25	<10	<0.01	24	<1	<0.01	<1	20	171	6,18	>10000	<1	4	<20	<0.01	<10	<10	1	<10	82
K26	10	0,01	33	5	<0.01	1	270	33	0,02	151	1	36	<20	<0.01	<10	<10	162	<10	8
K27	<10	<0.01	38	11	<0.01	2	40	6	0,01	10	1	22	<20	<0.01	<10	<10	33	<10	3
K33	10	0,53	104	6	0,02	37	210	19	1,18	14	3	12	<20	0,03	<10	<10	182	<10	95
K34	<10	0,01	12	2	0,02	<1	150	20	0,08	36	6	10	<20	0,01	<10	<10	1150	<10	35
	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm

	Au-AA25	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41
SAMPLE	Au	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ga	Hg	K	La	Mg	Mn	
DESCRIPTI	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	%	ppm	
K39	0,02	0,30	3,14	136,00	<10	50,00	3,40	<2	<0.01	<0.5	10,00	38,00	68,00	24,70	<10	<1	0,15	10,00	0,03	119,00	
K40	<0.01	0,30	0,66	21,00	<10	50,00	1,40	<2	0,02	<0.5	8,00	14,00	22,00	6,39	<10	<1	0,07	10,00	0,03	136,00	
K41	<0.01	0,40	1,60	240,00	<10	60,00	15,10	7,00	0,02	<0.5	12,00	13,00	161,00	20,20	<10	<1	0,13	10,00	<0.01	95,00	
K42	<0.01	<0.2	0,49	285,00	<10	30,00	<0.5	<2	<0.01	<0.5	<1	58,00	44,00	6,73	<10	<1	0,08	<10	<0.01	50,00	

ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	ME-ICP41	
K	La	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Sb	Sc	Sr	Th	Ti	Tl	U	V	W	Zn	ME-ICP41	
%	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	Zn	
K39	0,15	10,00	0,03	119,00	6,00	0,01	50,00	5090,00	45,00	0,08	91,00	7,00	6,00	20,00	<0.01	<10	20,00	51,00	<10	180,00	
K40	0,07	10,00	0,03	136,00	1,00	<0.01	33,00	1470,00	110,00	<0.01	55,00	3,00	268,00	<20	<0.01	<10	<10	8,00	<10	189,00	
K41	0,13	10,00	<0.01	95,00	8,00	0,01	99,00	4260,00	2150,00	0,01	1025,00	5,00	191,00	<20	<0.01	<10	10,00	29,00	<10	454,00	
K42	0,08	<10	<0.01	50,00	54,00	0,02	<1	480,00	25,00	0,01	98,00	7,00	23,00	<20	<0.01	<10	20,00	854,00	<10	16,00	