



**Gonçalo José Fontes Rosa Barata de Matos**

Licenciado em Engenharia Geológica

**Metodologia para a avaliação do potencial de  
valorização das escombreyras das minas de  
Senhora da Guia e Vale Pião – fase preliminar**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Geológica (Georrecursos)

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria da Graça de Azevedo Brito, FCT/UNL

Co-orientador: Dr. Carlos José Paulino Rosa, EDM, S.A.

Júri:

Presidente: Prof. Dr. José António de Almeida, FCT/UNL

Arguente: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Sofia Verónica Trindade Barbosa, FCT/UNL

Vogal: Dr. Carlos José Paulino Rosa, EDM, S.A.



**Metodologia para a avaliação do potencial de valorização das escombreiras das minas de Senhora da Guia e Vale Pião – fase preliminar**

Copyright © Gonçalo José Fontes Rosa Barata de Matos, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2016.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## **Agradecimentos**

A realização da presente dissertação contou com o apoio e orientação de diversas pessoas e entidades, que grandemente contribuíram para o resultado final deste trabalho. É, por isso, devido às mesmas, um especial agradecimento.

À Professora Doutora Maria da Graça Brito, por toda a ajuda, orientação e paciência que em muito contribuíram para que esta dissertação ganhasse forma e chegasse ao presente estado.

Ao Doutor Carlos Rosa, pela amizade, orientação e crítica perspicazes que em muito definiram o rumo e opções tomadas ao longo deste trabalho.

À EDM, pela possibilidade de desenvolver este trabalho, nomeadamente pelos meios facultados para a realização da campanha de campo e análises laboratoriais e também ao Frederico Martins e à Daniela Lobarinhas pelo apoio e boa disposição durante os trabalhos de campo.

Ao Professor Doutor Martim Chichorro pela disponibilidade e ensinamento transmitidos relativos à caracterização mineralógica e também à Ana Macedo e ao Pedro Baptista pela imprescindível ajuda na realização do trabalho laboratorial de caracterização mineralógica.

Aos meus pais pelo amor e apoio incondicional, tanto nos momentos bons, como nos menos bons e por, acima de tudo, serem os dois grandes pilares da minha vida.

À Rita por ser a pessoa que preenche a minha vida e com quem tenho tido o prazer de partilhar tantos bons momentos e de seguir de mão dada nos momentos menos bons. Pelo constante incentivo e motivação que tão importante foi para realizar este trabalho.

Aos meus colegas de curso, em particular ao Gonçalo, ao Ricardo, ao Bruno, aos “Andrés” (Sanches e Costa) e à Laura pela amizade e companheirismo que tornou o meu percurso académico muito mais estimulante.

À restante família e amigos pelo suporte que cada um à sua maneira me proporcionou.



## Resumo

No concelho de Góis contabilizam-se diversas explorações mineiras abandonadas devido à intensa actividade de exploração de estanho e volfrâmio na primeira metade do séc. XX, nomeadamente as minas de Senhora da Guia e Vale Pião. Neste trabalho apresenta-se uma metodologia de investigação preliminar para a quantificação dos recursos de Sn e W existentes nas escombreyras destas minas e para a avaliação do seu potencial de exploração.

A metodologia desenvolve-se em 4 etapas: (i) etapa 1 – Inventariação das escombreyras potenciais; (ii) etapa 2- Campanha de recolha de dados de campo; (iii) etapa 3 – Caracterização laboratorial de amostras e; (iv) etapa 4 – Caracterização de recursos de Sn e W.

A etapa 1 teve por objectivo a inventariação das escombreyras em SIG, que ajudou à realização dos trabalhos da etapa 2 de colheita de amostras no campo. A etapa 3 compreendeu a realização de diversos procedimentos de caracterização (granulométrica, analítica e mineralógica) das amostras, o que permitiu obter os dados para a etapa 4, onde foi realizado o cálculo preliminar dos recursos de Sn e W existente nas escombreyras de Senhora da Guia e Vale Pião.

Na mina de Senhora da Guia foram amostradas oito escombreyras, tendo sido seleccionadas apenas duas que poderão vir a ser utilizadas para estudo do potencial de recuperação de minérios de W, numa fase posterior de investigação detalhada, por apresentarem teores de W entre os 2,0 e os 6,2Kg/m<sup>3</sup>. A mineralização de cassiterite é quase inexistente nesta mina, pelo que os teores de Sn obtidos são residuais. Na mina de Vale Pião foram amostradas cinco escombreyras, das quais foram seleccionadas, para avaliação posterior, apenas três por apresentarem teores de Sn entre os 1,4 e 5,7Kg/m<sup>3</sup> e de W entre 1,6 e 2,9Kg/m<sup>3</sup>. Em ambas as minas os teores mais elevados de mineralização de Sn ou de W foram observados nas fracções mais finas (<2mm) dos materiais das escombreyras. De salientar que a presente fase de investigação preliminar compreende um grau de incerteza associado às diversas etapas, nomeadamente no que diz respeito ao plano de amostragem aplicado, aos procedimentos laboratoriais, incluindo as fracções granulométricas seleccionadas para os mesmos e ainda o procedimento de cálculo do volume das escombreyras.

Palavras-chave: áreas mineiras abandonadas, estanho, volfrâmio, recurso mineral, valorização de escombreyras



## Abstract

In Góis municipality, there are many abandoned mines due to the intense mining exploration of tin and tungsten in the first half of the 20<sup>th</sup> century, namely Senhora da Guia and Vale Pião mines. The present study proposes a methodology for the preliminary Sn and W resources' quantification and evaluation of the exploitation potential of the waste rock piles.

The methodology is developed in 4 stages: (i) stage 1 – waste rock piles inventory; (ii) stage 2 – waste rock piles and sediment sampling campaign; (iii) stage 3 – samples' laboratorial characterization and; (iv) stage 4 – preliminary Sn and W resources calculation.

Stage 1 objective was to do the inventory of the existing waste rock piles in GIS, which helped the realization of stage 2 (field sampling). Stage 3 consisted in several samples' characterization procedures (granulometric, analytic and mineralogic), providing the essential data to perform stage 4, where the preliminary Sn and W resources calculation was done.

In Senhora da Guia mine, eight waste rock piles were sampled, having been selected two for a possible evaluation on W ore recovery potential, in a detailed investigation phase, because they showed W grades between 2,0 and 6,2Kg/m<sup>3</sup>. Cassiterite mineralization is almost non-existent in this mine, therefore Sn grades are residual. In Vale Pião mine, five waste rock piles were sampled, from which only three were selected for posterior evaluation, by showing Sn grades between 1,4 and 5,7Kg/m<sup>3</sup> and W grades between 1,6 and 2,9Kg/m<sup>3</sup>. In both mines, the higher Sn and W grades were obtained in the finer material fractions (<2mm) of the waste rock piles. It should be noted that the current preliminary phase of study includes a high degree of uncertainty associated to its different stages, namely the field sampling plan applied, the laboratory procedures including the granulometric fractions selected to be characterized and also the procedure for the volume calculation of the waste rock piles.

Keywords: abandoned mining areas, tin, tungsten, mineral resources, waste rock piles exploration



# Índice de matérias

Agradecimentos.....	V
Resumo.....	VII
Abstract .....	IX
Índice de matérias.....	XI
Índice de figuras .....	XIII
Índice de tabelas .....	XVII
Listas de abreviaturas, siglas e símbolos.....	XIX
1. Introdução .....	- 1 -
1.1 Importância e objectivos do estudo.....	- 1 -
1.2 Valorização dos resíduos da actividade mineira – Estado da arte.....	- 1 -
1.3 Enquadramento legal.....	- 3 -
1.4 Organização da dissertação .....	- 4 -
2. Estanho e Volfrâmio – Propriedades, aplicações e ocorrências .....	- 7 -
2.1 Propriedades e aplicações.....	- 7 -
2.2 Mineralogia e tipos de depósitos .....	- 8 -
2.3 Ocorrências nacionais e internacionais .....	- 10 -
3. O Couto Mineiro de Góis e as minas de Senhora da Guia e Vale Pião.....	- 13 -
3.1 Enquadramento geográfico e geológico .....	- 13 -
3.1.1 Geologia regional .....	- 14 -
3.2 Enquadramento histórico.....	- 18 -
3.3 Principais concessões no Couto Mineiro de Góis .....	- 19 -
3.3.1 Mina de Senhora da Guia .....	- 20 -
3.3.2 Mina de Vale Pião .....	- 21 -
4. Metodologia para a avaliação do potencial de valorização de escombrelas - Fase preliminar ...	- 23 -
4.1 Etapa 1 – Inventariação das escombrelas potenciais.....	- 23 -
4.2 Etapa 2 – Campanha de recolha de amostras das escombrelas e envolvente.....	- 25 -

4.3 Etapa 3 – Caracterização laboratorial das amostras .....	- 26 -
4.4 Etapa 4 – Caracterização de recursos de Sn e W.....	- 30 -
5. Fundamentos teóricos.....	- 35 -
5.1 Amostragem de resíduos mineiros .....	- 35 -
5.2 Caracterização laboratorial de resíduos mineiros.....	- 38 -
5.3 Estatística descritiva.....	- 40 -
6. Metodologia aplicada e resultados obtidos .....	- 43 -
6.1 Etapa 1 - Inventariação das escombrelras potenciais .....	- 43 -
6.2 Etapa 2 - Campanha de recolha de amostras das escombrelras e envolvente .....	- 46 -
6.3 Etapa 3 - Caracterização laboratorial das amostras .....	- 52 -
6.3.1 Caracterização analítica .....	- 53 -
6.3.2 Caracterização granulométrica .....	- 69 -
6.3.3 Caracterização mineralógica.....	- 76 -
6.4 Etapa 4 - Caracterização de recursos de Sn e W .....	- 85 -
7. Síntese de resultados e considerações finais .....	- 91 -
Bibliografia.....	- 97 -
Anexos.....	- 101 -
Anexo I - Caracterização geoespacial e da tipologia das escombrelras inventariadas em campo....	- 103 -
Anexo II - Massa inicial e massa seca das amostras de SG e VP.....	- 105 -
Anexo III - Massas das subamostras X e Y de SG e VP .....	- 107 -
Anexo IV - Caracterização analítica das amostras .....	- 108 -
Anexo V - Análise univariada de Sn e W presente nas amostras de VP.....	- 117 -
Anexo VI - Análise univariada de Sn e W presente nas amostras de SG.....	- 119 -
Anexo VII - Matriz das coordenadas nos 7 eixos factoriais da ACP para a mina de SG.....	- 121 -
Anexo VIII - Matriz das coordenadas nos 7 eixos factoriais da ACP para a mina de VP .....	- 123 -
Anexo IX - Caracterização granulométrica das amostras .....	- 125 -
Anexo X - Curvas granulométricas das amostras.....	- 129 -

## Índice de figuras

Figura 3-1 - Localização rio Ceira face às minas de Senhora da Guia e Vale Pião (Carta Militar nº243, 1992).....	- 14 -
Figura 3-2 - Localização geográfica das minas SG e VP (Google Earth, 2015) .....	- 14 -
Figura 3-3 - Mapa das concessões do Couto Mineiro de Góis (DGGM, 1988) .....	- 19 -
Figura 3-4 - Diagrama das galerias da mina de Senhora da Guia (Escala 1:1000) (DGGM, 1988) .-	21 -
Figura 3-5 - Diagrama da mina de Vale Pião, com brechas mineralizadas indicadas a vermelho (Escala 1:500) (DGGM, 1988).....	- 22 -
Figura 4-1 – Fluxograma da metodologia aplicada na fase de investigação preliminar .....	- 23 -
Figura 5-1 - Tipos de malhas de amostragem (Adaptado de Brito, 2005) .....	- 36 -
Figura 5-2- Separação de minerais pesados com bromofórmio .....	- 40 -
Figura 6-1 - Escombrelas de SG e VP inventariadas em gabinete.....	- 44 -
Figura 6-2 - Malha de amostragem teórica de SG e VP.....	- 46 -
Figura 6-3 - Escombrelas de SG e VP inventariadas em campo com a respectiva referência.....	- 47 -
Figura 6-4 - Materiais da escombrela VP-A .....	- 48 -
Figura 6-5 – Tipologias das escombrelas de SG.....	- 49 -
Figura 6-6 - Tipologias das escombrelas de VP.....	- 50 -
Figura 6-7 - Malha de amostragem prática de SG e VP.....	- 51 -
Figura 6-8 - Procedimento de amostragem com trado manual (esquerda) e acondicionamento da amostra SG-G1 (direita).....	- 52 -
Figura 6-9 - Rede de drenagem e localização das amostras de sedimentos e de controlo .....	- 52 -
Figura 6-10 - Resultados analíticos de Sn e W (Senhora da Guia) .....	- 54 -
Figura 6-11 - Resultados analítico de Sn e W (Vale Pião).....	- 55 -
Figura 6-12 - Mapa de quartis de teores de W das amostras YF em SG.....	- 58 -
Figura 6-13 - Mapa de quartis de teores de W das amostras YG em SG .....	- 58 -
Figura 6-14 - Mapa de quartis de teores de W das amostras YF em VP.....	- 59 -
Figura 6-15 - Mapa de quartis de teores de W das amostras YG em VP .....	- 59 -
Figura 6-16 - Mapa de quartis de teores de Sn das amostras YF em SG .....	- 60 -

Figura 6-17 - Mapa de quartis de teores de Sn das amostras YG em SG.....	60 -
Figura 6-18 - Mapa de quartis de teores de Sn das amostras YF em VP .....	61 -
Figura 6-19 - Mapa de quartis de teores de Sn das amostras YG em VP.....	62 -
Figura 6-20 – Projecção dos elementos e amostras nos eixos F1/F2 .....	64 -
Figura 6-21 - Projecção dos elementos e amostras nos eixos F1/F3 .....	65 -
Figura 6-22 - Projecção dos elementos e amostras nos eixos F1/F2 .....	68 -
Figura 6-23 - Projecção dos elementos e amostras nos eixos F1/F3 .....	68 -
Figura 6-24 - Curva granulométrica da amostra SG-B2-X .....	70 -
Figura 6-25 - Curva granulométrica da amostra SG-F1-X.....	71 -
Figura 6-26 - Escombreiras de Senhora da Guia classificadas por granulometria dos materiais .....	72 -
Figura 6-27 - Curva granulométrica da amostra VP-A1-X .....	73 -
Figura 6-28 - Curva granulométrica da amostra VP-A4-X .....	73 -
Figura 6-29 - Curva granulométrica da amostra VP-B1-X .....	74 -
Figura 6-30 - Curva granulométrica da amostra VP-C3-X .....	74 -
Figura 6-31 - Escombreiras de Vale Pião classificadas por granulometria dos materiais .....	75 -
Figura 6-32 - Grãos de <i>scheelite</i> (esquerda) e pirite (direita) na amostra SG-B2-XFNM (ampliação: 10X) .....	79 -
Figura 6-33 - Grãos de arsenopirite com turmalina (esquerda), wolframite (cima) e barite (direita) na amostra SG-B2-XFM (ampliação: 40X) .....	79 -
Figura 6-34 - Fluorescência da <i>scheelite</i> por acção da radiação UV (ampliação: 40X).....	80 -
Figura 6-35 - SG-F1-XFM (ampliação: 10X) .....	80 -
Figura 6-36 - SG-F1-XFNM (Ampliação: 40X) .....	81 -
Figura 6-37 - Grãos de pirite em VP-A1-XFNM (Ampliação: 40X).....	81 -
Figura 6-38 - Subamostra VP-A4-XFM com grãos de turmalina (verde escuro) e calcopirite (cinzento) (Ampliação: 10X).....	82 -
Figura 6-39 - Diversos minerais como <i>scheelite</i> (em cima à direita), apatite (em baixo à esquerda) e cassiterite (em baixo à direita) na amostra VP-B1-XFNM (Ampliação: 40X) .....	82 -
Figura 6-40 - Grãos de cassiterite em VP-C3-XGNM (Ampliação: 10X) .....	83 -
Figura 6-41 - Grafico das percentagens de minerais de interesse nas amostras.....	84 -

Figura 6-42 - Grafico das percentagens de minerais nas amostras.....	- 84 -
Figura 6-43 - Superfície e pontos cotados da escombreira VP-B.....	- 86 -
Figura 6-44 - Comparação dos valores de teores calculados nas caracterizações analítica e mineralógica .....	- 89 -
Figura 7-1 - Quantidade de Sn e W nas escombreiras B e F de Senhora da Guia.....	- 94 -
Figura 7-2 - Quantidade de Sn e W das escombreiras A, B e C de Vale Pião .....	- 94 -



## Índice de tabelas

Tabela 6-1 - Estatísticos básicos do W e Sn nas minas de SG e VP .....	56 -
Tabela 6-2 - Teores das amostras de sedimentos de SG comparativamente ao quartil Q <sub>1</sub> (25%).....	57 -
Tabela 6-3 - Teores das amostras de sedimentos de VP comparativamente ao quartil Q <sub>1</sub> (25%).....	57 -
Tabela 6-4 - Código das amostras e tipologia das escombreyras de Senhora da Guia.....	63 -
Tabela 6-5 - Percentagem de explicação das amostras de SG nos eixos factoriais da ACP .....	64 -
Tabela 6-6 - Síntese das associações geoquímicas nas escombreyras de Senhora da Guia .....	66 -
Tabela 6-7 - Código das amostras e tipologia das escombreyras de Vale Pião.....	66 -
Tabela 6-8 - Percentagem de explicação das amostras de VP nos eixos factoriais da ACP .....	67 -
Tabela 6-9 - Síntese das associações geoquímicas nas escombreyras de Vale Pião .....	69 -
Tabela 6-10 - Massa das fracções 63, 125 e 250µm .....	76 -
Tabela 6-11 - Minerais pesados das amostras .....	77 -
Tabela 6-12 - Massas e percentagens obtidas com a separação magnética.....	78 -
Tabela 6-13 - Minerais presentes nas amostras .....	78 -
Tabela 6-14 - Percentagem de minerais importantes em cada subamostra.....	84 -
Tabela 6-15 - Dados de caracterização das escombreyras .....	86 -
Tabela 6-16 - Massas de minerais pesados das amostras (fracções e totais).....	87 -
Tabela 6-17 - Massas de volframite .....	87 -
Tabela 6-18 - Massas de <i>scheelite</i> .....	87 -
Tabela 6-19 - Massas de cassiterite .....	88 -
Tabela 6-20 - Percentagens de Sn e W nos minerais (Mindat.org, 2015) .....	88 -
Tabela 6-21 - Recursos de Sn e W obtidos na caracterização mineralógica .....	88 -
Tabela 6-22 - Tabela de síntese da caracterização das escombreyras .....	90 -



## Listas de abreviaturas, siglas e símbolos

AAS – *Atomic absorption spectrometry*

AES – *Atomic emission spectrometry*

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

CaWO<sub>4</sub> – Fórmula química da *scheelite*

CE – Comunidade Europeia

COFENA – Companhia de Ferro Nacional

EDM – Empresa de Desenvolvimento Mineiro

GPS – *Global positioning system*

ICP-MS – *Inductively coupled plasma mass spectrometry*

IR – *Infrared*

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia

M.A. – Milhões de anos

MS – *Mass spectrometry*

MTD – Melhores técnicas disponíveis

ppm – Partes por milhão

SARL – Sociedade anónima de responsabilidade limitada

SG – Senhora da Guia

Sn – Símbolo químico do estanho

SnO<sub>2</sub> – Fórmula química da cassiterite

SPLAL – Sociedade Portuguesa de Levantamentos Aéreos Lda.

UV – *Ultraviolet*

VP – Vale Pião

W – Símbolo químico do volfrâmio

WO<sub>3</sub> – Fórmula química da volframite

XRF – *X-ray fluorescence*



# **1. Introdução**

## **1.1 Importância e objectivos do estudo**

Os resíduos da actividade mineira são uma realidade em diferentes geografias do mundo. Com o encerramento das explorações, muitos destes resíduos são deixados no complexo mineiro sem solução para o seu acondicionamento. Quando a cotação de determinado metal atinge determinados valores, as escombrelas de antigas e actuais minas podem revelar-se interessantes para serem exploradas. As tecnologias actuais de exploração permitem a explorações com valores de teores bastante mais baixos do que no passado. Assim, a exploração de resíduos de actividade mineira, seja em escombrelas de metal não processado, seja em rejeitados, é cada vez mais uma realidade.

Em 2011, o Comité Económico e Social Europeu emitiu um parecer intitulado “Tratamento e exploração, para fins económicos e ambientais, dos resíduos industriais e mineiros da União Europeia”. Este parecer conclui que a forma mais viável de tratamento de resíduos não é a sua eliminação, mas sim um tratamento com fins económicos, melhorando o ambiente, a paisagem, o emprego e as condições sociais das comunidades envolvidas.

Neste contexto, e considerando factores como a evolução das técnicas de exploração, a variação ao longo dos anos dos teores de corte das explorações e ainda a necessidade de reabilitação dos locais das antigas minas, propõe-se nesta dissertação uma metodologia para a caracterização e avaliação preliminar do potencial de valorização das escombrelas de duas das mais importantes explorações de estanho e volfrâmio situadas no Couto Mineiro de Góis, um dos principais polos mineiros do país em meados do séc. XX (mina de Senhora da Guia e mina de Vale Pião), que se encontram abandonadas desde os anos 80, tendo deixado no solo uma quantidade significativa de depósitos de resíduos (escombrelas) que, após avaliação, poderão vir a ser alvo de recuperação e valorização económica.

Os resultados alcançados evidenciam que a exploração de materiais provenientes de antigas escombrelas tem potencial na realidade actual. A conjugação de variáveis como a existência de um vasto historial mineiro, que deixa para trás quantidades elevadas destes materiais, em conjunto com os preços crescentes de alguns metais e ainda a necessidade de estabelecer um compromisso firme com a preservação do ambiente são factores suficientes para que esta temática seja cada vez mais debatida.

## **1.2 Valorização dos resíduos da actividade mineira – Estado da arte**

A nível nacional, são diversos os trabalhos de índole científica que propõe metodologias de valorização dos recursos da actividade mineira. Vieira (2014) apresenta uma metodologia para a avaliação do potencial das escombrelas da mina de São Domingos. A base do estudo foram dados de

um programa de avaliação de escombrelas, efectuado pela CONASA em 1991, para o qual foram obtidas 1148 amostras. Foram consideradas diferentes classes litológicas, de acordo com os materiais presentes. Devido à localização das escombrelas junto à vila de São Domingos, alguns dos resíduos encontram-se em áreas com edificações, pelo que são considerados dois tipos de recursos: totais e condicionados. As amostras colhidas foram separadas em diferentes fracções granulométricas (>40mm, 40-9mm, 9-5mm e <2mm). Foi efectuada uma análise estatística dos dados de partida, por fracção granulométrica, tendo sido também calculados os volumes dos corpos de escombrelas abrangidos pelo estudo. Foi calculado um modelo de blocos, a partir do qual se puderam individualizar blocos de áreas onde a remobilização dos materiais das escombrelas é possível. Isto permitiu determinar o volume de material em questão, bem como os teores de Au e Ag existentes, através do método do inverso do quadrado da distância, que se cifraram para o ouro entre os 0,65 e os 1,07g/t e para a prata entre os 7,08 e os 10,01g/t.

Também Martins (2013) propõe uma metodologia para o aproveitamento dos rejeitados da mina de Neves Corvo. A metodologia compreende a caracterização analítica das amostras por Espectrometria de Fluorescência de Raios-X para determinação dos teores de Au, Cu, Zn e Fe. As amostras de rejeitados foram então sujeitas a diversos processos de valorização, nomeadamente térmicos (fundição simples, fundição com recurso a fundentes), químicos (digestão ácida) e electroquímicos (electrodeposição). Os materiais resultantes foram caracterizados para determinação da concentração de metais e enxofre nos mesmos. A última etapa do estudo apresenta a relação custo/benefício do processo, atendendo à massa de metal recuperada, à cotação monetária do mesmo e à energia consumida durante o processo.

Um bom exemplo desta prática ocorre na mina de La Parrilla, no sudoeste de Espanha. Nesta mina eram exploradas mineralizações de estanho e volfrâmio. Entre 1980 e 1982, foram avaliadas as escombrelas e os rejeitados da mina, que confirmaram teores de 2835ppm de WO<sub>3</sub>. Em 1986, foram iniciados os trabalhos de exploração das granulometrias inferiores a 3mm, com uma recuperação de W a rondar os 70% e de Sn na ordem dos 60%. Mais recentemente, em 2010, a empresa WResources calculou o volume de escombrelas em 1,2 milhões de m<sup>3</sup>. Foram efectuados testes nas granulometrias inferiores a 2mm, que revelaram excelentes taxas de recuperação de *scheelite*. O processamento foi feito através de hidrociclonagem. Actualmente nesta mina, o processo tem sido efectuado com sucesso, o que tem permitido à empresa comercializar os concentrados que produz.

Outro exemplo de uma mina onde foi realizado o aproveitamento de materiais é a mina de *Blackdome*, na Columbia Britânica, Canadá, onde a empresa Sona Resources Corporation explora as escombrelas. Nesta mina explorou-se ouro e prata em meados do séc. XX. Em 2002 foi realizada uma campanha de amostragem nos rejeitados para aferir os teores de ouro. Obteve-se um teor médio de 1,89g/t e um teor máximo de 37,61g/t. Diversos testes efectuados nas amostras conduziram a taxas de

recuperação na ordem dos 85%, o que permitiu que fossem estimadas 298 389 toneladas com um teor de ouro de 1,47g/t, o que conduz a um valor de reservas de ouro de 429 970g.

Um terceiro exemplo diz respeito à mina de ouro e prata de Ishkoday, no Canadá, onde se exploraram 145 123 toneladas de minério entre 1936 e 1942. Foram amostradas as escombrelas da mina e obtiveram-se teores médios de ouro de 2,83g/t com um teor máximo de 10,2g/t, que levou ao cálculo de aproximadamente 340 194g de ouro em 132 000 toneladas de material nas escombrelas. As amostras foram separadas em 4 intervalos granulométricos (>63mm, 16-63mm, 2-16mm e <2mm). Esta separação teve como objectivo atestar a distribuição dos teores consoante a fracção granulométrica e permitiu concluir que os melhores teores ocorrem nos materiais inferiores a 2mm.

### **1.3 Enquadramento legal**

A indústria extractiva é uma das indústrias produtoras de resíduos, a par das indústrias transformadas, energéticas, da restauração, entre outras. No caso da indústria extractiva de elementos metálicos, a redução e a reciclagem constituem as opções de valorização de maior relevo. Estas estratégias permitem a recuperação de materiais cujo valor económico pode justificar a sua reentrada no circuito de exploração. A par disto, a recuperação ambiental dos locais onde esta indústria opera, como antigas minas ou pedreiras, é essencial e é feita através da promoção do confinamento e controlo dos materiais que possam causar impactos significativos, como a escorrência de lixiviados, contaminação de aquíferos, poluição dos solos, etc. O sector em Portugal tem uma importância e influência que estão dependentes de factores variados, que podem promover o seu desenvolvimento ou o seu decréscimo.

Entre a legislação nacional que engloba as diversas temáticas referentes à indústria extractiva, contam-se:

- Decreto-Lei nº 88/90, onde é estabelecido o regime jurídico a que estão sujeitas todas as actividades relacionadas com a indústria extractiva, nomeadamente a prospecção, pesquisa e exploração de recursos. Os princípios nele estabelecido visam o aproveitamento racional em termos técnicos e económicos desses mesmos recursos;
- Decreto-Lei nº544/99, onde são estabelecidas as regras referentes à construção, exploração e encerramento de aterros de resíduos resultantes da actividade da indústria extractiva, com o objectivo de proporcionar um melhor aproveitamento e/ou acondicionamento dos resíduos, minimizando impactes na saúde e no ambiente;
- Decreto-Lei nº198A/2001, no qual são definidos os princípios a aplicar nas acções de recuperação e monitorização ambiental das áreas mineiras degradadas. Estas são consideradas como um dever fundamental do Estado Português, consagrado na Lei de Bases do Ambiente (Lei nº11/87). Esta

obrigação é levada a cabo por entidades públicas aptas para tal, como o caso da EDM – Empresa de Desenvolvimento Mineiro, que representa os interesses do Estado neste sector;

- Decreto-Lei nº152/2002, no qual se congregam directivas de consolidação da estratégica nacional e comunitária relativamente aos resíduos e sua redução, valorização e tratamento, conduzindo a uma cada vez menor deposição em aterros. Como tal, o presente Decreto-Lei apresenta as regras relativas à concepção, construção, instalação, exploração, encerramento e manutenção pós-encerramento destas unidades;
- Decreto-Lei nº31/2013, onde se estabelece o regime jurídico a que está sujeita a gestão de resíduos oriundos das explorações de massas e depósitos minerais. Este Decreto-Lei vem introduzir algumas alterações de índole logística à Directiva Comunitária nº2006/21/CE, cujos princípios vêm expressos no Decreto-Lei nº10/2010;
- Decreto-Lei nº54/2015, que estabelece as bases do regime jurídico da revelação e do aproveitamento dos recursos geológicos existentes no território nacional, incluindo os localizados no espaço marítimo nacional.

Em termos de legislação comunitária, destaca-se a referida Directiva nº2006/21/CE relativa à gestão de resíduos de indústrias extractivas. Esta veio alterar a antiga Directiva nº2004/35/CE. De um modo geral, esta legislação vem apresentar normas que levem os diversos Estados Membros a adoptar práticas mais sustentáveis em relação aos recursos geológicos, nomeadamente à sua exploração, assim como à gestão dos resíduos produzidos, através da sua redução e reaproveitamento, com o objectivo final de se inverter a tendência de declínio desses mesmos recursos.

A par da legislação, existem também documentos publicados alusivos à problemática dos resíduos mineiros e de pedreiras. A Comissão Europeia procedeu à publicação, em Janeiro de 2009, do *Reference Document on Best Available Techniques for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities*, no qual são apresentadas diversas soluções de aproveitamento e reutilização de escombrelas e rejeitados da actividade mineira, de acordo com diversos factores como os produtos explorados, a tipologia da mina, etc. Estas soluções são comumente referidas como Melhores Técnicas Disponíveis (MTD).

#### **1.4 Organização da dissertação**

A presente dissertação divide-se em sete capítulos: 1) Introdução; 2) Estanho e Volfrâmio – Propriedades, aplicações e ocorrências; 3) O Couto Mineiro de Góis e as minas de Senhora da Guia e de Vale Pião; 4) Metodologia para a avaliação do potencial de valorização de escombrelas numa fase preliminar de investigação; 5) Fundamentos teóricos; 6) Metodologia aplicada e resultados obtidos e; 7) Síntese de resultados e considerações finais.

No primeiro capítulo apresenta-se o enquadramento, a importância e os objectivos do estudo. É feita referência a alguns dos projectos desenvolvidos, nacionais e europeus, desenvolvidos na perspectiva da valorização de resíduos da actividade mineira (estado de arte), respectivo enquadramento legal das explorações e dos resíduos provenientes da actividade mineira.

No capítulo dois faz-se uma síntese dos recursos estudados - o estanho (Sn) e o volfrâmio (W). Descrevem-se as suas propriedades e aplicações, a mineralogia e os tipos de depósitos e principais ocorrências, nacionais e internacionais.

No capítulo três é apresentado o enquadramento do Couto Mineiro de Góis e das minas de Senhora da Guia (SG) e Vale Pião (VP). Faz-se referência ao enquadramento geográfico, hidrogeológico, geológico e histórico, seguindo-se uma breve apresentação do historial mineiro das concessões de SG e VP.

No capítulo quatro apresenta-se uma metodologia de estudo a adoptar numa fase preliminar de avaliação do potencial de recuperação de recursos de escombrelras de antigas minas. A metodologia proposta compreende quatro etapas: (i) Etapa 1 - Inventariação das escombrelras potenciais; (ii) Etapa 2 - Campanha de recolha de dados de campo; (iii) Etapa 3 - Caracterização laboratorial de amostras e; (iv) Etapa 4 - Caracterização dos recursos de Sn e de W.

No capítulo cinco apresentam-se os fundamentos teóricos associados a cada uma das etapas da metodologia proposta, nomeadamente conceitos sobre métodos de amostragem dos resíduos mineiros, procedimentos e tipo de ensaios laboratoriais a realizar, apresentação dos métodos estatísticos para a análise de resultados e de métodos para a estimação dos recursos, numa fase preliminar de investigação.

A metodologia aplicada e os resultados obtidos para os casos de estudo são apresentados no capítulo seis. Os resultados obtidos compreendem a inventariação das escombrelras, a amostragem de resíduos e sedimentos, a caracterização laboratorial (granulométrica, analítica e mineralógica) das amostras recolhidas e o cálculo dos recursos de Sn e W.

No capítulo sete apresenta-se uma síntese dos resultados obtidos e respectivas considerações sobre os resultados obtidos em cada etapa da metodologia. Faz-se também referência a limitações dos procedimentos e respectivos erros associados em cada fase dos trabalhos e apresenta-se uma proposta para trabalhos futuros a realizar.



## 2. Estanho e Volfrâmio – Propriedades, aplicações e ocorrências

### 2.1 Propriedades e aplicações

#### Estanho

O estanho é um elemento químico, cujo símbolo químico é o Sn. Apresenta como principais propriedades físico-químicas um número atômico de 50, densidade de  $7,3 \text{ g/cm}^3$  e ponto de fusão de  $232^\circ\text{C}$ . O seu uso remonta à Idade do Bronze, quando era aplicado para a produção de liga estanho-bronze, sendo na actualidade um dos metais mais utilizados.

Actualmente, aproximadamente um terço do estanho produzido é utilizado na estanhagem de folhas de aço utilizadas no fabrico de latas. Esta é mergulhada numa solução quente de  $\text{SnCl}_2$  ou  $\text{SnSO}_4$  para a aplicação do revestimento. Em alternativa, este pode ser aplicado por via electrolítica. É também utilizados em soldas, peças decorativas, cuja percentagem de estanho é superior a 95%, no latão (liga composta por 76% de Cu e 24% de Sn), bem como noutras ligas metálicas para aplicações diversas. Este elemento é também usado no estado líquido em tanques de grandes dimensões, sob o qual é depositada sílica em fusão e que, ao arrefecer, solidifica flutuando no estanho, permitindo obter-se superfícies de vidro totalmente planas. De entre as restantes utilizações deste elemento, destacam-se as ligas nióbio-estanho ( $\text{Nb}_3\text{Sn}$ ) utilizadas em ímanes supercondutores. São utilizados compostos de estanho diversos, como o tributil-estanho (TBT) na protecção do casco dos navios, o trifenil-estanho (TPhT) como pesticida em culturas de milho, o estanato de cobalto ( $\text{CoSnO}_3$ ) na cerâmica, o fluoreto de estanho ( $\text{SnF}_2$ ) nas pastas dentífricas, etc.

#### Volfrâmio

O volfrâmio, de símbolo químico W, possui um número atômico de 74, densidade de  $19,3 \text{ g/cm}^3$  e é o metal com o ponto de fusão mais elevado ( $3410^\circ\text{C}$ ). É vulgarmente associado aos conflitos bélicos pois teve elevada procura durante as duas Grandes Guerras. Um dos seus usos primordiais foi precisamente o uso no armamento, onde era aplicado nas ligas metálicas para melhorar a sua resistência ao calor, permitindo tempos de utilização contínua superiores desse mesmo armamento. Como consequência, a produção de concentrados de tungsténio subiu de poucas centenas, em finais do século XIX, para 35 000 toneladas em 1918.

Actualmente, as aplicações mais comuns do volfrâmio são os carbonetos cimentados, as ligas de aço com este elemento, os filamentos de lâmpadas, entre outras. Os carbonetos cimentados são ligas de elevadíssima dureza. Inventadas em 1920 pela empresa alemã de fabrico de lâmpadas *Osram* para melhoria do fabrico de filamentos, estas ligas são hoje em dia usadas no fabrico de peças de aço devido ao seu grande poder de corte. São, por norma, revestidas por finas camadas de outros carbonetos, como

por exemplo de titânio, aumentando desta forma a sua resistência ao desgaste. Uma das aplicações destas ligas são as brocas de perfuração usadas nas indústrias petrolífera e mineira. Os filamentos de tungsténio utilizados nas lâmpadas de incandescência foram inventados em 1911, vindo substituir materiais até aí usados como o tântalo e o ósmio e tornando-se o *standard* na indústria. Existem outras aplicações variadas para este metal como contrapesos nas asas dos aviões, tacos e bolas de golfe, componentes electrónicos, catalisadores para motores de combustão interna, etc.

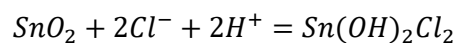
## 2.2 Mineralogia e tipos de depósitos

### Estanho

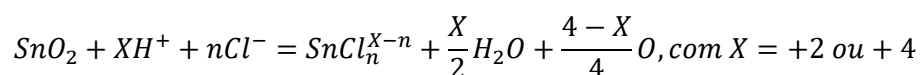
São conhecidos 94 minerais com estanho, embora a cassiterite ( $\text{SnO}_2$ ) seja o único que apresente valor económico. Esta apresenta um tom castanho-escuro e uma densidade entre 6,8 e 7,0  $\text{g/cm}^3$ . Os seus cristais têm brilho adamantino ou semimetálico e formam prismas com uma macla conhecida como “joelho de estanho”. Este mineral tem uma dureza que varia entre 6 e 7 e risca acastanhada. Alguns outros minerais de estanho são a kesterite ( $\text{Cu}_2(\text{Zn}, \text{Fe})\text{SnS}_4$ ), a estanite ( $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_2$ ) e a estanoidite ( $\text{Cu}_8\text{Fe}_3\text{Sn}_2\text{S}_{12}$ ).

A concentração do estanho ocorre no final dos processos de diferenciação magmática em magmas peraluminosos, aparecendo este elemento associado a granitos ou litologias extrusivas com esse quimismo. Os jazigos mais comuns de estanho são os filões de quartzo, *greisens*, *skarns*, pegmatitos, filões de substituição *stratabound* e também jazigos de sulfuretos maciços. Os mais importantes depósitos actuais são *placers* originados pela erosão das formações anteriormente referidas.

O Sn existente nos fluidos hidrotermais ocorre como  $\text{Sn}^{2+}$  ou  $\text{Sn}^{4+}$ . Em condições muito oxidantes, com temperaturas entre os 200 e os 350°C, a cassiterite apresenta uma baixa solubilidade, inferior a 1ppm, dada pela seguinte reacção química:



Quando as condições são mais redutoras, predominam complexos cloretados simples e a solubilidade da cassiterite é muito superior (>1000ppm) e é descrita pela reacção:



Para condições de pH levemente ácido, as concentrações de Sn são mais elevadas, podendo atingir os 25ppm, quando predominam os complexos cloretados ( $\text{SnCl}_2$  a  $T=350^\circ\text{C}$ ). Quando a temperatura é inferior, a solubilidade da cassiterite é bastante mais baixa e a espécie dominante é  $\text{Sn}(\text{OH})_2\text{Cl}_2$ . Para condições de pressão e temperatura superiores ( $T=500^\circ\text{C}$  e  $P=1000$  bar), estes complexos são importantes se as condições forem ácidas ou neutras e alcalinas ( $\text{H}_2\text{O}+\text{HCl}+\text{NaCl}$ ). Para

meios alcalinos (NaCl+NaOH), domina a espécie  $\text{Sn}(\text{OH})_2\text{Cl}^-$ . Entre os 350 e os 400°C, os complexos cloretados predominam sobre os hidróxidos ou os complexos fluoretados. Já para soluções com  $3,5 < \text{pH} < 5$  os hidróxidos, como o  $\text{Sn}(\text{OH})_2$  e  $\text{Sn}(\text{OH})_4$  são mais importantes que os complexos cloretados.

Assim, a deposição da cassiterite ocorre geralmente em ambientes ácidos, redutores e com temperaturas acima dos 300°C e são os complexos cloretados de  $\text{Sn}^{2+}$  os mais importantes.

### **Volfrâmio**

O volfrâmio é um dos poucos elementos químicos com duas designações, volfrâmio ou tungstênio, tendo sido descoberto no séc. XVIII. São conhecidos 45 minerais de volfrâmio, mas apenas a volframite e a *scheelite* têm importância econômica. São ambos tungstatos, tendo a volframite fórmula química  $[(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4]$  e a *scheelite*  $\text{CaWO}_4$ . Esta última destaca-se pela sua fluorescência, na presença de radiação ultravioleta, permitindo assim a sua fácil identificação durante a prospecção mineira.

O volfrâmio possui um raio iônico e carga iônica elevados, pelo que tem tendência para ocorrer nas últimas fases da cristalização magmática. Quando o remanescente do magma não é mais do que um fluido hidrotermal, a concentração de W é extremamente elevada, originando uma cristalização dos restantes minerais muito rica neste elemento. O volfrâmio pode ocorrer em sete tipos de depósitos, sendo os mais comuns os depósitos filonianos e os *skarns*. Os restantes são os pórfiros, onde o W aparece como subproduto, os *stratabound*, os evaporitos e os *placers*.

Quimicamente, este elemento é considerado um ácido duro, pois a sua forma iônica apresenta uma nuvem de electrões que não se deforma com facilidade. Assim, as suas ligações iônicas são fortes. Estes iões têm tendência a formar ligações com bases duras como o  $\text{O}^{2-}$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  e  $\text{PO}_4^{3-}$ . A sua solubilidade aumenta com a concentração de LiCl, NaCl e KCl, o que pode ser explicado pela ligação entre W e complexos cloretados, bem como pelo emparelhamento entre W e o ião alcalino. Estes iões perdem relevância com factores como a temperatura superior a 250°C, o aumento da força iónica e a diminuição da concentração de W, o que leva a supor que o seu contributo na transferência de massa em sistemas hidrotermais seja baixo ou mesmo nulo. Segundo diversos estudos, apenas existem soluções hidrotermais mineralizantes das espécies  $\text{WO}_4^{2-}$ ,  $\text{HWO}_4^-$  e  $\text{H}_2\text{WO}_4$  e as quantidades de volfrâmio necessárias à formação de minérios podem ser transportadas por elas, não sendo necessária qualquer outro composto.

## 2.3 Ocorrências nacionais e internacionais

### **Estanho**

As ocorrências mais comuns em Portugal localizam-se no norte e centro do país e representam jazigos com filões de quartzo onde o estanho surge normalmente associado ao volfrâmio. O Sn ocorre ainda em alguns aplitepegmatitos, *greisens* e *stockworks*. Também existiram explorações em *placers* em regiões da Beira como Belmonte (estanho e tântalo) e Nave de Haver (estanho e titânio) que foram durante algumas décadas as mais importantes explorações de Sn em Portugal, com a exploração deste tipo de jazigos a ser responsável por 80% da produção nacional. Outro tipo de jazigo importante é o de sulfuretos maciço polimetálicos, sendo que apenas o da mina de Neves Corvo apresenta teores exploráveis em toda a Faixa Piritosa Ibérica. Durante o séc. XX, esta foi a maior mina de estanho da Europa. Além das explorações já referidas, destacam-se também as minas de Montesinho, Ervedosa, Ribeira-Parada, Vieiros e Seixoso. Em muitas outras, o Sn era obtido como subprodutos, normalmente do volfrâmio, como nos casos da Panasqueira, Borralha, Vale das Gatas, etc.

Em termos mundiais, a China lidera a lista de países produtores, com 115 000 toneladas em 2009, seguida da Indonésia (55 000 t) e do Peru (37 500 t), sendo estes três países responsáveis por cerca de 80% da produção mundial. A maior mina mundial de estanho é a mina de *Nandan County* em Guangxi, na China e produz metade do estanho vindo daquele país. As reservas mundiais são baixas, rondando as 5,2 Mt em 2009.

### **Volfrâmio**

Portugal é, historicamente, um importante produtor mundial de volfrâmio. Durante os períodos das Grandes Guerras, minas como a Panasqueira, Borralha, Regoufe e Rio de Frades tinham elevada importância devido à sua produção, assim como muitas outras em diversas regiões do centro e norte do território nacional. A maioria dos jazigos são do tipo filoniano, com filões de quartzo ricos em volframite e com sulfuretos, alguma *scheelite* e/ou cassiterite. Existem também alguns jazigos do tipo *skarn*, ricos em *scheelite*. As explorações em *placers* existiram, embora em reduzido número e principalmente localizadas na zona de Arouca, a jusante de jazigos filonianos. Actualmente, a mina da Panasqueira é a única em exploração em Portugal e uma das poucas na Europa. É, no entanto, considerada como uma das mais importantes minas de volfrâmio do mundo. O seu jazigo é o maior jazigo filoniano da Europa e um dos maiores a nível mundial. Na segunda metade do séc. XX foram extraídos dele 26 milhões de toneladas de minério, que deram origem a 92 800 toneladas de concentrados volframite.

Além de Portugal, a lista de principais produtores sempre foi preenchida por nações como a Bolívia, as Coreias do Norte e do Sul, os Estados Unidos da América, a Ex-URSS e, como maior produtor, a China. No ano de 2009, foram produzidas mundialmente 61 300 toneladas de volfrâmio a

partir de concentrados. A produção foi liderada pela China (51 000 t), seguida da Rússia (2 500 t), Canadá (2 000 t), Bolívia (1 000 t) e Áustria e Portugal, com 900 t cada. Na China, a quebra de produção face a anos anteriores foi resultado de medidas governamentais, a fim de manter elevado o preço nos mercados internacionais.



### **3. O Couto Mineiro de Góis e as minas de Senhora da Guia e Vale Pião**

#### **3.1 Enquadramento geográfico e geológico**

O concelho de Góis localiza-se na região centro de Portugal e sub-região do Pinhal Interior Norte, mais concretamente no distrito de Coimbra. Este concelho é limitado a Norte pelos concelhos de Arganil e Vila Nova de Poiares, a Oeste pelos concelhos da Lousã e Castanheira de Pêra, a Sul pelo concelho de Pedrógão Grande e a Sudeste e Este pelo concelho da Pampilhosa da Serra.

Encontra-se em cotas compreendidas entre 200 e 500 metros, no entanto, a altitude máxima corresponde à cadeia montanhosa que atravessa o concelho de Este a Oeste, cujas cotas variam entre os 800 e os 1205 metros. O ponto mais elevado (1205 metros) situa-se na Serra da Lousã, no Trevim (Ribeiro *et al.*, 2014). Ao longo do concelho, os declives são bastante acentuados (entre os 20 e 25%), principalmente junto às principais linhas de água (rio Unhais, rio Ceira e rio Sótão). Os declives menos acentuados (inferiores a 5%) estão presentes na região sul do concelho e ao longo do vale do Ceira (Ribeiro *et al.*, 2014).

Os recursos hídricos são essencialmente superficiais, existindo duas bacias hidrográficas: a bacia hidrográfica do Mondego (a Norte) e a bacia hidrográfica do Tejo (a Sul). Nestas bacias estão presentes numerosas ribeiras ao longo de todo o ano. A principal linha de água é rio Ceira, que atravessa o concelho transversalmente a Norte ao longo de 32 Km. Este é um dos principais afluentes da margem esquerda do rio Mondego (Ribeiro *et al.*, 2014). Destacam-se ainda outras linhas de água, que perfazem um total de cerca de 130 Km em extensão: rio Unhais, rio Sótão, ribeira de Mega, ribeira de Sinhel, ribeira de Celavisa, ribeira das Mestras, ribeira do Loureiro, ribeira da Pena, ribeira de Corterredor, ribeira do Amioso, ribeira de Carrimá e ribeira do Porto (Ribeiro *et al.*, 2014).



Figura 3-1 - Localização rio Ceira face às minas de Senhora da Guia e Vale Pião (Carta Militar nº243, 1992)

É no concelho de Góis que está presente o Couto Mineiro de Góis, constituído por um conjunto de oito antigas concessões mineiras numa área de aproximadamente 410 hectares. A mina de Vale Pião encontra-se a, aproximadamente, 4,5 Km a Este da vila de Góis, enquanto a mina de Senhora da Guia situa-se a 2 Km a Nordeste da mesma vila, sendo a mina mais ocidental do Couto Mineiro.



Figura 3-2 - Localização geográfica das minas SG e VP (Google Earth, 2015)

### 3.1.1 Geologia regional

O Maciço Hespérico é uma das mais importantes unidades geotectónicas de Portugal. O seu bloco setentrional, onde se localiza a região mineira de Góis, tem nos jazigos de estanho e volfrâmio as suas mais importantes mineralizações. Estas ocorrem sobre as auréolas de metamorfismo de contacto

formadas aquando da instalação dos maciços graníticos a pequenas profundidades. Esta mineralização surge associada ao denominado “Granito das Beiras”, um granito calco-alcalino, de grão grosseiro com aproximadamente 280 M.A. e também a granitos alcalinos de duas micas, grão médios e de tendência porfiróide, com cerca de 298 M.A..

O Complexo Xisto-grauváquico apresenta fáceis do tipo *flysch*. As litologias mais comuns são os xistos argilosos e argilo-gresosos, com alternância de xistos grauvacóides e grauvaques (C. TEIXEIRA, 1966 in A. FERREIRA, 1978). Estas litologias apresentam um aspecto luzente, em particular nas rochas mais finas, que se deve ao metamorfismo regional de baixa ou média intensidade, sendo que o grau varia entre a zona da clorite e a da silimanite (M. JULIVERT *et al.*, 1972 in C. TEIXEIRA, 1978). O Complexo está datado como anterior ao Ordovícico, pois sobre ele encontram-se os terrenos deste. Ocorre também o metamorfismo de contacto, relacionado com as intrusões supracitadas, que origina auréolas de xistos mosqueados e corneanas pelíticas.

Na região de Góis, a morfologia do terreno onde estas mineralizações ocorrem é bastante acidentada e coberta por uma massa vegetal intensa. Os vales são profundos, com linhas de água muito encaixadas, que originam redes de drenagem com padrão dendrítico. O rio Ceira, principal linha de água da região, apresenta-se bastante encaixado a montante de Góis, enquanto a jusante surgem meandros num vale de fundo mais largo.

As unidades geológicas presentes são, da mais recente para a mais antiga, as seguintes:

- Aluviões e terraços, de idade quaternária, pertencentes ao rio Ceira e à ribeira de Celavisa;
- Depósitos de sopé, de idade pliocénica ou do começo do Quaternário;
- Grés arcósicos, de idade mio-pliocénica;
- Quartzitos e xistos de idade Ordovícica;
- Complexo Xisto-grauváquico, de idade ante-ordovícica.

As aluviões de fundo de vale representam um volume estimado em perto de 1,5 milhões de metros cúbicos.

Os depósitos de sopé têm origem em cristas ordovícicas que originam grande parte do material grosseiro. Estes são compostos por uma formação argilosa com blocos e calhaus, sobrejacentes aos grés arcósicos. Os referidos blocos são de natureza quartzítica, enquanto os calhaus rolados são de quartzito, quartzo ou raramente xisto e dispõem-se aleatoriamente na formação argilosa. Dos referidos materiais, o quartzo tem origem filoniana enquanto o xisto e as argilas provêm do Complexo Xisto-grauváquico.

Os grés arcósicos apresentam uma cor clara com manchas avermelhadas. São friáveis e pouco consolidados. Devido à falha de Góis, ocorre um contacto desta formação, bem como dos depósitos de

sopé, com o Complexo Xisto-grauváquico, no qual este último cavalga sobre as unidades detríticas mais recentes.

Os quartzitos Ordovícicos estão dobrados definindo cristas resistentes à erosão com orientação NW-SE e ocorrem discordantes sobre o Complexo Xisto-Grauváquico.

O Complexo Xisto-Grauváquico é constituído por xistos de natureza variada que alternam com grauvaques e em menor quantidade quartzovaques. A estratificação é muito próxima à xistosidade, com orientação N50°-70°W e pendor entre 70° e 80° para NNE. Existem, contudo, variações locais de pendor.

A região de Góis é afectada pelos ciclos orogénicos Varisco e Alpino. Nela, as mineralizações de estanho e volfrâmio, associadas ao ciclo Varisco, ocorrem em blocos delimitados por falhas de idade alpina. Destas, destacam-se as três principais, com orientação NE-SW:

- A falha de Góis, com direcção N45°E, que separa o Complexo Xisto-Grauváquico dos depósitos detríticos de idade mais recente. É uma falha inversa que possibilita o cavalgamento das unidades mais antigas sobre as mais jovens;
- A falha de direcção N55°E, que intersecta a aldeia de Piães e a zona a 150m a noroeste da capela da Senhora da Guia. Foi responsável pelo abaixamento do bloco sudeste;
- A falha da Cabreira, com orientação N60°E.

Na região de Góis existem filões de quartzo que ocorrem em zonas de cisalhamento. Os filões surgem encaixados em rochas pertencentes ao Complexo Xisto-grauváquico, consequência de processos mineralizantes durante os diversos episódios tectónicos. As brechas surgem mais raramente associadas a eventos desta ordem e apenas são conhecidas as ocorrências de Vale Pião e Vale Moreiro-Casal Loureiro.

As principais mineralizações estanho-volframíticas são do tipo quartzo-cassiterite-volframite e ocorrem sob a forma de:

- Filões quartzosos com cassiterite;
- Filões quartzosos com cassiterite e volframite;
- Filões quartzosos com volframite;
- Brechas com cassiterite;
- Brechas e *stockworks* com cassiterite e volframite;

Os filões quartzosos apresentam mineralizações de estanho e volfrâmio, onde a zona de alteração pode chegar aos 25cm. A sua paragénesese é bastante elaborada e caracterizada pela deposição de cassiterite e volframite. A cassiterite é um dos minerais cuja deposição ocorre numa fase inicial,

apenas precedida pela turmalinização e pela deposição parcial de mica branca, enquanto a da volframite ocorre posteriormente. Ocorre também a deposição de sulfuretos, embora escassa e associada a uma fase de deposição carbonatada.

As brechas são consequência de fenómenos polifásicos de enchimento de fracturas de cisalhamento, assim como de substituição metassomática. A sua composição compreende uma massa argilo-quartzo-sulfúrea com clastos de xisto e grauvaque. Nelas, a cassiterite têm uma expressão superior à volframite. Ocorrem, ainda, alguns sulfuretos como a arsenopirite e a calcopirite. Nos clastos acima referidos, metassomatismo é particularmente importante.

As unidades geológicas da região encontram-se compartimentadas por falhas em quatro blocos principais:

- Bloco a NW da falha de Góis: ocorrem nesta zona importantes aluviões de fundo de vale, bem como os terraços do rio Ceira e da ribeira de Celavisa. Nestes podem ocorrer jazigos secundários com alguma importância económica, devido à ocorrência de cassiterite e ouro;
- Bloco limitado pelas falhas de Góis e Piães-Senhora da Guia: este bloco elevou-se em relação aos que o ladeiam. Nele existem brechas em fracturas de cisalhamento e filões quartzosos, sendo ambos portadores de cassiterite;
- Bloco limitado pelas falhas de Piães-Senhora da Guia e Cabreira: encontra-se em posição inferior ao bloco anterior e nele ocorrem os filões quartzosos de volframite da Senhora da Guia, os filões quartzosos de cassiterite e volframite a oriente do Alto do Rabadão, os filões quartzosos de cassiterite e volframite do Rabadão, brechas de cassiterite e volframite ricas em sulfuretos, os filões quartzosos de cassiterite e volframite de Vale Pião, os filões quartzosos de cassiterite e cassiterite e volframite da Barroca de Amiães e do Lombo do Gordo, entre outros;
- Bloco a E da falha da Cabreira, onde não existe conhecimento de mineralização de estanho e volfrâmio.

Os afloramentos graníticos mais próximos da região são o maciço do Coentral, 12Km a SW de Góis e o de Espariz-Carrozelo, 20Km a NNE da vila. Entre o afloramento do Coentral e o Couto Mineiro, afloram cristas quartzíticas com direcção N30°W80°NE.

O Couto Mineiro de Góis tem grande afinidade com a região da Panasqueira pois situa-se também no Complexo Xisto-Grauváquico, embora este atinja nesta última uma maior profundidade. Os sinais de metamorfismo são mais ligeiros do que na Panasqueira, sinal de que os maciços graníticos estão mais profundos ou são de menor dimensão. A mineralização explorada na mina da Panasqueira é comparável à do Couto Mineiro de Góis pois ocorre na mesma faixa metalogenética que as mineralizações da zona de Góis e os filões também estão encaixados em rochas do Complexo Xisto-graúvácico das Beiras, tal como os filões de Senhora da Guia e Vale Pião. A mineralização encontra-

se hospedada em filões de quartzo com salbanda, mineralizados em W, Sn e sulfuretos. Neste jazigo de classe mundial a volframite e a cassiterite ocorrem associadas a um vasto cortejo mineralógico incluindo diversas fases metálicas sulfuretadas e de óxidos, bem como elementos nativos, arsenatos, antimonetos, sulfatos, halóides, carbonatos, silicatos e fosfatos, dos quais se destacam a volframite, cassiterite, apatite, quartzo, muscovite, siderite, berilo, bismuto nativo, ouro, prata, pirite, pirrotite, calcopirite, arsenopirite, esfalerite, galena, *scheelite*, apatite, topázio, turmalina entre outros (Noronha et al., 1992). Importa ainda considerar que os sistemas mineralizantes afectam também as litologias encaixantes dos filões mineralizados acarretando modificações composicionais e consequente enriquecimento em diversos elementos menos comuns na composição original dos xistos e grauvaques.

### **3.2 Enquadramento histórico**

Stanley Mitchell foi a personagem chave da história da exploração de volfrâmio na região de Góis. Engenheiro de minas de nacionalidade inglesa, começou por trabalhar numa companhia londrina que possuía minas de estanho e volfrâmio em Portugal. Em 1922, rumo ao nosso país, para trabalhar na mina da Panasqueira, ocupando a posição de Director Geral da Companhia das Minas da Panasqueira entre 1927 e 1930. Durante este último ano, decide virar-se para Góis, para onde vai sozinho e sem apoios, atrás da ambição de iniciar um grande projecto mineiro na zona. Partindo de registos existentes sobre a existência de mineralizações de volfrâmio naquela zona, foi durante o período entre as duas Grandes Guerras que este engenheiro inglês estudou as ocorrências minerais mais em pormenor. Com o preço do minério em baixo, arriscou e esperou.

Em 1935, o preço do volfrâmio já está em trajectória ascendente, como prenúncio de um novo conflito bélico. Decidiu contratar alguns trabalhadores da Panasqueira, seus conhecidos, e estabeleceu um regime de “pagamento ao quilo”, em que pagava ao mineiro consoante a produção deste, o que lhe permitiu abrir algumas minas sem despendir grande quantidade de capital. A mina da Barroca de Amiais, na freguesia do Cadafaz, foi uma das suas primeiras minas. O minério extraído era transportado para sua casa, em Ponte do Sotam, onde ele próprio fazia a concentração numa mesa de concentração gravítica.

Com o início da Segunda Guerra Mundial, o preço subiu vertiginosamente e muita gente das redondezas foi atraída para a região. Surgem novos concessionários, sem qualquer experiência e com vontade de ganhar dinheiro de forma fácil e rápida, o que alterou por completo as condições de trabalho. O mercado negro instala-se em força. Estes acontecimentos começam a deitar por terra o sonho de Stanley Mitchell de fixar um complexo mineiro em Góis.

O Governo Português declara a neutralidade, o que acaba por beneficiar de algum modo, quer as forças Aliadas, quer as do Eixo. A exploração na zona de Góis segue a bom ritmo, com os ingleses e

alemães a lutarem acerrimamente por novas concessões. Pela única vez na história contemporânea, a balança comercial portuguesa é positiva, devido especialmente às exportações de volfrâmio. A 6 de Junho de 1944, o célebre dia D, o Governo Português manda encerrar todas as explorações de volfrâmio em território nacional.

### 3.3 Principais concessões no Couto Mineiro de Góis

O Couto Mineiro de Góis (nº53) é constituído por um conjunto de oito antigas concessões mineiras numa área de aproximadamente 410 hectares.

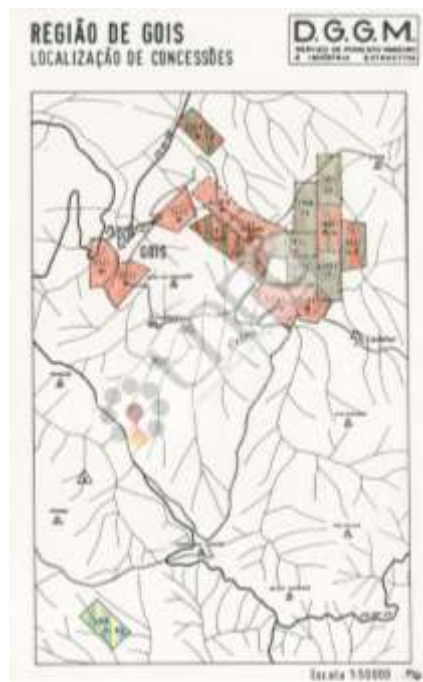


Figura 3-3 - Mapa das concessões do Couto Mineiro de Góis (DGGM, 1988)

A produção de volfrâmio no Couto Mineiro de Góis fez-se essencialmente durante dois períodos de elevados preços deste metal, nomeadamente em 1939/1943 e 1951/1956. Estima-se que a produção tenha atingido as 1500 toneladas de concentrados.

Comparativamente ao volfrâmio, a produção de estanho era baixa, mas consideravelmente estável ao longo dos anos. Tal facto está intimamente relacionado com o preço destes metais, sendo o do primeiro bastante mais consistente que o do segundo.

Em 1979, foram consideradas abandonadas todas as explorações incluídas no Couto Mineiro de Góis tendo este sido, conseqüentemente, desmembrado.

A informação dos planos de lavra e das tonelagens extraídas é escassa ou, muitas das vezes, inexistente, o que acrescenta bastante incerteza a muitos aspectos e informações históricas da exploração.

### **3.3.1 Mina de Senhora da Guia**

A mineralização de volfrâmio da Senhora da Guia (concessão mineira nº2406) foi descoberta em 1937 e inicialmente denominada por Sandinha, tendo a prospecção atingido um pico no período entre 1939 e 1944, ano em que foi decretado o encerramento da mina pelo Governo. Em 1946 a mina foi reaberta para voltar a ser encerrada em 1957. Foi novamente reaberta, pela COFENA, em 1967 e definitivamente encerrada em 1972. A mina é composta por 8 pisos distribuídos entre os 388m e os 515m, tendo sido atribuídas as designações Barroco, Valado e E4 aos filões mineralizados mais importantes. As antigas galerias da mina de Senhora da Guia encontram-se a cotas entre os 388 e os 515 metros, ao longo de aproximadamente 600 metros em planta, com direcção NNW-SSE

A jazida da Senhora da Guia é composta por dois sistemas de filões, sub-verticais e sub-horizontais. Os primeiros apresentam uma direcção média de N60°W e pendora a variar entre a vertical e 40° para Sudoeste, enquanto os segundos apresentam direcção semelhantes mas pendora entre os 10° e os 30°, quer para Sudoeste, como para Nordeste. Os filões sub-verticais aparentam ser mais antigos que os sub-horizontais. A possança é bastante irregular, indo de poucos a 60cm. Adicionalmente, ocorrem em certos locais rochas de aparência brechóide, localmente designada por “ligal”. Esta contém inclusões de quartzo e xisto ferruginoso, aparentando tratar-se de uma brecha de falha. A sua espessura é também irregular, chegando a atingir 1,5m.

Outros minerais que ocorrem com algum destaque são a pirite, arsenopirite, calcopirite, pirrotite, mica, siderite, turmalina, esfalerite e apatite. Também estão registadas ocorrências de *scheelite*, ouro e prata, embora em menor percentagem.

Os xistos argilosos, siliciosos e mosqueados afloram com frequência e estes últimos indicam a ocorrência de metamorfismo de contacto, o que pode sugerir a existência de uma cúpula granítica em profundidade. As moscas são, normalmente, de andaluzite muito sericitizada.

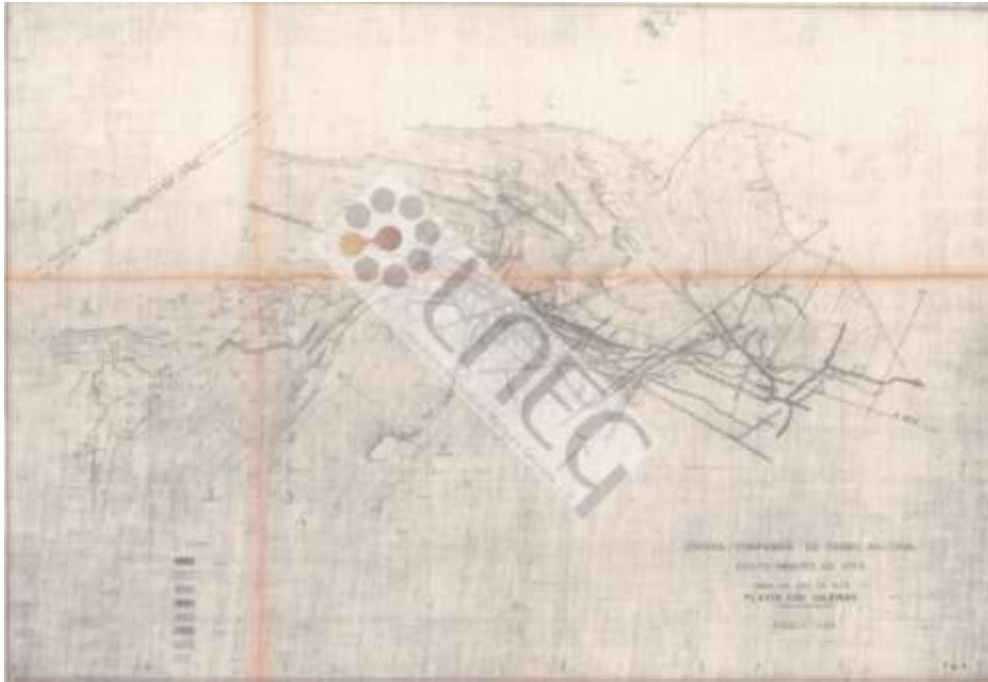


Figura 3-4 - Diagrama das galerias da mina de Senhora da Guia (Escala 1:1000) (DGGM, 1988)

### 3.3.2 Mina de Vale Pião

A mina de Vale Pião foi registada em 1926, em nome de Manuel da Silva Gaio e em 1929 foi concedida a concessão nº1692 de cassiterite e volframite a Stanley Mitchell. Na lista de concessionários contam-se, além do Engenheiro Stanley Mitchell, de 1929 a 1957, Francisca Mitchell, de 1957 a 1967 e a Companhia de Ferro Nacional, S.A.R.L. (COFENA), a partir de 1968. Os trabalhos de prospecção tiveram o seu início no ano de 1946, tendo a exploração mineira continuado até 1969, quando foi interrompida. Foram explorados, quase em exclusivo, filões quartzosos estanho-volframíticos sub-horizontais, de orientação quase N-S e com possanças a variar entre os 10 e os 20cm. A mina propriamente dita é composta por uma corta, galerias travessas com cerca de 660m de comprimento e diversas sanjas e desmontes subterrâneos e superficiais.

A jazida de Vale Pião é uma jazida polimetálica e tem uma constituição complexa, devido à existência de estruturas com génese variada. Apresenta uma mineralização de cassiterite superior à de volframite. A região da mina é constituída por xistos gresosos e argilosos e grauvaques. Em certos locais é possível diferenciar leitosses grauvacóides alternados com xistos com fácies flyschóide, grauvaques silicificados e filitos. De um modo geral a estratificação coincide com a xistosidade, de atitude N60°-70°W70°-85°NNE/SSW. A presença de grauvaques de aspecto quartzítico enuncia a ocorrência de metamorfismo de contacto.



Figura 3-5 - Diagrama da mina de Vale Pião, com brechas mineralizadas indicadas a vermelho (Escala 1:500) (DGGM, 1988)

## 4. Metodologia para a avaliação do potencial de valorização de escombrelras - Fase preliminar

A fase de investigação preliminar é a primeira fase de um projecto de exploração de recursos minerais a ser efectuada. A metodologia proposta para esta fase é apresentada no esquema da Figura 4-1 e divide-se em quatro etapas fundamentais: Etapa 1 – Inventariação das escombrelras potenciais; Etapa 2 – Campanha de recolha de dados de campo; Etapa 3 – Caracterização laboratorial de amostras e; Etapa 4 – Caracterização de recursos de Sn e W.

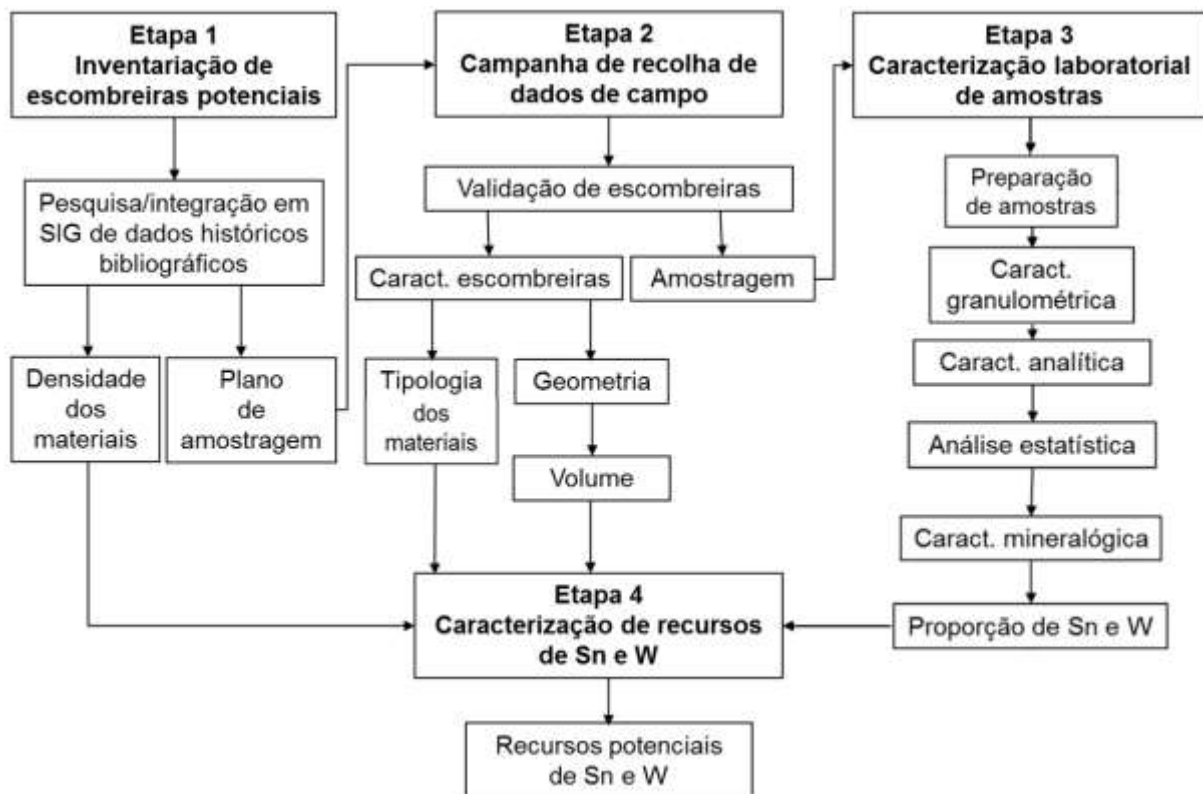


Figura 4-1 – Fluxograma da metodologia aplicada na fase de investigação preliminar

### 4.1 Etapa 1 – Inventariação das escombrelras potenciais

#### Levantamento de dados das escombrelras

Numa fase inicial de avaliação dos potenciais recursos em escombrelras de antigas áreas mineiras, em que a informação de base é escassa ou inexistente, torna-se fundamental o levantamento bibliográfico e cartográfico dos elementos de suporte ao processo de inventariação das escombrelras, tais como fotografias aéreas, imagens de satélite, informação cartográfica sobre áreas de desmonte, deposição de resíduos, planos de lavra, entre outros. A informação de entrada (*input*) neste tipo de projectos de exploração de recursos minerais pode dividir-se em informação de base e informação geológico-mineira (Avillez *et al*, 2003). A informação de base pode ter diversas proveniências, tais

como cartografia geográfica e geológica, cartas de condicionantes de PDM, fotografias aéreas, de satélite, entre outras.

Para cada tipo de informação de suporte (mapas, fotografia aérea, fotografia de satélite) é feita a inventariação de todos os corpos de escombrelras existentes, sob a forma de polígonos, sendo esta informação guardada individualmente. De acordo com Sobreiro (2010), a selecção de áreas com potencial de exploração não depende somente da existência do recurso geológico, pois existem outros factores para viabilizar uma unidade extractiva. No caso da avaliação do potencial de valorização de escombrelras, alguns factores de exclusão ou ponderação podem ser, por exemplo, um valor mínimo definido para a área da escombrelra ou, uma distância mínima entre o ponto central de escombrelras adjacentes.

Para a realização desta etapa devem ser seguidos os seguintes passos metodológicos:

- **Recolha bibliográfica e da informação disponível:** consiste na recolha de informação relevante, nomeadamente cartografia temática, fotografia aérea e de satélite, etc;
- **Entrada e armazenamento de dados (*input*):** a informação recolhida é carregada em um *software* de SIG, como o *ArcGIS* ou o *QGIS*, e posteriormente georreferenciada;
- **Organização dos dados e selecção da informação relevante:** após ser introduzida, a informação é organizada por tema, nomeadamente: geologia, ordenamento do território, ocupação do solo, acessos, etc;
- **Análise e avaliação dos dados:** a análise e avaliação dos dados implica o cruzamento dos vários tipos de informação para sua correlação, bem como da realização de trabalhos de campo para validação da informação existente e colheita de novos dados a introduzir posteriormente no projecto de SIG;
- **Hierarquização de áreas potenciais:** após a integração e análise da informação, as escombrelras de interesse são seleccionadas segundo critérios de selecção, como o volume, a ausência de coberto vegetal, a proximidade a vias de comunicação ou infraestruturas de interesse;
- **Saída de resultados (*output*):** o *output* dos trabalhos pode assumir diversas formas, em particular cartografia temática sobre a área de estudo.

### **Plano de amostragem das escombrelras**

Para a elaboração de um plano de amostragem, é importante definir a malha de amostragem (dimensão e geometria), a quantidade de amostra e o tipo de amostra (simples/compósita). A possibilidade de colheita de amostras em profundidade deve também ser ponderada. A definição do plano de amostragem deve ser precedida, sempre que possível, de uma fase de validação no campo da inventariação feita em gabinete.

Nesta fase de investigação o objetivo da amostragem é a identificação das escombrelras que poderão apresentar potencial para investigação, em fase posterior de avaliação.

Dado que os materiais a amostrar estão confinados em áreas delimitadas (as escombrelras), e que nesta fase do estudo se pretende apenas identificar os corpos de escombrelra com potencial para avaliação posterior, a malha de amostragem a aplicar na área de estudo deverá ser do tipo direcionada (aos corpos de escombrelras), sendo nesta fase de excluir as malhas de amostragem sistemática, estratificada e a malha aleatória. As amostras devem ser do tipo amostra compósita, de forma a garantir a representatividade dos materiais constituintes da escombrelra.

Com vista a caracterizar o estado de segregação dos materiais mais finos e, conseqüentemente, as zonas (ou estratos) com maior probabilidade de conter valores mais elevados de mineralização, sugere-se, no mesmo local, a recolha de uma amostra superficial e outra em profundidade.

Nesta fase, dado não se conhecerem as características (granulométricas, mineralógicas) dos materiais, a quantidade de amostra a recolher deverá ser suficiente para as etapas subseqüentes de caracterização. Assim, sugere-se que a mesma seja de cerca de 5Kg. Nesta etapa são elaboradas fichas de campo, para registo dos dados a recolher na fase posterior, nomeadamente a referência e localização geográfica das escombrelras e das amostras a realizar.

## **4.2 Etapa 2 – Campanha de recolha de amostras das escombrelras e envolvente**

### **Validação da inventariação de escombrelras**

A etapa 2 é realizada no campo e inicia-se com a validação da inventariação das escombrelras feita em gabinete. É essencial verificar a existência e dimensão das escombrelras e se as mesmas estão de acordo com a informação recolhida anteriormente, caso não tenha sido realizada uma etapa de validação das escombrelras no campo antes da definição do plano de amostragem. Para o caso de existirem divergências entre a inventariação feita e a realidade observada, é importante adaptar o plano de amostragem a aplicar. Se estiverem previstos pontos de amostragem em locais onde não existam escombrelras ou onde existam condicionalismos de acessibilidade, estes devem ser excluídos. Por outro lado, em escombrelras cuja dimensão seja superior à prevista, a malha de amostragem pode ser adensada, de modo a garantir a representatividade das amostras.

Feito o reconhecimento dos corpos das escombrelras existentes, deve fazer-se a recolha de informações de índole geométrica das mesmas, para futuramente ser calculado o seu volume. É importante a recolha das coordenadas GPS de determinados pontos, como os pontos limítrofes, o ponto central e outros locais particulares de cada escombrelra, como os locais de amostragem. É igualmente relevante a caracterização das inclinações dos flancos das escombrelras, pois estes dados permitirão o

cálculo de um volume mais fiel à realidade. A caracterização litológica e granulométrica dos materiais das escombrelas é uma etapa muito importante para a selecção dos métodos de recuperação dos minérios de interesse, numa etapa posterior de valorização das escombrelas.

#### **Amostragem de escombrelas e envolvente**

A recolha de amostras superficiais poderá ser realizada por padejamento (com pá ou enxada), enquanto as amostras em profundidades deverão ser colhidas com recurso ao trado manual, sempre que as condições assim o permitam. Para estas últimas, deve ser registada a profundidade de colheita, igual à soma do comprimento dos tubos metálicos do mesmo mais o do amostrador. O material é recolhido para um recipiente, devidamente selado e identificado.

A quantidade de amostra a recolher deve ser representativa dos materiais existentes na escombrela e suficiente para a realização dos ensaios laboratoriais a realizar (ensaios de caracterização granulométrica, mineralógica e analítica), ou seja, cerca de 5Kg de amostra.

A etapa 2 pode ainda incluir uma caracterização analítica expedita das amostras com recurso ao XRF portátil (*X-Ray Fluorescence*), devendo a mesma ser feita aquando da colheita. A informação resultante deste método pode ser utilizada como caracterização analítica final do estudo ou apenas para a hierarquização das amostras a caracterizar analiticamente na etapa 3.

### **4.3 Etapa 3 – Caracterização laboratorial das amostras**

A etapa 3 consiste na caracterização laboratorial das amostras para avaliação da granulometria dos materiais, composição química e mineralógica.

Para a realização dos ensaios de laboratório é necessária a preparação prévia das amostras, que inclui a secagem e desagregação dos materiais, a homogeneização e duplicação das amostras para os ensaios de caracterização.

#### **Preparação de amostras**

Cada amostra deve ser individualmente colocada num tabuleiro e registado o seu peso inicial. É feita a sua secagem em estufa por um período mínimo de 24h à temperatura de 50°C. Após arrefecimento, o material é desagregado e homogeneizado e procede-se à duplicação da amostra para os ensaios de caracterização definidos. A duplicação da amostra pode ser feita por enquarteração. As amostras são pesadas e devidamente identificadas para caracterização laboratorial.

Deve também realizar-se um procedimento fundamental quando se pretende obter resultados de caracterização para as fracções finas e grosseiras separadamente. Este procedimento consiste na escolha de uma granulometria pela qual é feita a separação através de peneiração. Esta medida deve corresponder

a uma medida de malha de peneiros. Recomenda-se a escolha do peneiro nº 10 (2mm) da série ASTM para a peneiração. Este procedimento origina duas subamostras, uma de material grosseiro e outra de material fino.

### **Caracterização analítica**

A caracterização analítica é realizada por entidades especializadas, o que pressupõe o envio para laboratório de uma das subamostras de cada amostra recolhida em campo, caso a mesma não tenha sido feita durante a campanha de campo com o XRF portátil. O método analítico preferencial é o ICP-MS (*Induced Coupled Plasma – Mass Spectrometry*) que tem como resultado a concentração de diversos elementos, nomeadamente os principais metais, em ppm. A escolha deste método é baseada na sua elevada precisão, garantindo assim valores de concentração dos metais em estudo bastante fiáveis. Os resultados desta caracterização permitem hierarquizar as amostras em termos de valores de teores, o que permite escolher quais aquelas que irão ser utilizadas na caracterização mineralógica. Esta escolha deve ser feita definindo critérios de selecção, nomeadamente um dos quartis de teores como o quartil 75% ( $Q_3$ ), o teor mínimo do metal em estudo, o número máximo de amostras que se pretende caracterizar, etc. Deve fazer-se uma análise estatística univariada, bivariada e/ou multivariada dos resultados laboratoriais a fim de se obter uma caracterização mais global dos teores por escombreira e por mina.

### **Caracterização granulométrica**

A caracterização granulométrica tem por objectivo determinar a proporção das diferentes granulometrias, finas e grosseiras, que existem em cada amostra. Em Portugal deve ser feita de acordo com a Especificação LNEC E196-1966. O procedimento aplicado permite obter a massa das diferentes fracções, o que possibilita o desenho da curva granulométrica correspondente a cada amostra. Pode também ser efectuado o cálculo dos coeficientes de curvatura e uniformidade para classificar as amostras, segundo a Classificação Unificada de Solos.

### **Caracterização mineralógica**

Numa fase preliminar dos estudos, as etapas para a caracterização mineralógica poderão consistir nas seguintes quatro etapas fundamentais: (i) separação das fracções granulométricas a analisar, (ii) separação densimétrica dos minerais pesados, (iii) separação magnética dos minerais, (iv) observação à lupa binocular, onde se inclui a contagem dos grãos dos minerais de interesse.

### **Separação das fracções granulométricas para caracterização mineralógica**

Esta etapa de caracterização inicia-se com a separação de fracções granulométricas específicas. O processo de separação deve ser feito num agitador mecânico durante cerca de 10 minutos, o que promove uma melhor selecção dos grãos, não apenas de acordo com a granulometria, mas também com a forma dos mesmos (Mange, 1992). Feita a separação das fracções escolhidas, o material é lavado no

peneiro mais fino sob água corrente. Este procedimento permite remover granulometrias de dimensão inferior que não tenham sido devidamente separadas pela peneiração. Esta lavagem permite, também, que os grãos dos minerais de interesse sejam devidamente lavados, o que facilitará a sua observação à lupa binocular. Após a lavagem, é realizada uma secagem em estufa a 50°C durante um período mínimo de 24h. Realizada a secagem, deve registar-se o peso do material seco, necessário para o cálculo de recursos de Sn e W.

### **Separação densimétrica dos minerais pesados**

Com o objectivo de fazer uma caracterização apenas dos metais presentes, é importante separar todos os minerais leves. A separação densimétrica pode ser realizada com recurso a líquidos densos, de densidade definida. Alguns destes líquidos são o tribromometano ( $\text{CHBr}_3$ ), vulgarmente designado por bromofórmio ( $d=2,89\text{g/cm}^3$ ), tetrabromoetano ( $2,96\text{g/cm}^3$ ), di-iodometano ( $d=3,32\text{g/cm}^3$ ) e solução de Clerici ( $d=4,24\text{g/cm}^3$ ) (Mange, 1992). Estes líquidos são altamente tóxicos, tendo sido desenvolvidas algumas alternativas, como o politungstato de sódio ( $3\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 9\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) (Callahan, 1987). A escolha do líquido deve ser feita de acordo com a sua densidade e a densidade dos minerais a separar. No caso de ser utilizado algum dos líquidos de elevada toxicidade acima referidos, é necessário que o procedimento seja efectuado numa *hotte* e com a utilização de luvas, máscara para vapores, bata e protecção ocular.

A separação é feita num funil de separação, cheio com o líquido escolhido, onde é colocada a amostra, numa quantidade de cerca de 10g. Aguarda-se por um período de cerca de 10 minutos para que ocorra a separação gravítica dos minerais, sendo então recolhidos os minerais pesados através da torneira do funil. Esta é aberta para que os minerais pesados passem para um recipiente com papel de filtro colocado por baixo do funil, sendo depois fechada. Repete-se este procedimento com novo recipiente e papel de filtro para recolher os minerais leves, que serão eliminados. Desta forma o líquido denso pode ser reaproveitado para futuras separações. Os minerais pesados têm que ser enxaguados com água destilada para remover qualquer vestígio do líquido denso e colocados numa caixa de *Petri* para posterior secagem na estufa durante aproximadamente 24 horas.

### **Separação magnética dos minerais pesados**

A par da densidade, também as propriedades magnéticas de alguns minerais podem ser utilizadas como critério de separação, a fim de refinar os resultados da caracterização mineralógica. Os minerais podem ser classificados como:

- Ferromagnéticos: minerais magnéticos que podem ser facilmente separados dos restantes com um íman;
- Paramagnéticos: minerais cuja atracção quando sujeitos a um campo magnético é fraca, pelo que a sua separação exige um campo de elevada intensidade;
- Diamagnéticos: minerais com comportamento semelhante aos anteriores, com a diferença de que na presença de um campo magnético são repelidos em vez de atraídos.

Assim, a separação magnética pode ser realizada, consoante o objectivo e minerais presentes, com recurso a um íman ou a um separador magnético, como o *Frantz Isodynamic*. Segundo, Rosenblum *et al.*, as intensidades de campo magnético propostas para a separação de wolframite variam entre 0,1 e 0,6A, enquanto tanto a *scheelite* como a cassiterite exigem um valor de campo magnético superior a 1,7A. Com o aparelho em funcionamento e a intensidade do campo magnético definida, a amostra deve ser colocada muito lentamente no funil, a fim de a mesma deslizar pela calha onde é efectuada a separação. Os grãos são separados caindo, no final da calha, em dois copos. O material recolhido em cada copo é pesado e guardado em embalagem plástica devidamente identificada com o valor de intensidade magnética que originou a separação e se se trata da fracção magnética ou não-magnética da amostra. Os minerais constituintes da amostra são identificados na fase seguinte, por observação à lupa binocular.

### **Identificação dos minerais à lupa binocular**

Coloca-se a amostra distribuída uniformemente numa caixa de *Petri*, de forma a facilitar a observação e contagem dos grãos dos minerais. Segundo van Harten (1965), existem três métodos de contagem de grãos de minerais pesados numa amostra:

- *Fleet method*: são contabilizados todos os grãos em observação e calculadas as abundâncias relativas em percentagem;
- *Line counting*: contam-se os grãos que intersectam linhas perpendiculares traçadas no campo de visualização. Este método é sensível ao tamanho dos grãos pois a intersecção de grãos maiores e das linhas é mais frequente;
- *Ribbon counting*: exige a contagem dos grãos sobrepostos a bandas aleatórias traçadas no campo de visão aquando da observação à lupa ou microscópio.

A fase de contagem de grãos permitirá estimar a abundância de cada espécie mineral na amostra. Diferentes autores propõem diferentes números mínimos de grãos que devem ser contabilizados, de modo a assegurar que as proporções dos minerais sejam significativas do total de amostra. Destacam-se os seguintes:

- 300 grãos (Dryden, 1931);

- Múltiplos de 100, com o número total a variar entre 100 e 600 grãos (van Andel, 1950);

Feita a contagem, é necessário fazer-se a análise dos dados obtidos, calculando as percentagens relativas e absolutas dos minerais em estudo. Estas podem ser apresentadas em diversos tipos de gráficos, como barras ou circular, consoante o tipo de representação pretendida.

#### **4.4 Etapa 4 – Caracterização de recursos de Sn e W**

A etapa final da fase de investigação detalhada compreende o cálculo do volume das escombrelas, a determinação da densidade das amostras e, por fim, os recursos existentes nas mesmas.

##### **Cálculo do volume e da densidade das escombrelas**

O cálculo do volume de cada escombrela compreende, numa primeira fase, a modelação da morfologia da escombrela em SIG e, numa segunda fase, o cálculo do volume da mesma. A informação relativa a cada escombrela, como pontos cotados, recolhida no campo deve ser carregada no *software*. Quanto maior a quantidade desta informação, mais fidedigna será a geometria final calculada. Os dados de partida devem ser o modelo digital de terreno (MDT) a uma escala que permita a modelação da superfície do terreno com rigor, antes de nele ter sido depositada a escombrela (escala aconselhada 1/500 ou, no máximo, 1/1000) e pontos cotados recolhidos com GPS durante a campanha de campo, para efectuar a modelação da superfície de topo da escombrela. O volume calculado entre estas duas superfícies corresponde ao volume da escombrela. No caso de não se conhecer a superfície inicial do terreno, deve-se estimar no campo a espessura da escombrela em vários pontos para determinar a sua espessura e assim obter a morfologia aproximada do terreno.

A densidade de cada amostra é um dado necessário na estimação dos recursos. O valor da densidade pode ser retirado da bibliografia consultada ou obtido experimentalmente em laboratório.

##### **Cálculo dos recursos de Sn e W**

Os métodos de estimação do volume de recursos têm por objectivo a transformação de uma massa mineral numa forma geométrica simples, mantendo o volume inicial inalterado, conduzindo a uma quantidade de determinado elemento mineral. A precisão do resultado final está dependente do processo de recolha de dados, bem como dos cálculos efectuados. Os métodos de estimação dividem-se em: (i) clássicos ou geométricos e, (ii) geoestatísticos. Os métodos clássicos permitem calcular a quantidade de minério existente em determinado depósito e usam-se principalmente em acumulações maioritariamente regulares e com o objectivo de se obterem valores expeditos. Não têm, no entanto, em consideração, as estatísticas de continuidade espacial que servem de base aos métodos geoestatísticos. Estes métodos subdividem-se nas seguintes categorias: fórmulas básicas de estimação, blocos geológicos, blocos de exploração, perfis ou secções, polígonos de influência, triângulos ou isolinhas. A

estimação com recurso às fórmulas básicas permite a obtenção de resultados expeditos e que permitem fazer uma caracterização simples dos recursos.

O procedimento final do estudo corresponde ao cálculo dos recursos de minério existentes nas escombrelas. Este é feito por intermédio de métodos clássicos. Segundo Revuelta *et al.* (2007), a estimação por métodos clássicos exige que se definam as seguintes características:

- Superfícies de tecto e muro (S) para delimitar o volume da reserva, que num estudo de caracterização de escombrelas correspondem à superfície de topo da escombrela e à superfície topográfica original do terreno, respectivamente.
- Volume do recurso (V), a partir da espessura (E) e superfície (S), em m<sup>3</sup>:  $V = S \times E$
- Tonelagem (Q) em toneladas, recorrendo à densidade (d) do recurso:  $Q = V \times d$
- Tonelagem de um componente (T), a partir do teor médio g (%):  $T = Q \times g / 100$

A partir destas características, é possível definir o procedimento necessário para o Caracterização de recursos de Sn e W existentes nas escombrelas.

O cálculo da massa de cada escombrela é feito através da fórmula:

$$m_e = \rho \times V_e$$

Sendo:

$m_e$  – massa da escombrela (Kg);

$\rho$  – densidade (Kg/m<sup>3</sup>);

$V_e$  – volume da escombrela (m<sup>3</sup>).

Partindo dos valores de massa das fracções granulométricas de cada amostra e da porção dessas fracções utilizada na separação densimétrica (caracterização mineralógica), bem como da massa de minerais pesados obtidos na mesma, calcula-se a massa de minerais pesados total existente em cada amostra através de:

$$m_{tp} = \frac{m_{tf} \times m_p}{m_f}$$

Sendo:

$m_{tp}$  – massa total de minerais pesados (g);

$m_{tf}$  – massa total das fracções granulométricas (g);

$m_p$  – massa de minerais pesados obtida na separação densimétrica (g);

$m_f$  – massa de minerais utilizada na separação densimétrica (g).

Calcula-se a percentagem de cassiterite, *scheelite* e volframite existente em cada amostra, a partir dos dados resultantes da contagem dos grãos de cada mineral aquando da análise mineralógica. Tanto a cassiterite como a *scheelite* são minerais não magnéticos, pelo que os grãos de ambos devem ser contabilizados na fracção não magnética. No caso da volframite, existe a possibilidade de a mesma ocorrer nas fracções separadas a diferentes intensidades. Neste caso, é necessário ponderar a massa da mesma em cada uma das amostras separadas. Assim, o cálculo da sua percentagem resulta da soma das proporções deste mineral em ambas as amostras. As percentagens de cassiterite e *scheelite* são dadas pela seguinte fórmula:

$$\% \text{ de cassiterite ou scheelite} = \frac{n^\circ \text{ de grãos do mineral}}{n^\circ \text{ de grãos total da amostra}} \times 100$$

As massas de cassiterite e *scheelite* são calculadas através dos valores de percentagem calculados no passo anterior:

$$m_{cs} = \frac{m_{tnm} \times \%_{cs}}{100}$$

Sendo:

$m_{cs}$  – massa total de cassiterite ou *scheelite* (g);

$m_{tnm}$  – massa total de minerais não magnéticos (g);

$\%_{cs}$  – percentagem de cassiterite ou *scheelite*.

A percentagem de volframite em cada uma das subamostras magnéticas, com *i* tomando o valor de intensidade de corrente eléctrica definida no separador magnético, é dada por:

$$\% \text{ de } W (i \text{ Amp}) = \frac{n^\circ \text{ de grãos de } W}{n^\circ \text{ de grãos total da amostra}} \times 100$$

Cada uma das duas percentagens de volframite calculadas é ponderada com a massa da respectiva subamostra, a fim de se obter a massa total de volframite na amostra:

$$m_t W = \sum (\% W_{i \text{ Amp}} \times m W_{i \text{ Amp}})$$

Sendo:

$m_t W$  – massa total de volframite na amostra (g);

$\% W_{i \text{ Amp}}$  – percentagem de volframite obtida na separação magnética a  $i$  amperes;

$m W_{i \text{ Amp}}$  – massa de volframite obtida na separação magnética a  $i$  amperes (g).

A massa total de volframite na amostra é necessária para o cálculo da percentagem de volframite contida na amostra:

$$\% W_{am} = \frac{m_t W \times 100}{m_{tm}}$$

Sendo:

$\% W_{am}$  – percentagem de volframite contida na amostra;

$m_t W$  – massa total de volframite (g);

$m_{tm}$  – massa total de minerais magnéticos (g).

Tendo calculadas as massas e as percentagens dos três minerais em estudo e assumindo que apenas se estão a contabilizar os recursos existentes nas fracções granulométricas analisadas, pode calcular-se a massa do mineral existente em cada escombreira:

$$m e_i = \frac{m_e \times m_i}{m_{tam}}$$

Sendo:

$m e_i$  – massa do mineral  $i$  na escombreira (g); ( $i=1$  *scheelite*,  $i=2$  volframite e  $i=3$  cassiterite);

$m_e$  – massa total da escombreira (g);

$m_i$  – massa do mineral  $i$  na amostra (g); ( $i=1$  *scheelite*,  $i=2$  volframite e  $i=3$  cassiterite);

$m_{tam}$  – massa total da amostra (g).

Os recursos de Sn correspondem aos valores de estanho presente na cassiterite, enquanto os recursos de W devem reflectir a soma dos valores de recursos de volfrâmio da *scheelite* e da volframite. A percentagem de Sn na cassiterite é de 78,77%, enquanto a percentagem de W na *scheelite* é de 63,85% e na volframite é de 60,63% (Mindat.org, 2015). Estas percentagens reflectem o peso atómico do elemento (Sn ou W) face ao peso atómico do respectivo mineral.

Os recursos de Sn ou W em ppm são dados por:

$$\text{Teor de W (ppm)} = \sum_{i=1}^2 \frac{m_i \times 1E^6}{m_t} \times \% \text{ de W no mineral } i \quad [1]$$

$$\text{Teor de Sn (ppm)} = \frac{m_3 \times 1E^6}{m_t} \times \% \text{ de Sn na cassiterite} \quad [2]$$

Sendo:

$m_i$  – massa do mineral  $i$  na amostra (g); ( $i=1$  *scheelite*,  $i=2$  volframite);

$m_t$  – massa total da amostra (g).

Os recursos de Sn ou W em Kg/m<sup>3</sup> são dados pelas seguintes fórmulas:

$$\text{Teor de W (Kg/m}^3\text{)} = \sum_{i=1}^2 \frac{m e_i}{V_e} \times \% \text{ de W no mineral } i \quad [3]$$

$$\text{Teor de Sn (Kg/m}^3\text{)} = \frac{m e_3}{V_e} \times \% \text{ de Sn na cassiterite} \quad [4]$$

Sendo:

$m e_i$  – massa do mineral  $i$  na escombreira (g); ( $i=1$  *scheelite*,  $i=2$  volframite);

$V_e$  – volume da escombreira (m<sup>3</sup>).

Os recursos de Sn ou W por escombreira em Kg são dados por:

$$\text{Recursos de Sn ou W (Kg)} = \text{teor} \times V_e \quad [5]$$

Sendo:

teor - teor de Sn ou W na escombreira (Kg/m<sup>3</sup>);

$V_e$  – volume da escombreira (m<sup>3</sup>).

## 5. Fundamentos teóricos

### 5.1 Amostragem de resíduos mineiros

A amostragem consiste na operação de recolha de material *in situ* para posterior análise laboratorial com o objectivo de se caracterizar a área ou objecto em estudo. Para realizar uma boa campanha de amostragem é essencial que as amostras de determinada população sejam representativas do conjunto, que o número de elementos dessa população seja suficiente e que a recolha seja efectuada segundo um procedimento definido e rigoroso, para minimizar os erros associados. Para Vallée (1992), uma amostra é “*uma quantidade relativamente pequena de material, recolhida de acordo com um procedimento sistemático, a partir do qual se avaliam as características do conjunto que este material representa*”.

As amostras recolhidas devem proporcionar dados representativos de todo o conjunto e permitir conhecer a distribuição espacial das propriedades em estudo. Assim é de elevada importância a definição de um plano de amostragem adequado. Segundo Orche (1999), um correcto plano de amostragem é composto por:

- Método de amostragem;
- Sistema mecânico de colheita de amostras;
- Tamanho da amostra;
- Malha de amostragem.

#### **Método de Amostragem**

O método de amostragem é um processo essencial para a correcta avaliação do recurso em estudo. O autor citado acima classifica os métodos de amostragem em três categorias:

#### Amostragem pontual:

- *Point/lump sampling*;
- *Pit/chip sampling*;
- *Grab sampling*;

#### Amostragem linear:

- Furos;
- Sondagens (destrutivas ou com recolha de testemunho);
- Canal;

#### Amostragem volumétrica:

- Poços;

- *Layer sampling*;
- *Muck sampling*;
- *Bulk sampling*.

Um dos tipos de amostragem pontual designa-se por *point or lump sampling*, ou seja, é um método simples e expedito que consiste na recolha de uma amostra entre 0,5 e 5Kg do material a analisar e que é apropriado para uma campanha preliminar de amostragem. Contudo, por ser um método pouco rigoroso, nem sempre fornece dados representativos do conjunto a amostrar.

### Malha de Amostragem

A definição da malha de amostragem é essencial, uma vez que são definidos os pontos onde serão colhidas amostras do material a amostrar. A importância da sua correcta definição é elevada pois influencia a representatividade das amostras colhidas. Quanto maior a heterogeneidade do objecto a amostrar, mais difícil é o processo de definição de uma malha de amostragem que garanta a representatividade do conjunto. Segundo Koch & Link (1970), a malha de amostragem pode ser:

- **Sistemática:** as amostras são colhidas em intervalos espaciais regulares ao longo de toda a área de estudo;
- **Aleatória:** os pontos de amostragem são distribuídos na área de estudo de forma inteiramente aleatória. Este tipo de malha pode levar ao enviesamento da informação obtida;
- **Estratificada:** as amostras distribuem-se em diversas populações, sendo cada uma delas considerada homogénea (por exemplo, num estrato).

Alguns autores consideram ainda outro tipo de malha, a direccionada. Este tipo de malha pressupõe o conhecimento prévio de informação sobre o local e permite que se defina a malha em zonas preferenciais da área em estudo, como por exemplo zonas mineralizadas, escombreyras, áreas contaminadas, etc.

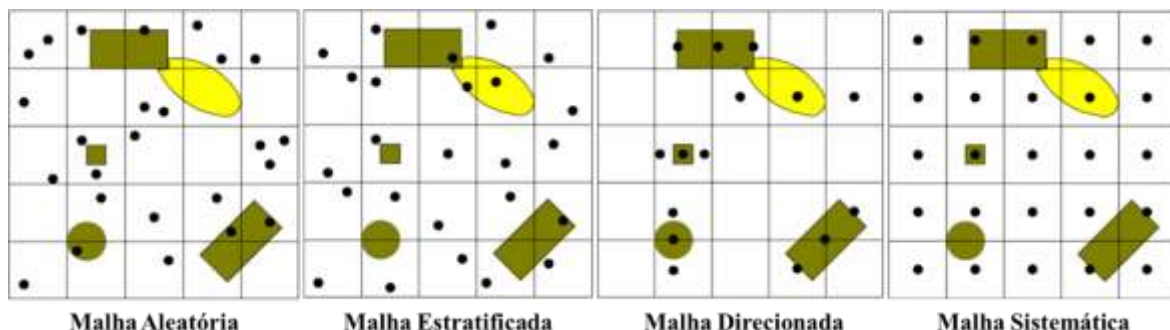


Figura 5-1 - Tipos de malhas de amostragem (Adaptado de Brito, 2005)

## **Densidade de Amostragem**

Tão importante como a geometria da malha de amostragem é a sua densidade, ou seja, o espaçamento entre as amostras. O espaçamento da malha está dependente do objectivo do estudo e do detalhe que se pretende atingir. Uma densidade excessiva resulta num número de amostras demasiado elevado o que leva a um aumento do custo do processo de amostragem. Por outro lado, uma densidade demasiado baixa pode resultar na perda de representatividade das amostras recolhidas, condicionando o resultado final do estudo. Orche (1999) *in* Kuzvart & Bohmer (1978) cita quatro métodos de determinação da densidade de amostragem, mas que apenas podem ser aplicados numa fase de investigação detalhada pois necessitam de dados recolhidos na amostragem preliminar para a sua determinação:

- Coeficiente de variação;
- Geoestatística;
- Correlograma;
- Diferenças sucessivas;

## **Quantidade de amostra**

A quantidade ou tamanho da amostra é um factor importante a ter em conta quando se planeia uma campanha de amostragem. O peso da amostra deve assegurar a representatividade da mesma, o que nem sempre é fácil de assegurar, dada a variabilidade de elementos passíveis de estudo, tipos de depósitos, ensaios de laboratório a realizar, etc. Kuzvart & Bohmer (1978) sugerem que os seguintes factores sejam tidos em conta aquando da determinação do peso das amostras:

- No caso de depósitos ou acumulações de minério mais regulares, o peso da amostra pode ser inferior face a depósitos onde a ocorrência do mesmo apresenta um carácter mais descontínuo;
- Quanto maior a granulometria do minério, maior deve ser a quantidade de amostra recolhida, e vice-versa;
- Quanto mais elevado o teor, mais baixo pode ser o peso da amostra;
- Quanto maior o peso específico do mineral em estudo, maior deve ser a quantidade de amostra recolhida.

## **Preparação de amostras para ensaios laboratoriais**

A amostra em bruto recolhida no campo tem que ser sujeita a diversos procedimentos de preparação para ser utilizada nas diversas fases de caracterização laboratoriais. Estes têm por objectivo garantir que a porção de amostra a utilizar nos procedimentos laboratoriais é representativa da amostra total. Assim, podem enumerar-se as seguintes etapas de preparação:

- Moagem e crivagem para reduzir a heterogeneidade;
- Mistura do material moído para o mesmo ser homogeneizado;
- Enquartação para redução do peso da amostra.

A moagem realiza-se em moinhos de maxilas, anéis ou bolas, dependendo da granulometria do material de partida. O processo de enquartação consiste em dispor a amostra em forma de cone, aplainar o material no topo do cone, dividi-la em quatro partes iguais e juntar as porções opostas. Alternativamente pode ser utilizado um enquartador, vulgarmente designado por amostrador de Jones. O procedimento de enquartação é realizado quantas vezes seja necessário até se atingir o peso de amostra desejado para utilizar nas fases laboratoriais seguintes.

## 5.2 Caracterização laboratorial de resíduos mineiros

### Caracterização analítica ou química

Existe um espectro alargado de métodos de análise que permitem determinar a composição química de amostras, podendo os resultados ser qualitativos ou quantitativos. Os vários métodos analíticos baseiam-se na interacção do material com um campo eléctrico, magnético ou electromagnético. Esta interacção gera um sinal cuja intensidade é medida.

A espectrometria, também designada por espectroscopia, é o método no qual uma amostra é submetida a uma radiação electromagnética, como por exemplo luz UV ou ondas de rádio. A interacção dos átomos da amostra com a radiação pode traduzir-se por processos de absorção, emissão, reflexão, refração e mudança na polarização da amostra. O espectro obtido permite o cálculo da concentração dos elementos da amostra.

A espectroscopia de fluorescência de raios-X (XRF) permite a determinação das concentrações tanto de elementos maiores, como elementos menores e elementos-traço, através da medição da emissão de raios-X por uma amostra previamente submetida a um feixe desta forma de radiação. O comprimento de onda é característico de cada elemento, o que permite a sua identificação, enquanto a intensidade desta emissão permite calcular a concentração do mesmo.

Outro método bastante comum é a espectrometria de massa (MS – *Mass spectrometry*), que efectua a separação de elementos com base nas diferenças entre as suas massas. O composto em análise é vaporizado, ionizado, sendo os seus iões separados por massa quando submetidos a um campo magnético. É um método de caracterização bastante fiável, sendo possível a quantificação de quantidades muito reduzidas de elementos. Os tipos mais comuns de espectrometria de massa incluem o FAB (*Fast atom bombardment*), ESI (*Electrospray ionization*), MALDI (*Matrix assisted laser desorption*), TOF (*Time of flight*), FT (*Fourier transform*) e ICP (*Inductively coupled plasma*). Neste último, a amostra é ionizada e os iões resultantes são analisados num espectrómetro de massa. Um leque

alargado de elementos pode ser determinado com este método, sendo actualmente um dos métodos mais utilizados.

Um dos métodos de ICP-MS mais utilizados por laboratórios comerciais consiste na aplicação de ácidos fluorídrico (HF), nítrico (HNO<sub>3</sub>) e perclórico (HClO<sub>4</sub>) a uma porção de 0,25g de amostra que é depois sujeita a ciclos de aquecimento até estar totalmente seca. Finalmente a amostra é colocada numa solução de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) e ácido clorídrico (HCl), vulgarmente conhecida como “água régia”. Estes procedimentos são responsáveis pela solubilização da maior parte dos elementos, sendo estas soluções analisadas por ICP-MS.

Alguns elementos químicos são analisados por métodos exclusivos, como é o caso do ouro. Este consiste na formação de uma amálgama pela adição de uma mistura de reagentes, como o carbonato de sódio, o bórax, entre outros, à amostra, que é colocada em ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) diluído, sendo a solução posteriormente aquecida. É então adicionado ácido clorídrico (HCl). A solução é arrefecida, diluída com água destilada e analisada por espectroscopia de absorção atómica (AAS – *Atomic absorption Spectroscopy*).

### **Caracterização granulométrica**

Os ensaios de caracterização granulométrica são ensaios de determinação da dimensão das partículas constituintes de determinada amostra e da quantidade de material existente em cada fracção granulométrica. Podem ser feitos por via seca ou húmida. As fracções granulométricas são individualizadas com recurso a uma série de peneiros de malha definida, empilhados da malha mais grosseira para a mais fina e por onde é feita passar a amostra.

Uma das séries de peneiros mais regularmente utilizada neste tipo de ensaios é a série ASTM-E11, composta pelos seguintes peneiros:

Nº peneiro	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	nº4	nº10	nº20	nº40	nº60	nº140	nº200
Malha (mm)	38,1	25,4	19,0	9,51	4,76	2,00	0,85	0,425	0,250	0,106	0,075

Existem diversas normas para a realização dos ensaios de caracterização granulométrica. Em Portugal é frequentemente utilizada a Especificação LNEC E-196 (1966) – Análise Granulométrica.

### **Caracterização mineralógica**

A caracterização mineralógica tem como principal objectivo a identificação das espécies minerais existentes numa amostra, bem como a sua quantificação. Para estudos de identificação de minerais metálicos, é benéfica a separação dos mesmos das restantes espécies. A propriedade mais indicada para servir de base a separação mineralógica é a elevada densidade que a maioria dos minerais metálicos apresentam comparativamente aos não metálicos.

Para a realização desta caracterização, a preparação das amostras pode incluir etapas como a desagregação de sedimentos, digestão de carbonatos com ácido, remoção de matéria orgânica, remoção de argilas, etc. A etapa de separação dos minerais pesados é uma das etapas cruciais. É feita com recurso a líquidos densos, nos quais os minerais mais pesados se afunda e os mais leves flutuam. Alguns destes líquidos são o tribromoetano (bromofórmio), tetrabromoetano, di-iodometano e a solução de Clerici.



Figura 5-2- Separação de minerais pesados com bromofórmio

Outros métodos de separação de minerais metálicos incluem a separação magnética, na qual a amostra é sujeita a um campo magnético. As espécies minerais afectadas pela acção desse campo são separadas das restantes. Esta separação permite uma mais fácil posterior identificação dos minerais.

Outro factor a considerar é a fracção granulométrica que se pretende isolar. A caracterização de uma fracção, em vez da amostra total permite uma observação mais uniforme das espécies mineralógicas, minimizando diferenças nas proporções dos minerais devidas à granulometria. Diferentes autores recomendam diferentes fracções granulométricas, nomeadamente:

- 100-200 $\mu\text{m}$  (Sindowsky, 1938)
- 125-250 $\mu\text{m}$  (Carver, 1971)
- 75-150 $\mu\text{m}$  (Gravenor & Gostin, 1979)
- 63-125 $\mu\text{m}$  (Morton, 1985)

### 5.3 Estatística descritiva

O tratamento de dados de caracterização química pode ser feito com recurso a análise estatística uni, bi e/ou multivariada. Através destas é possível caracterizar determinada propriedade em estudo.

Segundo Brito, 2005, os métodos de estatística descritiva permitem fazer uma descrição estatística das relações existentes entre os indivíduos e respectivas propriedades de determinada população, reduzindo a dimensionalidade dos dados sem que a perda de informação seja significativa. O objectivo principal passa pela obtenção de uma representação dos dados que facilite a sua interpretação e que permita evidenciar grupos de características existentes no conjunto total.

A estatística descritiva univariada possibilita o cálculo dos estatísticos básicos como a média, mediana, variância, desvio padrão, quartis, entre outros. A partir destes indicadores, podem ser obtidos histogramas, que são representações gráficas de frequência. Estes podem ser simples ou cumulativos. A análise dos histogramas permite classificar o tipo de distribuição dos dados (simétrica ou assimétrica), bem como a lei de distribuição presente (normal, log-normal ou uniforme). A variabilidade e a presença de *outliers* (valores extremos) também pode ser avaliada.

A estatística multivariada é utilizada para o estudo de correlação entre conjuntos de dados multivariados. Os métodos de análise multivariada dividem-se em: descritivos, explicativos e classificativos.

Um dos métodos descritivos mais utilizado é a Análise em Componentes Principais (ACP). Uma componente principal é uma combinação linear das  $p$  propriedades, independentes entre si, e estimadas conservando a maioria da informação em termos de variação total incluída nos dados de partida (Furtado *in* Mota, 2007). Os seus objectivos principais são a pesquisa de relação entre os dados, diminuindo a dimensionalidade do conjunto, permitindo uma simplificação e síntese dos mesmos. Assim, esta técnica permite sintetizar a informação fundamental dos dados originais, explicitando as relações entre as variáveis, reduzindo simultaneamente a redundância da informação (Furtado *in* Sousa e Sousa, 2001). A análise dos resultados engloba a selecção dos eixos factoriais que representam maior quantidade de informação e a correlação das variáveis e das amostras com os eixos factoriais.



## 6. Metodologia aplicada e resultados obtidos

A metodologia aplicada na presente dissertação teve como base a metodologia geral e divide-se em quatro fases fundamentais:

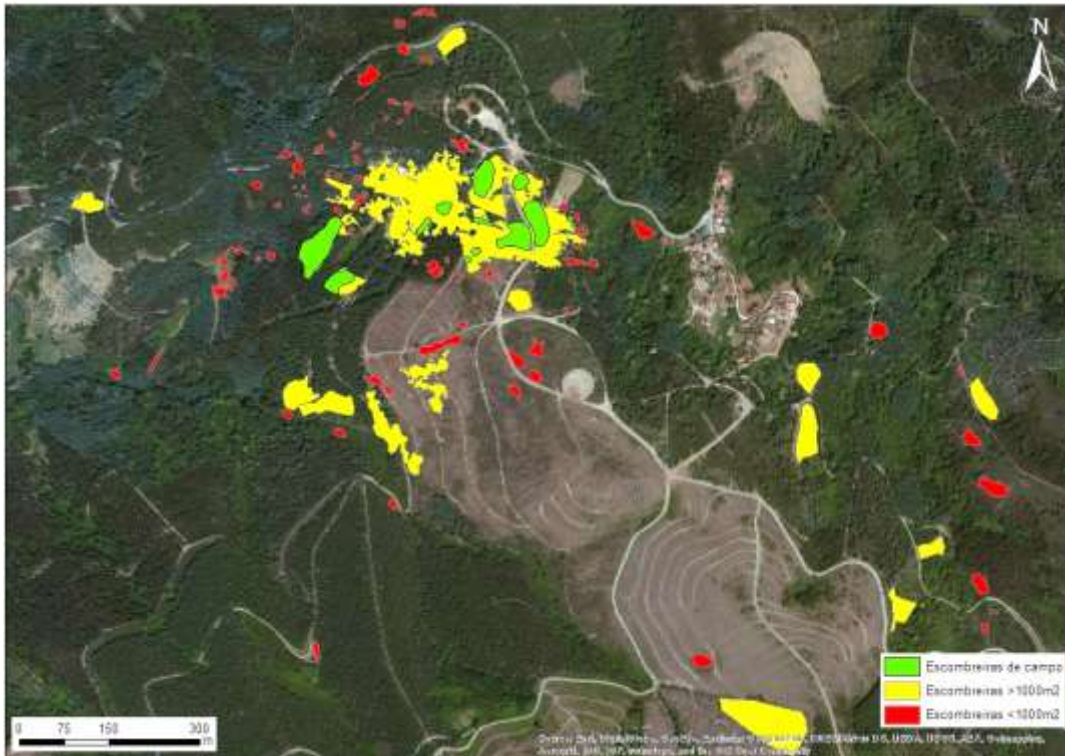
- (i) Etapa 1 – Inventariação das escombreyras potenciais;
- (ii) Etapa 2 – Campanha de recolha de dados de campo;
- (iii) Etapa 3 – Caracterização laboratorial de amostras e;
- (iv) Etapa 4 – Caracterização de recursos de Sn e W.

### 6.1 Etapa 1 - Inventariação das escombreyras potenciais

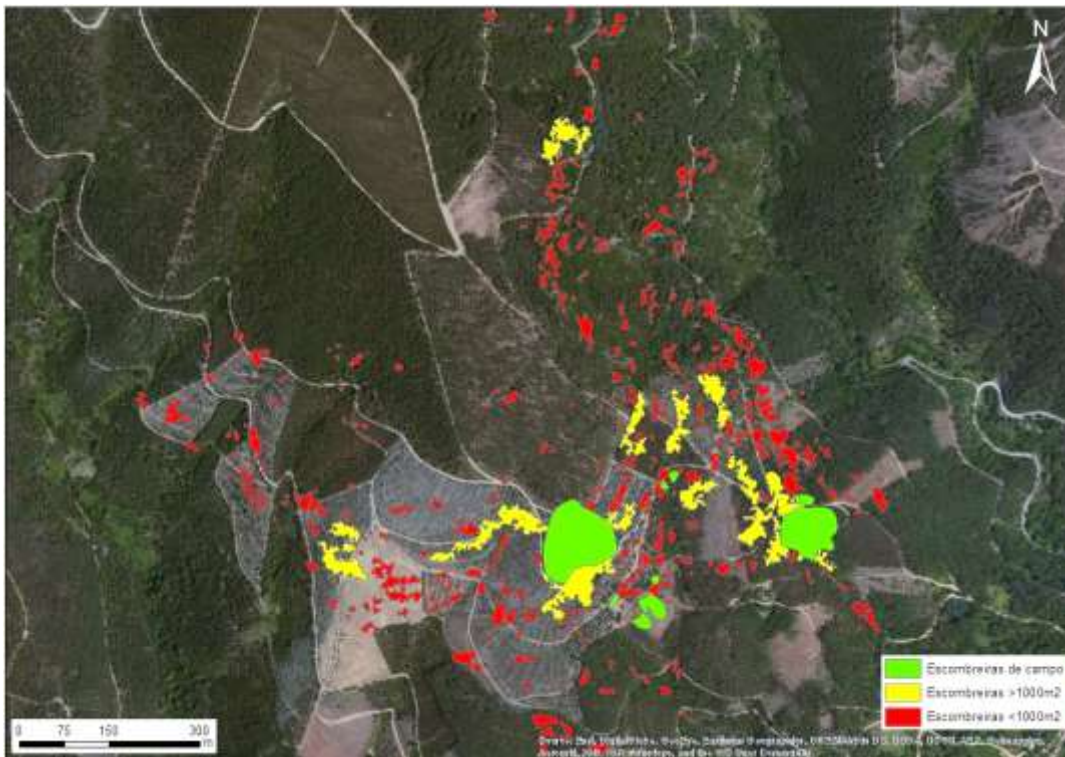
O processo de inventariação de escombreyras inicia-se em gabinete, com a pesquisa bibliográfica e com a observação de imagens de satélite e fotografias aéreas antigas e actuais. A identificação de corpos de escombreyras realizou-se através dos *softwares Google Earth e World Imagery do ArcGIS* e também pela observação estereoscópica de fotografias aéreas da região à escala 1/26000.

O intervalo temporal entre o encerramento das minas e a actualidade é de cerca de meio século, o que implica grandes modificações no terreno, quer no coberto natural, quer nas infraestruturas produzidas pelo Homem. A análise das imagens de satélite permitiu constatar que grande parte do terreno em ambas as minas encontra-se com coberto vegetal intenso, dificultando a identificação da maioria das escombreyras. Assim, torna-se fundamental analisar as fotografias aéreas do período de funcionamento das minas, de modo a identificar-se de forma rápida as escombreyras existentes na altura. As fotografias aéreas analisadas foram as fotos nº689, 690, 737, 769 e 770 do vôo da Sociedade Portuguesa de Levantamentos Aéreos Lda. (SPLAL) de 1946. Os números 689 e 690 correspondem à área da mina de Senhora da Guia e os números 737, 769 e 770 à área de Vale Pião. A identificação dos corpos das escombreyras fez-se através do *ArcGIS* após digitalização e georreferenciação das fotografias aéreas.

As escombreyras inventariadas em gabinete são apresentadas na Figura 6-1. Assinaladas a vermelho encontram-se as escombreyras inventariadas inicialmente (118 em SG e 540 em VP). Qualquer acumulação de material identificada foi considerada na inventariação, ainda que algumas fossem de reduzida dimensão. Após agrupadas as escombreyras com área coincidente no material de suporte e seleccionadas aquelas com área superior a 1000 m<sup>2</sup>, passaram a considerar-se as apenas as escombreyras assinaladas a amarelo (16 em SG e 25 em VP). Assinaladas a verde estão as escombreyras que foram posteriormente inventariadas no campo, sendo assim possível a comparação entre estas e as anteriores



Mina de Senhora da Guia

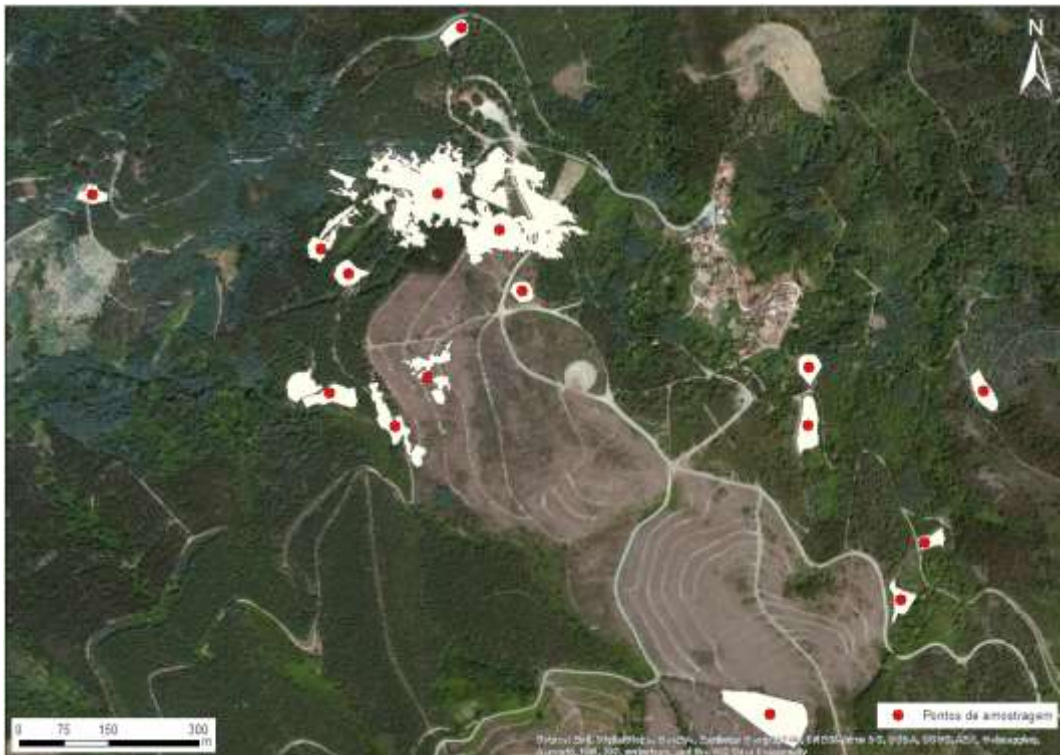


Mina de Vale Pião

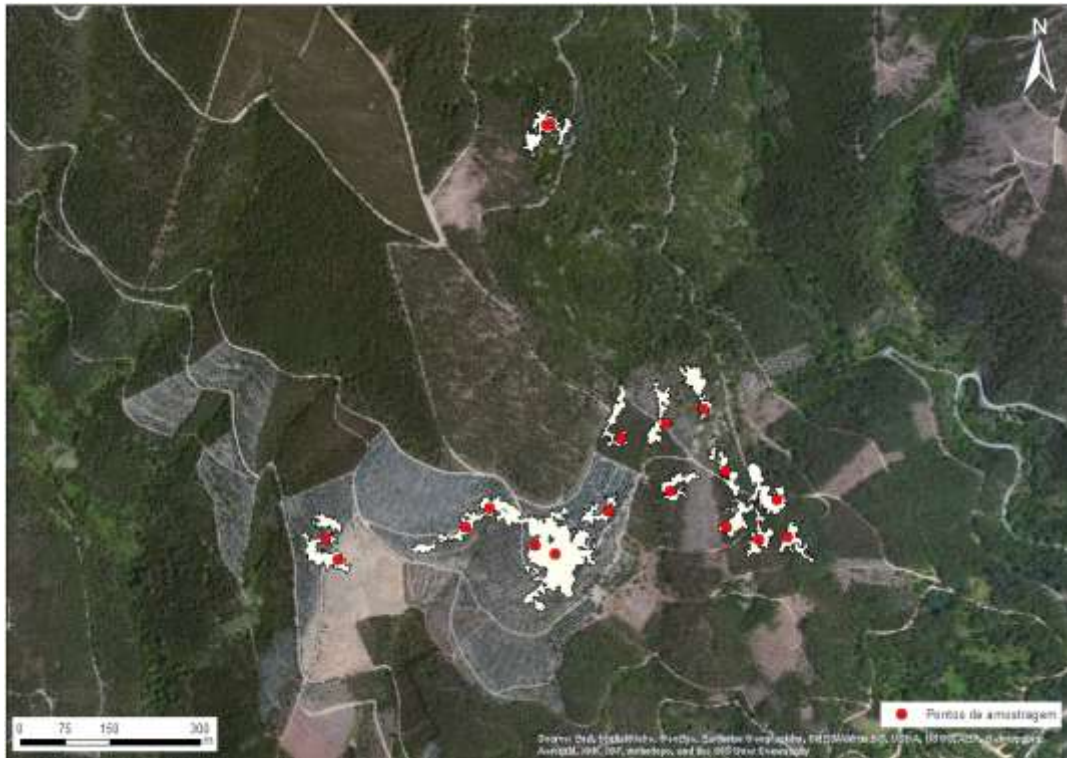
Figura 6-1 - Escombrelas de SG e VP inventariadas em gabinete

Definiu-se o plano de amostragem, de acordo com a metodologia geral. A malha aplicada para cada área de estudo é direccionada, pois incidu apenas no local das escombrelas observadas no campo, resultando em 41 pontos de colheita. Dado o número de escombrelas inventariado, decidiu-se escolher

apenas um ponto de amostragem por escombreira, o seu ponto central, reconhecendo-se o risco de enviesamento dos dados. No entanto, esta opção deveu-se à necessidade de obtenção de informação sobre todas as escombreiras, o que permitiria hierarquizar as mesmas por grau de importância e, num estudo posterior, definir um plano de amostragem focado nas escombreiras com teores mais elevados. Tendo sido tomada a opção de colher apenas uma amostra por escombreira, não se considerou a hipótese de elaborar amostras compósitas entre escombreiras. Ficou ainda definido que quando as condições dos materiais o permitissem, nomeadamente a granulometria e o teor de humidade, seriam recolhidas amostras em profundidade, no mesmo ponto de colheita da amostra superficial, ou seja, no centróide da escombreira. A malha de amostragem planeada em gabinete é apresentada na Figura 6-2.



Mina de Senhora da Guia



Mina de Vale Pião

Figura 6-2 - Malha de amostragem teórica de SG e VP

## 6.2 Etapa 2 - Campanha de recolha de amostras das escombrelras e envolvente

### Validação das escombrelras inventariadas

O trabalho de campo iniciou-se com a validação da informação inventariada previamente. Veio a comprovar-se a frequente cobertura vegetal em boa parte dos corpos, motivo que levou à difícil identificação dos mesmos através das imagens de satélite. Comprovou-se, ainda que muitas das escombrelras identificadas no trabalho de gabinete já não existem, possivelmente devido à remobilização deste material, quer por processos naturais, quer pela acção humana. Da fase de campo resultaram 8 escombrelras em SG e 5 em VP (Figura 6-3). A cada escombrelra atribuiu-se uma referência que designa a mina à qual pertence e uma letra para a sua identificação. Por exemplo, a escombrelra A de Senhora da Guia é designada por SG-A, enquanto a escombrelra B de Vale Pião é designada por VP-B.



Mina de Senhora da Guia



Mina de Vale Pião

Figura 6-3 - Escombreiras de SG e VP inventariadas em campo com a respectiva referência

A inventariação no campo permitiu não só a identificação das escombreiras, mas também a delimitação das mesmas através das coordenadas GPS dos pontos limítrofes, ponto central, etc. Foram assim identificados os principais corpos de escombreiras que, tanto em Senhora da Guia como em Vale Pião, apresentam duas tipologias características: uma com materiais mais grosseiros, provavelmente de actividades de desmonte, e outra de materiais mais finos, provenientes de processos de tratamento de minério. Existem ainda algumas escombreiras que apresentam maioritariamente a primeira tipologia mas que em determinados locais apresentam materiais que podem ser englobados na segunda tipologia. A área calculada para cada escombreira e a respectiva tipologia segundo a classificação anterior é apresentada no anexo I.

As escombrelras identificadas apresentam uma constituico heterognea entre si. A tipologia mais comum das escombrelras  composta essencialmente por materiais estéreos, como o xisto e o grauvaque, de granulometrias centimétricas e superiores, que se supõe serem materiais do desmonte do maciço rochoso para abertura de poços e de galerias que conduziam  mineralizao. A outra tipologia  apenas característica de duas escombrelras (SG-B e SG-F), sendo caracterizada pelos materiais mais finos, de areia a argila, onde a presença de quartzo  mais significativa, o que leva a admitir que estes materiais tenham sido sujeitos a algum tipo de processamento para extraco do minério. Existem ainda escombrelras com a presença de ambas as tipologias, isto , apresentam materiais mais grosseiros na sua generalidade, mas localmente contm acumulaoes de materiais de granulometria mais fina. Na Figura 6-4 são visíveis os materiais constituintes da escombrelra VP-A, onde abundam os materiais finos, conjuntamente com algum material de granulometria mais grosseira.



Figura 6-4 - Materiais da escombrelra VP-A

A maioria das escombrelas apresentam algum tipo de coberto vegetal, sendo em algumas escombrelas extremamente denso. Geometricamente, existem desde escombrelas em flanco de encosta, com a forma cónica vulgarmente associada a este tipo de elementos, até escombrelas cuja deposição dos materiais foi feita em locais mais planos, o que reflecte a sua geometria menos definida. Na mina de Senhora da Guia, a escombrela SG-D foi a única onde se identificou um fenómeno de instabilidade geotécnica, um escorregamento no flanco da mesma.

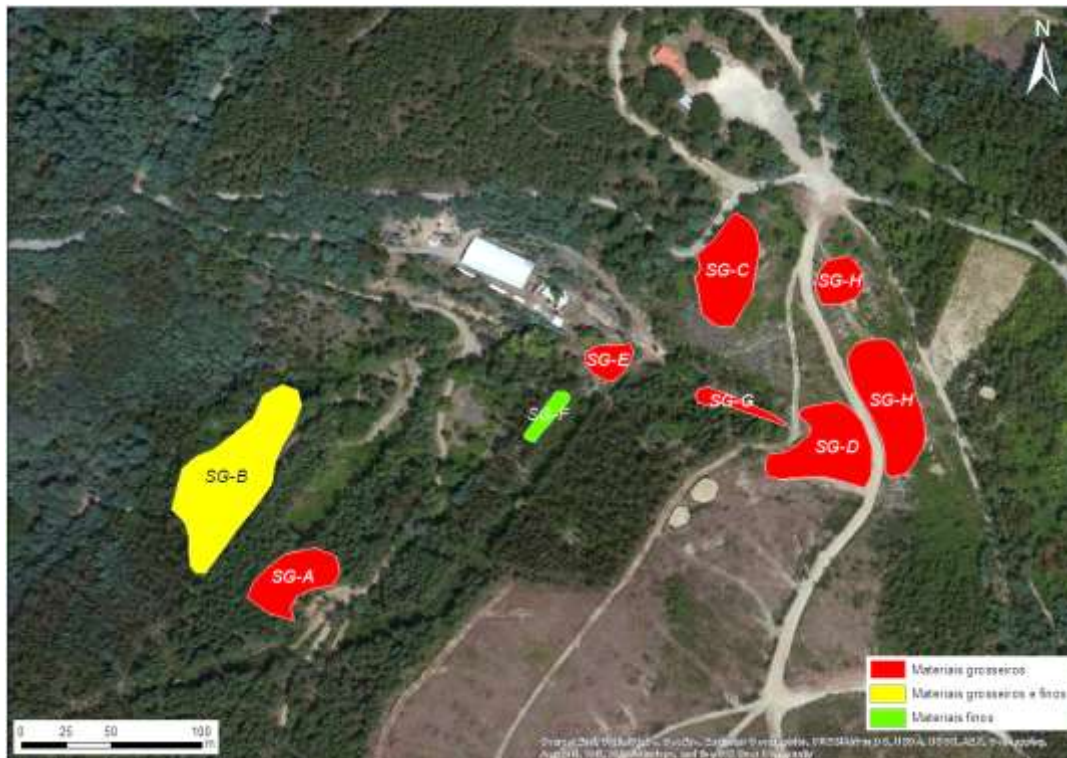


Figura 6-5 – Tipologias das escombrelas de SG

A Figura 6-5 apresenta o mapa das tipologias das escombrelas de Senhora da Guia, onde é possível verificar que grande parte das mesmas é composta por materiais grosseiros, com excepção das escombrelas SG-B e SG-F. No caso da mina de Vale Pião (Figura 6-6), a tipologia e os aspectos visuais das escombrelas são semelhantes aos de Senhora da Guia, com excepção da escombrela VP-A que apresenta uma coloração amarelada e odor a enxofre, típicos da presença de sulfuretos. Em VP-E, observou-se que grande parte do material está disperso sendo a área da escombrela actualmente uma plantação de eucaliptos.



Figura 6-6 - Tipologias das escombeiras de VP

### Amostragem de escombeiras e envolvente

Após a caracterização das escombeiras procedeu-se à amostragem dos materiais. Nesta fase é feito o ajustamento da malha de amostragem (previamente definida em gabinete, com base no levantamento de cartografia existente e interpretação de fotografia aérea) às condições de acessibilidade observadas *in situ*, existência de coberto vegetal e/ou remobilização dos corpos das escombeiras. Assim, no local, fez-se uma avaliação para escolher os locais mais favoráveis à amostragem, diminuindo o número de escombeiras consideradas. As malhas resultantes são apresentadas na Figura 6-7, sendo os pontos de amostragem assinalados pelos círculos verdes. O ponto assinalado pelo quadrado azul representa o local de colheita da amostra de sedimentos, localizado numa linha de água de direcção aproximadamente E-W.



Mina de Senhora da Guia



Mina de Vale Pião

Figura 6-7 - Malha de amostragem prática de SG e VP

A colheita de amostras realizou-se com recursos a uma pá e/ou uma enxada, com exceção das amostras SG-B1 e SG-B1, onde se utilizou o trado manual com ponta helicoidal e amostrador tipo caneco (Figura 6-8). Cada amostra foi colocada num recipiente devidamente selado e identificado. No total recolheram-se 12 amostras nas escombreiras da mina de Senhora da Guia e 11 amostras em Vale Pião. Às referências previamente dadas às escombreiras, acresce o número da amostra, isto é, para a amostra nº1 da escombreira A de Senhora da Guia é dada a referência SG-A1, enquanto para a amostra nº2 da escombreira B de Vale Pião é dada a referência SG-B2. Foram ainda recolhidas 4 amostras de sedimentos de linhas de água, uma em Senhora da Guia, duas em Vale Pião e outra, a amostra de controlo, fora da área de estudo. Nas amostras da mina de Senhora da Guia, a ausência da amostra SG-D2 deve-se a esta ser simultaneamente a amostra de sedimentos SG-S1.



Figura 6-8 - Procedimento de amostragem com trado manual (esquerda) e acondicionamento da amostra SG-G1 (direita)

A amostra de controlo (AM-CT1) foi recolhida no início de uma linha de água, em local onde não existem sinais de ter existido qualquer exploração mineral ou outra actividade que pudesse condicionar a validade desta amostra. A Figura 6-9 indica a localização desta amostra relativamente às amostras de sedimentos colhidas nas minas e à rede de drenagem existente na zona.



Figura 6-9 - Rede de drenagem e localização das amostras de sedimentos e de controlo

Não foi utilizado o XRF portátil, tendo-se optado pela caracterização analítica de todas as amostras em laboratório, a executar na etapa seguinte (subcapítulo 6.3.1).

### **6.3 Etapa 3 - Caracterização laboratorial das amostras**

A etapa 3 compreendeu o trabalho laboratorial que consistiu na preparação das amostras e na caracterização analítica, granulométrica e mineralógica das mesmas.

## **Preparação de amostras para ensaios laboratoriais**

Os trabalhos laboratoriais iniciaram-se com a pesagem individual de cada amostra, antes (massa inicial) e depois da secagem em estufa (massa seca). A massa inicial média das amostras das escombreyras de SG é de 5,1Kg, enquanto a das amostras de Vale Pião é de 5,8Kg. A temperatura de secagem foi de 50<sup>0</sup>C e o tempo de secagem variou entre as 24 e as 113 horas. Esta variação acentuada deve-se à planificação dos trabalhos laboratoriais sendo, no entanto, cumprida a duração mínima exigida de 24h para todas as amostras.

Cada amostra foi dividida por enquadramento em duas subamostras para a realização dos ensaios analíticos e de caracterização física (ensaios granulométricos e mineralógicos). À referência das amostras colhidas no campo (por exemplo: SG-A), adicionaram-se as letras X e Y a cada subamostra, tendo a amostra Y sido destinada à caracterização analítica, enquanto a amostra X serviu de base à caracterização granulométrica e mineralógica. As respectivas massas são apresentadas no anexo III.

Dado o interesse em caracterizar analiticamente os materiais grosseiros e finos em separado, realizou-se a separação das subamostras Y com o peneiro nº10 (malha de 2mm). A fracção grosseira designou-se por YG e a fracção fina por YF.

### **6.3.1 Caracterização analítica**

A caracterização analítica consistiu na determinação, para o total de amostras recolhidas, dos teores em ppm ou % de elementos metálicos como o ouro (Au), prata (Ag), cobre (Cu), ferro (Fe), lítio (Li), níquel (Ni), estanho (Sn), titânio (Ti), volfrâmio (W) e zinco (Zn), assim como terras raras e outros elementos. As amostras foram enviadas para o laboratório acreditado ALS, em Sevilha, e analisadas através do método ME-MS61, com excepção do ouro, obtido pelo método Au-AA23 e do estanho e volfrâmio, obtidos pelo método ME-MS85. Os valores obtidos para cada amostra são apresentados no anexo IV.

A análise dos resultados obtidos através da caracterização analítica consistiu na análise estatística univariada dos teores de Sn e W obtidos para cada mina, na interpretação da sua distribuição espacial e na análise estatística multivariada dos dados, através da Análise em Componentes Principais (ACP) dos elementos químicos analisados e tipologia dos materiais das escombreyras.

A análise univariada compreendeu o cálculo de estatísticos básicos como a média, mediana, mínimo, máximo, variância, coeficiente de assimetria (*Skewness*) e ainda os quartis Q<sub>1</sub> (25%), Q<sub>2</sub> (50%) e Q<sub>3</sub> (75%). Foi ainda feita a representação gráfica dos quartis de teores acima mencionados em mapas, o que possibilitou a visualização da distribuição espacial das amostras com teores mais significativos.

Seguiu-se a análise multivariada dos dados através da análise em componentes principais (ACP), onde foram consideradas todas as amostras e todos os elementos químicos com teor obtido laboratorialmente.

### Resultados analíticos e estatísticos básicos

Os teores de Sn e W obtidos para as amostras recolhidas nas minas de Senhora da Guia e Vale Pião são apresentados através da Figura 6-10 e Figura 6-11, respectivamente. Estes teores são apresentados tanto para a fracção fina (YF) como para a grosseira (YG). Devido à amostra VP-A1-YG apresentar uma massa reduzida (1,8g), considera-se que a amostra A1 da mina de Vale Pião é composta apenas pela fracção fina.

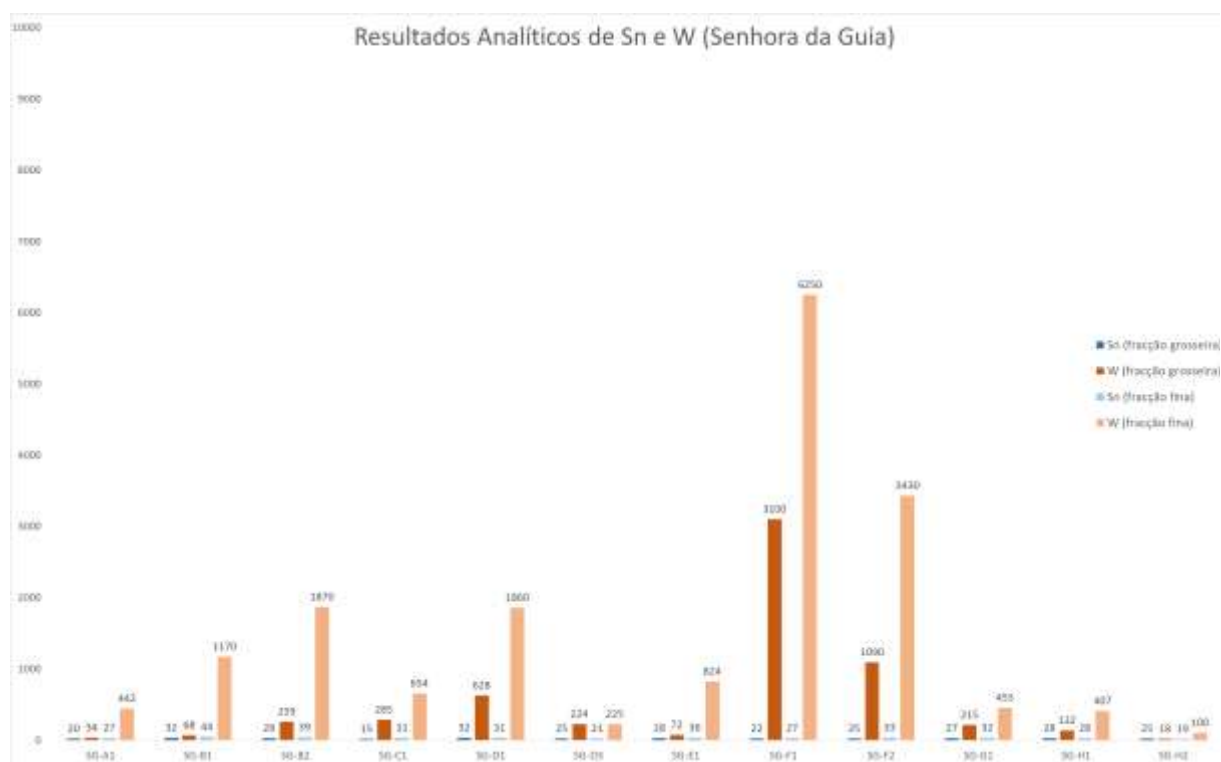


Figura 6-10 - Resultados analíticos de Sn e W (Senhora da Guia)

Os teores mais elevados de W encontram-se nas fracções finas das amostras SG-F1, SG-F2, SG-B2 e SG-D1, enquanto a única fracção grosseira com teor mais significativo deste elemento é a da amostra SG-F1. Os teores de Sn são baixos em todas as amostras, estando este resultado de acordo com o facto da mineralização de estanho não ser explorada nesta mina devido à sua fraca ocorrência.

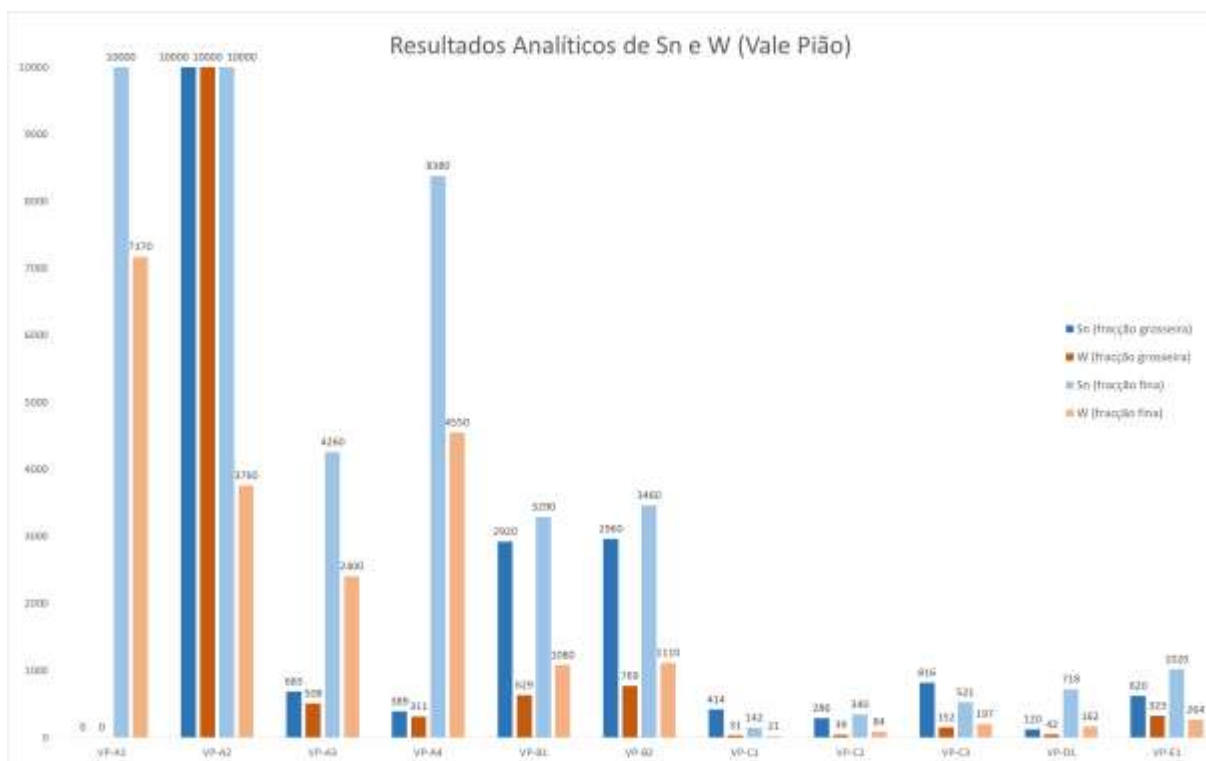


Figura 6-11 - Resultados analítico de Sn e W (Vale Pião)

A mina de Vale Pião apresenta os teores de Sn mais elevados (acima de 10000ppm) nas amostras VP-A1 (fracção fina) e VP-A2 (ambas as fracções). Os teores do mesmo elemento nas fracções finas de VP-A3, VP-A4, VP-B1 e VP-B2 são, também, elevados (superiores a 3290ppm). Nas fracções grosseiras destacam-se as amostras VP-A2 (>10000ppm), VP-B1 e VP-B2. Relativamente ao W, as fracções finas de todas as amostras das escombreiras A e B apresentam teores elevados, assim como a fracção grosseira de VP-A2.

Os estatísticos básicos resultantes das amostras finas e grosseiras de ambas as minas são apresentados na Tabela 6-1. Ao analisar os resultados pode concluir-se que:

- Os teores mais elevados de W e Sn encontram-se na mina de VP, nomeadamente nas amostras da escombreira A, que apresentam teores superiores a 10000ppm, enquanto os teores mais baixos encontram-se na mina de SG, onde apenas a escombreira F se destaca por apresentar teores da mesma ordem de grandeza (superiores a 1000ppm) dos das escombreiras A e B de VP.
- Em SG, os teores de W são superiores aos de Sn, o que confirma o facto de a mineralização de cassiterite nesta mina ser escassa e o Sn não ser explorado.
- A média e mediana são mais elevadas para os teores de Sn em VP, devido particularmente aos teores elevados presentes nas escombreiras A e B. O quartil 75% ( $Q_3$ ) é de 3290ppm, o que significa que 25% das amostras de VP possuem teores de Sn superiores a este valor.
- A mina de VP é a que apresenta maior variância de teores, sendo consideravelmente superior no W, o que indica a forte presença de *outliers* na população amostral. Estes correspondem principalmente

às amostras da escombreira A onde os teores são os mais elevados de todas as amostras (>10000ppm). Os teores de Sn presentes em SG são os que apresentam menor variância pois todas as amostras possuem teores baixos deste elemento e de semelhante ordem de grandeza (teor médio=27,5ppm).

- O coeficiente de *Skewness* indica que todas as amostras apresentam uma distribuição enviesada à esquerda ou assimétrica positiva. No entanto verifica-se que este enviesamento é mais acentuado para o W em ambas as minas, devido à existência de teores muito elevados, face à mediana do conjunto. No caso dos teores de Sn da mina de SG a distribuição é aproximadamente simétrica pois todas as amostras apresentam teores baixos e de semelhante grandeza.

Tabela 6-1 - Estatísticos básicos do W e Sn nas minas de SG e VP

Estatísticos básicos	VP		SG	
	W	Sn	W	Sn
<b>Máximo (ppm)</b>	10000	10000	6250	44
<b>Mínimo (ppm)</b>	21	120	18	15
<b>Média (ppm)</b>	1391,6	2548,6	923,4	27,5
<b>Mediana (ppm)</b>	311	816	346	27,5
<b>Variância</b>	5935872	10878710	1931018	42,3
<b>Coefficiente de Skewness</b>	2,34	1,45	2,47	0,34
<b>Q<sub>1</sub> 25% (ppm)</b>	84	389	107	23
<b>Q<sub>3</sub> 75% (ppm)</b>	1080	3290	1090	32

Os valores de Sn e W na amostra de controlo e nas amostras de sedimentos de ambas as minas são apresentados na Tabela 6-2 e na Tabela 6-3, respectivamente. Os valores das amostras de sedimentos e controlo são comparados com o quartil 25% (Q<sub>1</sub>) das amostras das escombreiras com o objectivo de verificar se as amostras de sedimentos se encontram nas 25% de amostras (do total de amostras colhidas) com teores mais baixos. Na Tabela 6-2 e na Tabela 6-3 estão assinalados a vermelho os teores cujo valor se encontra acima de Q<sub>1</sub>, ou seja, os teores que não permitam incluir determinada amostra com conjunto das 25% de amostras com teores mais baixos. Quando o teor de Sn ou W é inferior a Q<sub>1</sub>, é possível afirmar que a dispersão de Sn e W nas linhas de água onde a colheita foi feita não é significativa.

A amostra de controlo apresenta teores residuais de ambos os elementos (o seu teor mais elevado é de 90ppm de W na fracção grosseira), apenas estando acima de Q<sub>1</sub> os teores de Sn na fracção fina para Senhora da Guia, e de W na fracção grosseira para Vale Pião. No então, a diferença para Q<sub>1</sub> é de apenas 3 e 6ppm, respectivamente, o que permite afirmar que a amostra de controlo têm teores baixos face ao conjunto de amostras e, por isso, pode ser considerada válida para ser comparada com as restantes amostras de sedimentos. O teor de Sn na amostra SG-S1 está acima de Q<sub>1</sub>, o que permite concluir que existe alguma dispersão de Sn na linha de água, embora os teores do elemento sejam baixos. Os teores de W na referida amostra são mínimos.

Em Vale Pião ocorre semelhante situação mas para o W, onde os teores na amostra VP-S1 são superiores a  $Q_1$ , particularmente na fracção grosseira, onde registam 961ppm. A amostra VP-SA apresenta teores mais elevados em ambas as fracções e para os dois elementos, sendo este resultado esperado pois esta amostra foi colhida numa linha de água que provém do interior da mina através de uma galeria.

Tabela 6-2 - Teores das amostras de sedimentos de SG comparativamente ao quartil  $Q_1$  (25%)

Amostras	W (ppm)	Sn (ppm)
<b><math>Q_1</math> (25%)</b>	<b>107</b>	<b>23</b>
AM-CT1-YF	18	26
AM-CT1-YG	90	4
SG-S1-YF	23	88
SG-S1-YG	17	107

Tabela 6-3 - Teores das amostras de sedimentos de VP comparativamente ao quartil  $Q_1$  (25%)

Amostras	W (ppm)	Sn (ppm)
<b><math>Q_1</math> (25%)</b>	<b>84</b>	<b>389</b>
AM-CT1-YF	18	26
AM-CT1-YG	90	4
VP-S1-YF	124	55
VP-S1-YG	961	46
VP-SA-YF	981	851
VP-SA-YG	310	235

### Distribuição espacial dos teores de Sn e W

A partir dos resultados da caracterização analítica realizaram-se mapas de quartis de teores, tanto para as amostras finas (YF) como para as amostras grosseiras (YG), de modo a fazer uma identificação expedita de quais as escombreyas mais promissoras em conteúdo de elementos importantes. Nestes mapas pode visualizar-se a distribuição espacial dos teores, simbolizados por círculos que aumentam de diâmetro consoante o intervalo de quartis e cujas cores correspondem a:

- 1) As amostras assinaladas a vermelho possuem teores acima do quartil  $Q_3$ , correspondendo a amostras incluídas no grupo dos 25% de amostras com teor mais elevado;
- 2) A laranja estão representadas as amostras cujo teor é superior à mediana (quartil 50%) e inferiores ao quartil  $Q_3$ .
- 3) A amarelo indicam-se as amostras cujo teor se situa entre o quartil  $Q_1$  e a mediana.
- 4) A verde correspondem as amostras abaixo do quartil  $Q_1$ , correspondendo a amostras incluídas no grupo dos 25% de amostras com teor mais baixo.

Através da distribuição espacial do volfrâmio na mina de Senhora da Guia (Figura 6-12 e Figura 6-13) pode-se verificar-se que amostras colhidas na escombreira SG-F apresentam teores elevados em ambas as fracções. A amostra SG-D1-YG demonstra ter teores compreendidos entre a mediana e  $Q_3$ , no entanto, a fracção mais fina apresenta teores um pouco inferiores. A amostra SG-B2 contém, para ambas as fracções, teores de W que se encontram no intervalo entre a  $Q_2$  e  $Q_3$ .



Figura 6-12 - Mapa de quartis de teores de W das amostras YF em SG

Legenda:

Teor W(ppm)	21.00-162.00	162.01-654.00	654.01-1870.00	1870.01-7170.00
-------------	--------------	---------------	----------------	-----------------



Figura 6-13 - Mapa de quartis de teores de W das amostras YG em SG

Legenda:

Teor W (ppm)	0.00-42.00	42.01-215.00	215.01-508.00	508.01-10000.00
--------------	------------	--------------	---------------	-----------------

Na mina de Vale Pião (Figura 6-14 e Figura 6-15), os teores mais elevados de W centram-se essencialmente nas escombreiras A e B. As restantes amostras indicam teores residuais deste elemento, em particular as amostras VP-C1, VP-C2 e VP-D1, tanto a fracção grosseira, como a fracção fina. A excepção prende-se com a amostra VP-E1-YG, cujos teores de W são mais elevados.



Figura 6-14 - Mapa de quartis de teores de W das amostras YF em VP

Legenda:

Teor W (ppm)	21.00-162.00	162.01-654.00	654.01-1870.00	1870.01-7170.00
--------------	--------------	---------------	----------------	-----------------



Figura 6-15 - Mapa de quartis de teores de W das amostras YG em VP

Legenda:

Teor W (ppm)	0.00-42.00	42.01-215.00	215.01-508.00	508.01-10000.00
--------------	------------	--------------	---------------	-----------------

Os mapas com a distribuição espacial de Sn na mina de Senhora da Guia (Figura 6-16 e Figura 6-17) permitem confirmar os conhecimentos obtidos previamente sobre esta exploração. Aqui apenas se extraía wolframite, uma vez que a cassiterite era bastante escassa. Os resultados analíticos indicam teores baixos deste mineral, sempre inferiores a 50 ppm. Nenhuma das fracções granulométricas apresentou diferenças significativas.



Figura 6-16 - Mapa de quartis de teores de Sn das amostras YF em SG

Legenda:

Teor Sn (ppm)	18.00-28.00	28.01-44.00	44.01-1020.00	1020.01-10000.00
---------------	-------------	-------------	---------------	------------------



Figura 6-17 - Mapa de quartis de teores de Sn das amostras YG em SG

Legenda:

Teor Sn (ppm)	0.00-25.00	25.01-90.00	90.01-620.00	620.01-10000.00
---------------	------------	-------------	--------------	-----------------

Na mina de Vale Pião foram explorados tanto a volframite, como a cassiterite, pelo que as análises químicas apresentam, em algumas amostras, teores que chegam a atingir 10000ppm, tanto de W como de Sn. Relativamente ao Sn (Figura 6-18 e Figura 6-19), as amostras YF com teores mais elevados são as amostras colhidas nas escombeiras A e B. Nas amostras mais grosseiras (YG), acrescem às escombeiras anteriores a escombreira C e ainda a amostra de sedimentos S1. Contudo, as restantes amostras também mostraram ter valores acima da mediana, podendo considerar-se o Sn como um elemento disseminado nos vários corpos de escombeiras.



Figura 6-18 - Mapa de quartis de teores de Sn das amostras YF em VP

Legenda:

Teor Sn (ppm)	18.00-28.00	28.01-44.00	44.01-1020.00	1020.01-10000.00
---------------	-------------	-------------	---------------	------------------



Figura 6-19 - Mapa de quartis de teores de Sn das amostras YG em VP

Legenda:

Teor Sn (ppm)	0.00-25.00	25.01-90.00	90.01-620.00	620.01-10000.00
---------------	------------	-------------	--------------	-----------------

### Análise em componentes principais (ACP)

Para a interpretação das associações geoquímicas nas escombreiras das minas de Senhora da Guia e Vale Pião, foi utilizada a análise multivariada dos dados pelo método ACP (Análise em Componentes Principais), através do *software Andad*.

O primeiro passo consistiu na alteração do código das amostras, uma vez que o *software* apenas permite a utilização de quatro caracteres para a identificação das amostras. Assim, cada amostra passou a ser designada pela letra inicial da mina a que corresponde (G (Senhora da Guia) ou V (Vale Pião)), a letra da escombreira (A, B, C, ...), o número da amostra (1, 2, 3, ...) e a letra correspondente à fracção constituinte da mesma (F ou G). A título de exemplo, a amostra VP-A1-YF (Vale Pião, escombreira A, amostra 1, fracção fina) passou a ser designada por VA1F.

Dado que em algumas das escombreiras foi recolhida mais do que uma amostra, calcularam-se, para estes casos, amostras compósitas que representam o valor médio das fracções amostradas na escombreira. Assim, foram calculadas amostras compósitas para as escombreiras B e F de Senhora da Guia e para as escombreiras A, B, C e E de Vale Pião. Para estas, a nomenclatura é semelhante para as primeiras duas letras da referência, sendo a terceira correspondente à fracção granulométrica e a quarta à indicação de que se trata da amostra compósita (C).

Os elementos químicos utilizados para a análise de associações geoquímicas foram os seguintes: Sn, Ga, In, Pb e Tl (do grupo dos metais básicos), W, Au, Ag, Cu, Fe, Hf, Nb, Ni, Sc, Ta, Ti, V, Y, Zn,

e Zr (do grupo dos metais de transição), As, Ge, Sb e Te (do grupo dos elementos semi-metálicos), P e Se (do grupo dos elementos não metálicos), Li e Rb (do grupo dos metais alcalinos), Ce e La (do grupo das terras raras) e Th.

### **Análise das associações geoquímicas nas escombreyras da mina de Senhora da Guia**

Na mina de Senhora da Guia foram recolhidas 12 amostras em 8 escombreyras (A, B, C, D, E, F, G e H) e uma amostra de sedimentos (S), sendo cada amostra codificada conforme descrito e apresentado na Tabela 6-4.

Tabela 6-4 - Código das amostras e tipologia das escombreyras de Senhora da Guia

Escombreyras	Código da Amostra	Descrição da Amostra	Tipologia dos Materiais
<b>A</b>	GA1F GA1G	A1 Fracção fina A1 Fracção grosseira	Materiais grosseiros (desmonte)
<b>B</b>	GB1F GB2F GBCF GB1G GB2G GBCG	B1 Fracção fina B2 Fracção fina B Compósita Fracção fina B1 Fracção grosseira B2 Fracção grosseira B Compósita Fracção grosseira	Materiais grosseiros (desmonte) e localmente finos
<b>C</b>	GC1F GC1G	C1 Fracção fina C1 Fracção grosseira	Materiais grosseiros (desmonte)
<b>D</b>	GD1F GD3F GDCF GD1G GD3G GDCC	D1 Fracção fina D3 Fracção fina D Compósita Fracção fina D1 Fracção grosseira D3 Fracção grosseira D Compósita Fracção grosseira	Materiais grosseiros (desmonte)
<b>E</b>	GE1F GE1G	E1 Fracção fina E1 Fracção grosseira	Materiais grosseiros (desmonte)
<b>F</b>	GF1F GF2F GFCF GF1G GF2G GFCC	F1 Fracção fina F2 Fracção fina F Compósita Fracção fina F1 Fracção grosseira F2 Fracção grosseira F Compósita Fracção grosseira	Materiais finos (processamento)
<b>G</b>	GG1F GG1G	G1 Fracção fina G1 Fracção grosseira	Materiais grosseiros (desmonte)
<b>H</b>	GH1F GH2F GHCF GH1G GH2G GHCC	F1 Fracção fina F2 Fracção fina H Compósita Fracção fina F1 Fracção grosseira F2 Fracção grosseira H Compósita Fracção grosseira	Materiais grosseiros (desmonte)
<b>S</b>	GS1F GS1G	S1 Fracção fina S1 Fracção grosseira	Materiais de sedimentos

Para a análise ACP foram utilizadas as 26 amostras analisadas (fracção fina e fracção grosseira das amostras simples) e as amostras compósitas projectadas em suplementar. Com base na percentagem



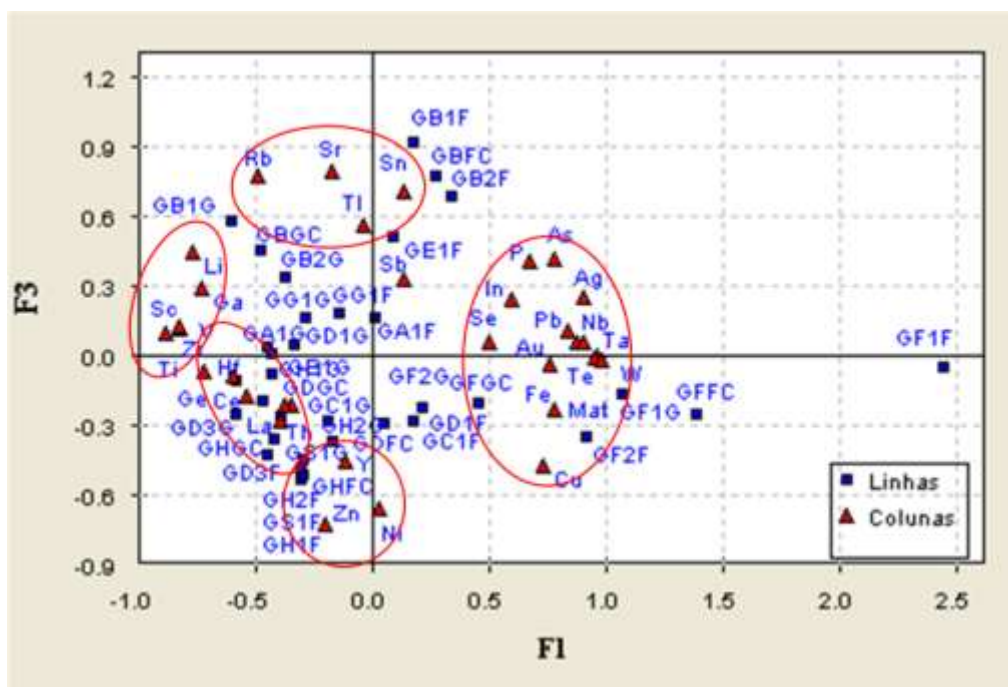


Figura 6-21 - Projecção dos elementos e amostras nos eixos F1/F3

A análise destas projecções permite retirar as seguintes conclusões:

- Os teores mais elevados de W ocorrem nos materiais da escombreira F (escombreira de materiais finos de processamento de minério), associados a teores elevados de Au, Ag, Ta, Nb, Te e As e também de Se, In, Cu, Fe, Pb e P;
- As terras raras (La, Th e Ce) encontram-se nos materiais finos das escombreiras G e D (GG1F e GD3F), que poderão conter associados teores de Hf e Zr e também de Ga, V, Sc e Ti;
- A ocorrência de Sn não é discriminativa da composição média das escombreiras, e encontra-se associada ao Sb e ao Ni, nos materiais finos das escombreiras E e C (GE1F e GC1F), e ao Zn, Y, Tl e Sr, nos materiais finos das escombreiras C e D (GC1F e GD1F).
- A escombreira B apresenta, na fracção fina (GBFC), teores de Sn associados aos elementos Tl, Sr e Rb e também ao Li;
- As escombreiras A, E, G e H apresentam composição muito semelhante aos materiais da amostra de sedimentos (GS1F e GS1G), onde apenas se realça a ocorrência de Ge com teores mais elevados.

É importante referir que, das 8 escombreiras analisadas (A, B, C, D, E, F, G e H) a escombreira F é constituída por materiais finos resultantes do processamento dos minérios, o que poderá justificar a elevada dispersão na projecção das amostras da mesma (GF1F, GF1G, GF2F e GF2G) nos eixos factoriais, que resulta da elevada variabilidade nos respectivos resultados analíticos.

Na Tabela 6-6 apresenta-se uma síntese dos principais elementos químicos identificados nas escombreiras da mina de Senhora da Guia.

Tabela 6-6 - Síntese das associações geoquímicas nas escombreyras de Senhora da Guia

Escombreyra	Elemento/associação geoquímica	Tipologia dos materiais
<b>A</b>	Ge	Materiais grosseiros (desmonte)
<b>B</b>	Li Sn, Tl, Sr, Rb Ge	Materiais grosseiros (desmonte) e localmente finos
<b>C</b>	Sn, Sb, Ni Zn, Y, Tl e Sr	Materiais grosseiros (desmonte)
<b>D</b>	La, Th e Ce Zn, Y, Tl e Sr	Materiais grosseiros (desmonte)
<b>E</b>	Sn, Sb, Ni Ge	Materiais grosseiros (desmonte)
<b>F</b>	W, Au, Ag, Ta, Nb, Te e As Se, In, Cu, Fe, Pb e P	Materiais finos (processamento)
<b>G</b>	La, Th, Ce	Materiais grosseiros (desmonte)
<b>H</b>	Ge	Materiais grosseiros (desmonte)
<b>S</b>	Ge	Materiais de sedimentos

#### **Análise das associações geoquímicas nas escombreyras da mina de Vale Pião**

Na mina de Vale Pião foram recolhidas 11 amostras em 5 escombreyras (4 na escombreyra A, 2 na escombreyra B, 3 na escombreyra C, 1 na D e 1 amostra na escombreyra E), sendo cada amostra foi codificada conforme descrito e apresentado na Tabela 6-7/Tabela 6-4. Tal como na análise realizada para a mina de Senhora da Guia, nos casos em que foi recolhida mais do que uma amostra por escombreyra considerou-se na ACP uma amostra compósita, representativa da média dos materiais na escombreyra, que é projectada em suplementar sobre os eixos factoriais.

Tabela 6-7 - Código das amostras e tipologia das escombreyras de Vale Pião

Escombreyras	Código da Amostra	Descrição da Amostra	Tipologia dos Materiais
<b>A</b>	VA1F	A1 Fracção fina	Materiais finos (processamento)
	VA2F	A2 Fracção fina	
	VA3F	A3 Fracção fina	
	VA4F	A4 Fracção fina	
	VA2G	A2 Fracção grosseira	
	VA3G	A3 Fracção grosseira	
	VA4G	A4 Fracção grosseira	
	VAFC	A Compósita Fracção fina	
	VAGC	C Compósita Fracção grosseira	
<b>B</b>	VB1F	B1 Fracção fina	Materiais finos (processamento)
	VB2F	B2 Fracção fina	
	VB1G	B1 Fracção grosseira	
	VB2G	B2 Fracção grosseira	
	VBFC	B Compósita Fracção fina	
	VBGC	B Compósita Fracção grosseira	

Escombreyras	Código da Amostra	Descrição da Amostra	Tipologia dos Materiais
<b>C</b>	VC1F	C1 Fracção fina	Materiais grosseiros (desmonte) e localmente finos
	VC2F	C2 Fracção fina	
	VC3F	C3 Fracção fina	
	VC1G	C1 Fracção grosseira	
	VC2G	C2 Fracção grosseira	
	VC3G	C3 fracção grosseira	
	VCFC	C Compósita Fracção fina	
	VCGC	C Compósita Fracção grosseira	
<b>D</b>	VD1F	D1 Fracção fina	Materiais grosseiros (desmonte)
	VD1G	D1 Fracção grosseira	
<b>E</b>	VE1F	E1 Fracção fina	Materiais grosseiros (desmonte)
	VE1G	E2 Fracção grosseira	

Com base na percentagem de explicação das variáveis nos eixos factoriais seleccionaram-se para interpretação os eixos F1, F2 e F3, que representam cerca de 80% da variância dos dados, conforme indicado na Tabela 6-8.

Tabela 6-8 - Percentagem de explicação das amostras de VP nos eixos factoriais da ACP

Eixos Factoriais	Valor Próprio	% Explicação	% Acumulada
<b>F1</b>	18.4	55.9	<b>55.9</b>
<b>F2</b>	4.6	13.8	<b>69.7</b>
<b>F3</b>	3.4	10.2	<b>80.0</b>
F4	3.2	9.8	89.8
F5	1.0	3.0	92.7
F6	0.6	1.9	94.7
F7	0.5	1.4	96.1

Apresenta-se a projecção das variáveis e das amostras nos eixos F1/F2 (Figura 6-22) e F1/F3 (Figura 6-23) da ACP, com a projecção em suplementar das amostras compósitas das escombreyras A, B e C (amostras PACF, PACG, PBCF, PBCG, PCCF e PCCG). As coordenadas das projecções das variáveis e das amostras nos eixos factoriais apresentam-se no anexo VIII.



- Os elementos Nb, Ti, Zr, Sc, V, Ga, Sr, Hf e Th ocorrem, juntamente com Ce, Ge e Y nas escombreliras C e D, que não apresentam teores consideráveis de Sn, W e restantes associados (Au, Ag, ...);
- Na escombrelira E apenas foram identificados teores de Li e P (na fracção fina) e de Rb (na fracção grosseira).

Na Tabela 6-9 apresenta-se uma síntese dos principais elementos químicos identificados nas cinco escombreliras da mina de Vale Pião.

Tabela 6-9 - Síntese das associações geoquímicas nas escombreliras de Vale Pião

Escombrelira	Elemento/associação geoquímica	Tipologia dos materiais
<b>A</b>	W, Sn, Au, Ag, Tl, Se As	Materiais finos (processamento)
<b>B</b>	Pb,Sb, Te, In, Ni	Materiais finos (processamento)
<b>C</b>	Nb, Ti, Zr, Sc, V, Ga, Sr, Hf, Th Ce, Ge, Y	Materiais grosseiros (desmonte) e localmente finos
<b>D</b>	Nb, Ti, Zr, Sc, V, Ga, Sr, Hf, Th Ce, Ge, Y	Materiais grosseiros (desmonte)
<b>E</b>	Li, P, Rb	Materiais grosseiros (desmonte)

### 6.3.2 Caracterização granulométrica

A caracterização física dos materiais das escombreliras consistiu na caracterização granulométrica das amostras, de acordo com a metodologia geral apresentada. Esta realizou-se com recurso à série de peneiros ASTM-E11 com malha de dimensão 38,1mm (1 1/2”), 25,4mm (1”), 19,0mm (3/4”), 9,51mm (3/8”), 4,76mm (nº4), 2,00mm (nº10), 0,85mm (nº20), 0,425mm (nº40), 0,250mm (nº60), 0,106mm (nº140) e 0,075mm (nº200). O procedimento aplicado teve como base a norma para a classificação granulométrica (Especificação LNEC E196-1966) tendo, no entanto, sido omissos alguns procedimentos presentes na mesma, como o cálculo do teor em água e a sedimentação, pelo que se prescindiu do uso do densímetro e dos reagentes indicados no documento.

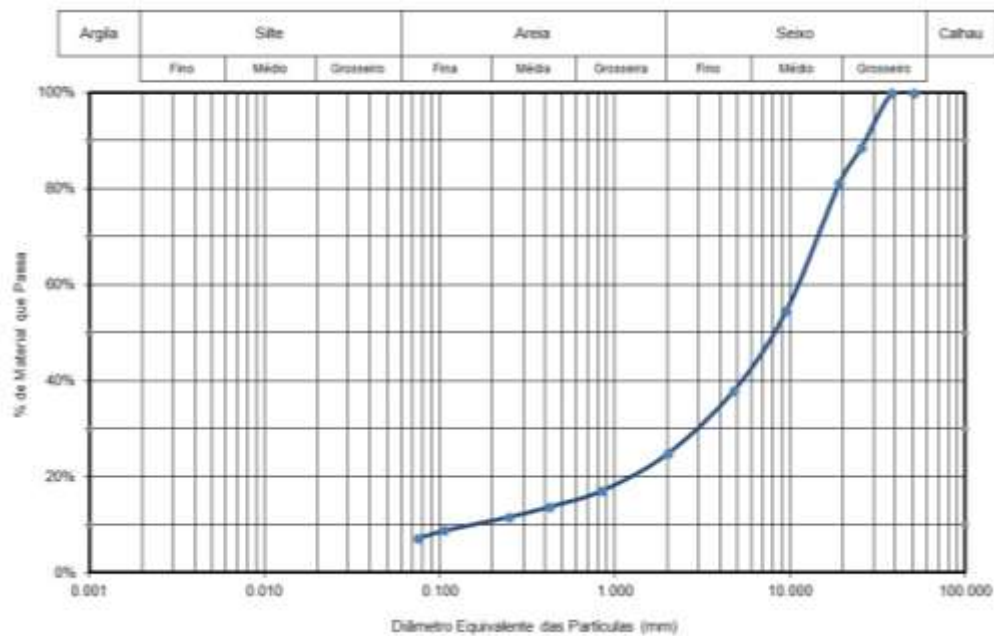
Para cada amostra utilizou-se o total do seu volume, tendo a peneiração sido realizada em duas fases. Dado que o agitador usado não comporta o uso da coluna de peneiros completa, numa primeira fase foi usada a série de peneiros até ao peneiro nº10, tendo sido a restante série usada de seguida. A massa retida em cada peneiro foi pesada e anotada para posteriormente ser traçada a curva granulométrica de cada amostra. Analogamente ao procedimento aplicado nas amostras destinadas à caracterização analítica, também nestas fez-se a separação das fracções acima e abaixo dos 2mm. Assim, à referência X de cada amostra foi acrescentada a letra G para as amostras grosseiras ( $\geq 2\text{mm}$ ) e F para

as amostras finas (<2mm). A título de exemplo, a amostra SG-B2-X passou a estar dividida em SG-B2-XG e SG-B2-XF.

Com base nos resultados da caracterização analítica, apresentam-se abaixo as curvas granulométricas para duas amostras de Senhora da Guia (SG-B2-X e SG-F1-X) e quatro amostras de Vale Pião (VP-A1-X, VP-A4-X, VP-B1-X e VP-C3-X), sendo as restantes apresentadas no anexo X.

### Amostras de Senhora da Guia

A amostra SG-B2-X (Figura 6-24) é composta por cerca de 75% de seixo, maioritariamente fino e médio, e por 25% de areia. A amostra é, no seu todo, mal graduada, pois materiais com granulometria de siltes e argilas estão presentes em baixa quantidade (aproximadamente 7%).



A amostra SG-F1-X (Figura 6-25) é composta por seixos e areias na proporção 55/40, podendo ser classificada como mal graduada, pela baixa quantidade de siltes e argilas. Considerando apenas as areias e os seixos, esta amostra apresenta uma melhor graduação que a amostra SG-B2-X.

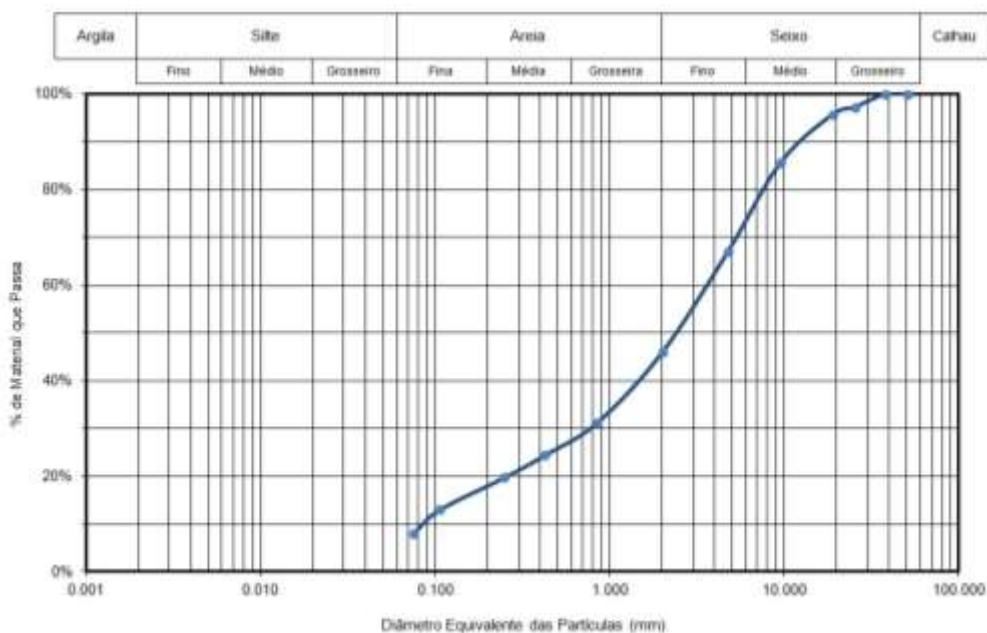


Figura 6-25 - Curva granulométrica da amostra SG-F1-X

As restantes amostras de Senhora da Guia subdividem-se em dois grandes grupos. Um grupo, composto por amostras de material essencialmente grosseiro, principalmente seixos (grosseiros, médios e finos) e onde a percentagem de areia não é superior a 30%. Neste grupo incluem-se as amostras:

- SG-A1-X
- SG-B1-X
- SG-C1-X
- SG-D1-X
- SG-E1-X
- SG-G1-X

O outro grupo é composto por amostras onde os materiais mais finos surgem em maior proporção, podendo as areias representar até 50% do total da amostra, mas nunca menos de 30%. No entanto, as areias finas surgem em baixa proporção, sendo em algumas amostras quase inexistentes. Os materiais grosseiros incluem seixos de várias granulometrias. Neste grupo de amostras de granulometrias intermédias incluem-se:

- SG-D3-X
- SG-F2-X
- SG-H1-X
- SG-H2-X

A partir dos resultados da análise granulométrica das amostras é possível agrupar as escombrelas de Senhora da Guia nos dois grupos referidos anteriormente. A Figura 6-26 permite

verificar quais as escombreliras compostas essencialmente por material mais grosseiro, a vermelho, e quais aquelas cujas percentagem de material fino, como por exemplo areia, existe em maior percentagem, a amarelo.

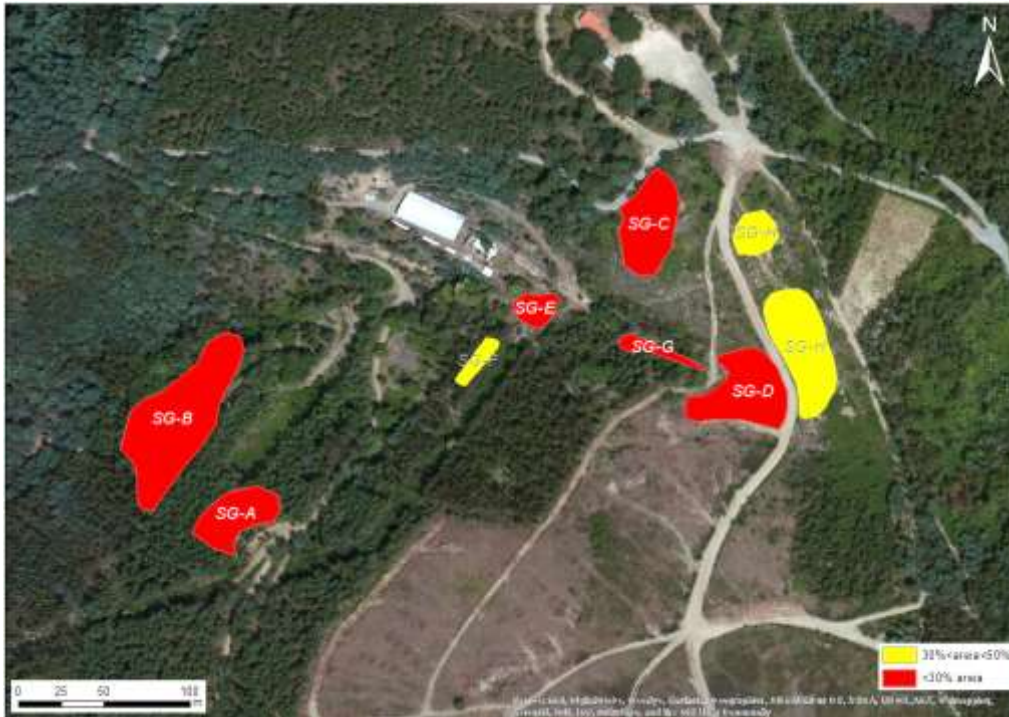


Figura 6-26 - Escombreliras de Senhora da Guia classificadas por granulometria dos materiais

### Amostras de Vale Pião

A amostra VP-A1-X (Figura 6-27) é uma amostra composta maioritariamente por areias médias e finas, onde as argilas e siltes são quase ausentes. Dentro das areias, esta amostra pode classificar-se como bem graduada, no entanto, no seu todo é mal graduada.

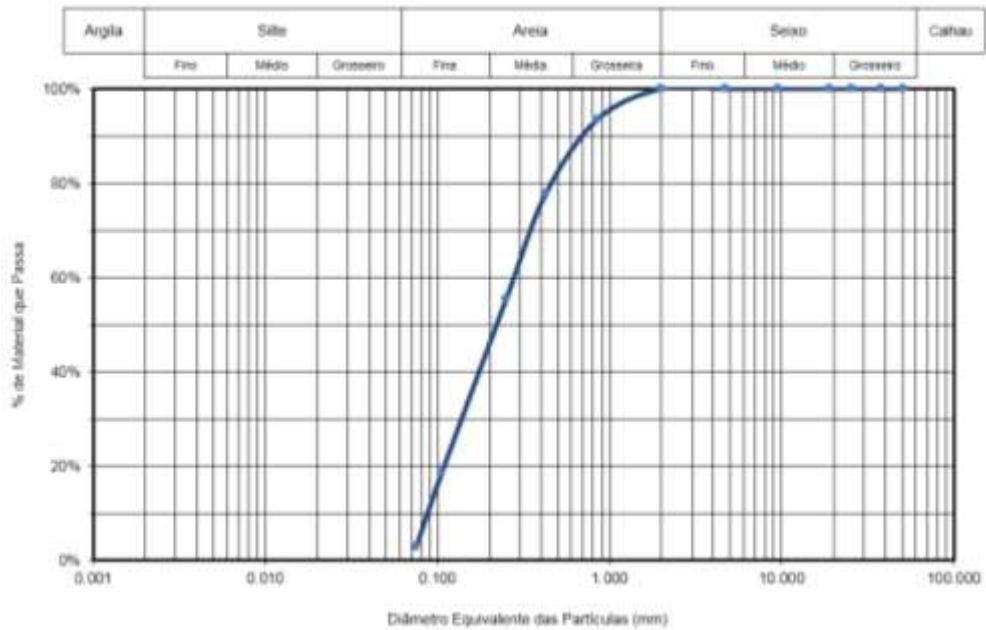


Figura 6-27 - Curva granulométrica da amostra VP-A1-X

A amostra VP-A4-X (Figura 6-28) apresenta uma distribuição semelhante entre areia e seixo, com predominância de seixos grosseiros e areias finas. No seu todo é uma amostra mal graduada.



Figura 6-28 - Curva granulométrica da amostra VP-A4-X

A amostra VP-B1-X (Figura 6-29) é composta essencialmente por areias (90%) e com uma pequena percentagem de seixos (10%). Esta amostra é semelhante à amostra VP-A1-X, com a principal diferença a incidir na quantidade de areias grosseiras, que é superior na amostra VP-B1-X.

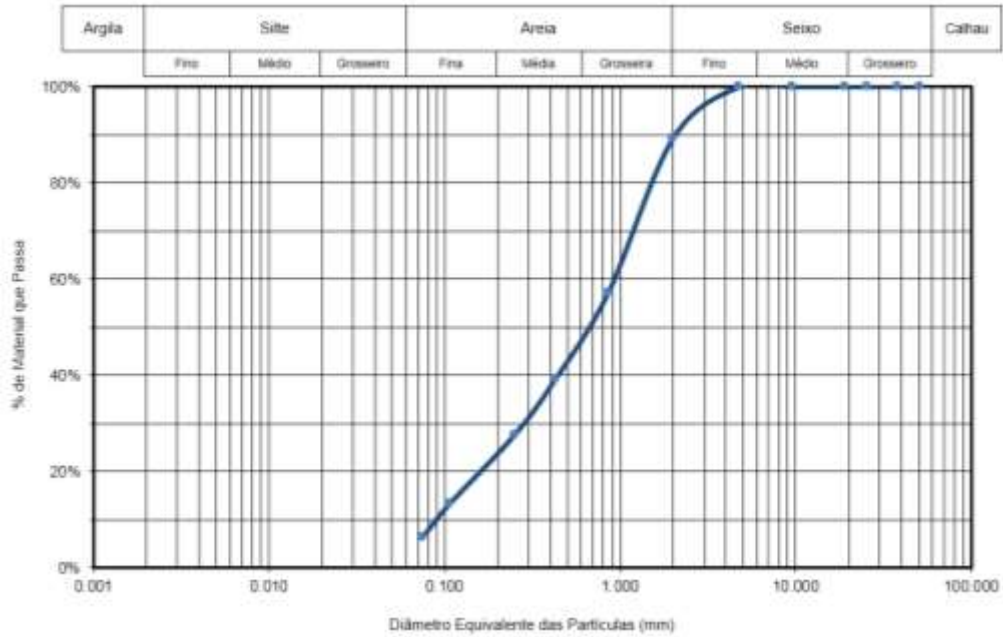


Figura 6-29 - Curva granulométrica da amostra VP-B1-X

A amostra VP-C3-X (Figura 6-30) é a amostra de Vale Pião que apresenta materiais mais grosseiros. É uma amostra mal graduada por ter apenas cerca de 10% de siltes e argilas e por predominarem nela os seixos finos.

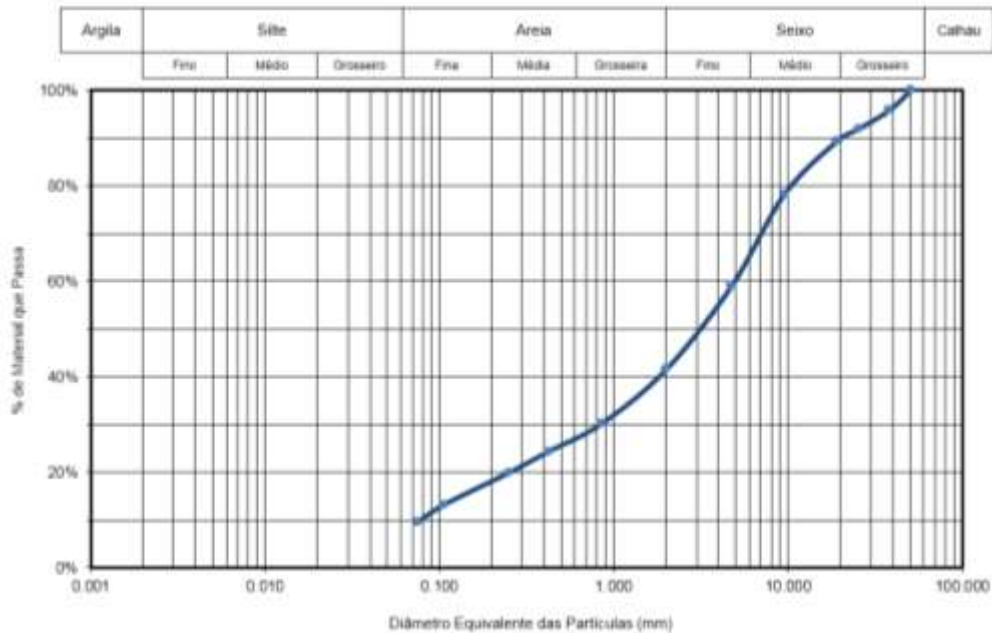


Figura 6-30 - Curva granulométrica da amostra VP-C3-X

As restantes amostras da mina de Vale Pião podem ser agrupadas de forma semelhante às de Senhora da Guia. Existem ainda algumas amostras cuja proporção de areia é superior a 50%, sendo do total de amostras as que apresentam a maior proporção de material fino. Os materiais grosseiros

aparecem em menor percentagem, sendo essencialmente seixos finos e médios. Neste grupo podem incluir-se:

- VP-A2-X
- VP-A3-X
- VP-B2-X

No grupo das amostras com granulometrias intermédias, cuja proporção de areia varia entre 30 e 50% do total de amostra, podemos incluir as seguintes amostras:

- VP-C1-X
- VP-C2-X
- VP-E1-X

Apenas uma amostra apresenta maior proporção de materiais grosseiros (seixos finos e médios) e menor percentagem de areia (inferior a 30%):

- VP-D1-X

As três classes apresentadas permitem agrupar as escombreyras de Vale Pião consoante a proporção dos materiais existentes. Na Figura 6-31 pode verificar-se a localização das mesmas, de acordo com esta classificação.



Figura 6-31 - Escombreyras de Vale Pião classificadas por granulometria dos materiais

### 6.3.3 Caracterização mineralógica

A fase final de caracterização compreendeu o estudo mineralógico das amostras. Com base nos resultados analíticos seleccionaram-se amostras com teores de Sn e W acima do quartil 75% ( $Q_3$ ), uma vez que o procedimento de caracterização mineralógica é extenso e demorado, não podendo ser realizado para o total de amostras. A definição do teor de corte igual a este quartil permite fazer a caracterização mineralógica de amostras pertencentes às 25% de amostras com teores mais elevados. Assim, no total foram caracterizadas mineralogicamente duas amostras de Senhora da Guia (SG-B2-XF e SG-F1-XF) e quatro de Vale Pião (VP-A1-XF, VP-A4-XF, VP-B1-XF e VP-C3-XG).

Cada amostra foi peneirada de modo a isolar as fracções compreendidas entre os 63 $\mu$ m e os 250 $\mu$ m, dado que a caracterização mineralógica incidiu sobre elas. No caso da amostra com referência XG (grosseira), esta teve que ser moída em moinho de anéis. A moagem foi de curta duração para evitar reduzir a amostra a granulometrias demasiado finas. Foram lavadas as fracções isoladas, usando o peneiro de 63 $\mu$ m. A lavagem fez-se debaixo de água corrente, o que permitiu eliminar partículas de dimensões inferiores, como siltes e argilas. Posteriormente, cada amostra foi seca a 50°C durante, pelo menos, 24h, sendo por fim registada a sua massa.

As massas obtidas, antes e após lavagem, são apresentadas na Tabela 6-10, onde pode verificar-se que a perda de massa é em média de 60%. Esta diferença de massa corresponde à lavagem dos granulometrias abaixo dos 63  $\mu$ m presentes nas três fracções.

Tabela 6-10 - Massa das fracções 63, 125 e 250 $\mu$ m

Amostra	Massa fracções 63, 125 e 250 $\mu$ m (g)	Massa fracções 63, 125 e 250 $\mu$ m lavada e seca (g)	Perda de massa (%)
<b>SG-B2-XF</b>	221.66	58.65	73.54
<b>SG-F1-XF</b>	192.51	116.23	39.62
<b>VP-A1-XF</b>	784.66	205.59	73.80
<b>VP-A4-XF</b>	448.26	133.65	70.18
<b>VP-B1-XF</b>	405.71	160.54	60.43
<b>VP-C3-XG</b>	251.81	126.29	49.85

A etapa seguinte consistiu na separação gravítica, onde foram separados os minerais densos dos restantes. Foi utilizado como líquido de separação o tribromometano ( $\text{CHBr}_3$ ), também designado por bromofórmio. Realizou-se o procedimento de separação gravítica descrito no capítulo da metodologia geral e no final, secou-se cada amostra na estufa por um período mínimo de 24h a 50°C, registando-se a massa seca dos minerais densos para cada amostra.

Na Tabela 6-11 são apresentadas as massas dos minerais pesados e a percentagem dos mesmos nas três fracções. As amostras mais promissoras estão localizadas na mina de Vale Pião, com a amostra VP-A1-XF a apresentar cerca de 23% de minerais pesados e a amostra VP-B1-XF com cerca de 14%. Em Senhora da Guia, a amostra SG-F1-XF é a que apresenta maior percentagem de minerais pesados, cerca de 12%. A amostra correspondente à escombreira B da SG é a que apresenta menor percentagem, não atingindo os 3,5%.

Tabela 6-11 - Minerais pesados das amostras

Amostra	Massa minerais pesados (g)	Minerais pesados (%)
<b>SG-B2-XF</b>	7.11	3.21
<b>SG-F1-XF</b>	22.92	11.91
<b>VP-A1-XF</b>	178.74	22.78
<b>VP-A4-XF</b>	28.58	6.38
<b>VP-B1-XF</b>	54.90	13.53
<b>VP-C3-XG</b>	12.36	4.91

Os minerais pesados obtidos foram sujeitos a separação magnética, utilizando um separador magnético *Frantz Isodynamic*. Esta fase realiza-se em duas etapas de separação, uma com um campo magnético de 0,4Amp e outra com 1,45Amp. A percentagem de minerais magnéticos é obtida através da soma dos minerais magnéticos separados através de 0.4 e 1.45 Amp. A intensidade de vibração definida no aparelho foi de 7 numa escala de 1 a 10. Cada porção de amostra foi pesada e acondicionada separadamente, tendo sido atribuídas as referências “M 0,4” para a porção magnética da primeira separação, “M 1,45” para a porção magnética da segunda separação e “NM” para a porção não-magnética da segunda separação. Assim, para a amostra VP-B1-XF, por exemplo, obtiveram-se as referências VP-B1-XFNM, VP-B1-XFM 0,4 e VP-B1-XFM 1,45.

Os resultados obtidos (Tabela 6-12) indicam que as amostras da SG são compostas essencialmente por minerais magnéticos, assim como as amostras das escombreyras B e C de VP. Por outro lado, a composição de escombreyra A de VP é intermédia, sendo a percentagem de minerais não magnéticos ligeiramente superior.

Tabela 6-12 - Massas e percentagens obtidas com a separação magnética

Amostra	Massa total utilizada (g)	Massa minerais magnéticos (0.4Amp) (g)	Massa minerais magnéticos (1.45Amp) (g)	Massa minerais não magnéticos (g)	Minerais magnéticos (%)	Minerais não magnético (%)
<b>SG-B2-XF</b>	6.89	4.13	2.69	0.07	98.98	1.02
<b>SG-F1-XF</b>	20.86	8.44	12.12	0.30	98.56	1.44
<b>VP-A1-XF</b>	39.09	2.35	7.27	23.51	39.86	60.14
<b>VP-A4-XF</b>	21.370	3.00	6.520	11.850	44.55	55.45
<b>VP-B1-XF</b>	54.290	29.68	23.740	0.870	98.40	1.60
<b>VP-C3-XG</b>	12.10	4.20	7.84	0.06	99.50	0.50

A etapa final da caracterização mineralógica consiste na observação na lupa binocular das porções resultantes da separação magnética. Foram identificados os diversos minerais presentes e feita uma estimativa da proporção de cada um deles na amostra. A presença de *scheelite* foi detectada com recurso ao *Mineralight* (luz UV), pois quando sujeito a radiação UV este mineral apresenta um tom azulado devido à fluorescência. Foram registadas fotografias das várias amostras com diversas ampliações e de alguns minerais isolados.

Os minerais identificados encontram-se na Tabela 6-13. Foram contabilizados os grãos dos minerais de interesse (volframite, cassiterite e *scheelite*) e, posteriormente, calculada a sua percentagem destes minerais face ao total de grãos da subamostra.

Tabela 6-13 - Minerais presentes nas amostras

Amostra	Minerais magnéticos	Minerais não magnética
<b>SG-B2-XF</b>	Arsenopirite com escorodite e turmalina, volframite, limonite, turmalina e muscovite	Scheelite, pirite, barite e cassiterite
<b>SG-F1-XF</b>	Volframite, turmalina, arsenopirite com turmalina e alguns óxidos	Scheelite, pirite e barite
<b>VP-A1-XF</b>	Arsenopirite com escorodite, calcopirite, tremolite e volframite	Pirite e cassiterite
<b>VP-A4-XF</b>	Turmalina, calcopirite, volframite, goetite, limonite, arsenopirite e calcopirite com turmalina	Pirite, cassiterite e <i>scheelite</i>
<b>VP-B1-XF</b>	Turmalina, arsenopirite, associações destes dois minerais, estauroilite, óxidos e volframite	Scheelite, cassiterite, zircão, apatite e barite
<b>VP-C3-XG</b>	Arsenopirite e a calcopirite, óxidos, blenda e volframite	Cassiterite, barite

Nas subamostras magnéticas da amostra SG-B2-XF (Figura 6-33) identificaram-se minerais como a arsenopirite com escorodite e turmalina, volframite, limonite, turmalina (especialmente a 0,4Amp) e muscovite. Identificou-se também alguma *scheelite* (Figura 6-34) que pode ter sido resultado

de uma separação magnética não totalmente eficaz. Na subamostra não magnética (Figura 6-32), destacou-se a *scheelite*, pirite, barite e uma reduzida quantidade de cassiterite.



Figura 6-32 - Grãos de *scheelite* (esquerda) e pirite (direita) na amostra SG-B2-XFNM (ampliação: 10X)

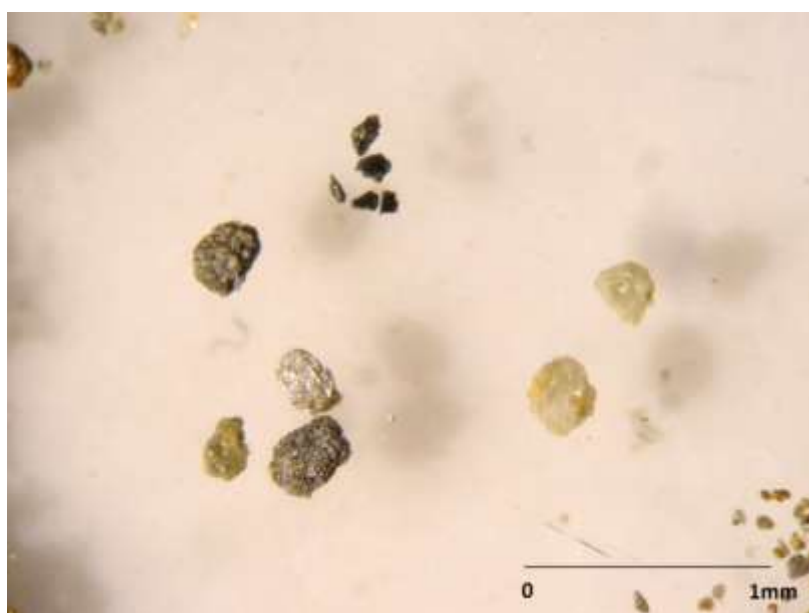


Figura 6-33 - Grãos de arsenopirite com turmalina (esquerda), volframite (cima) e barite (direita) na amostra SG-B2-XFM (ampliação: 40X)

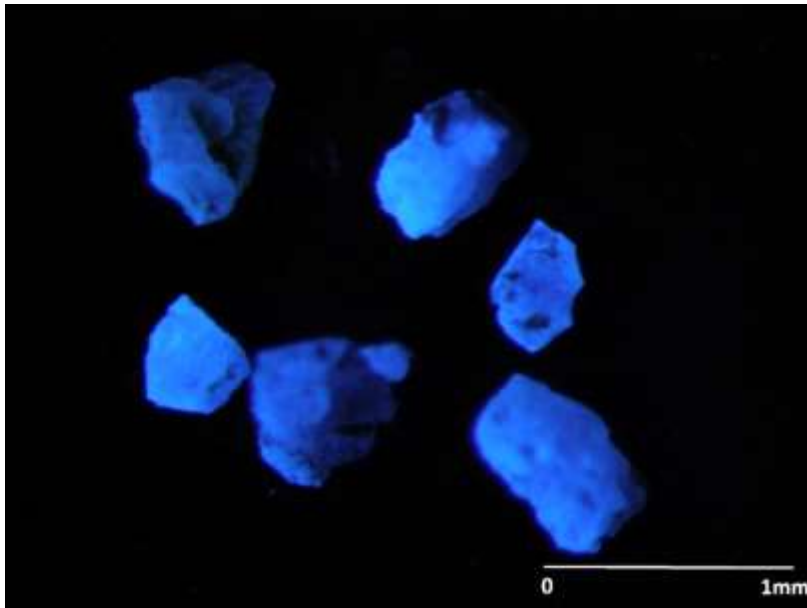


Figura 6-34 - Fluorescência da *scheelite* por acção da radiação UV (ampliação: 40X)

A amostra SG-F1-XF é composta, na fracção magnética (Figura 6-35), por volframite, turmalina, arsenopirite com turmalina e alguns óxidos. Apresenta também alguma barite que não foi separada para a fracção não magnética. Por sua vez, os minerais não magnéticos (Figura 6-36) são essencialmente *scheelite*, pirite, barite e ainda um mineral com aspecto similar à lepidolite mas que devido à sua dimensão não permite confirmar se se trata desta espécie mineral, podendo tratar-se de uma mica roxa.

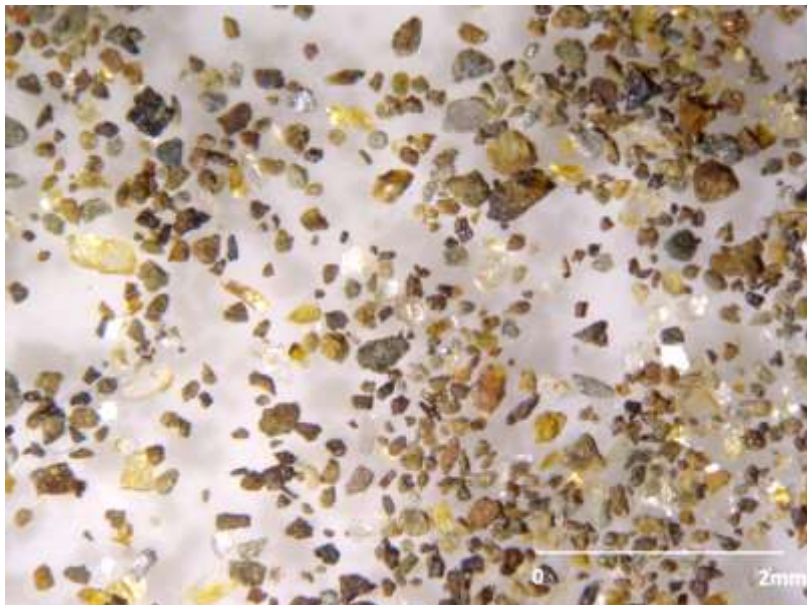


Figura 6-35 - SG-F1-XFM (ampliação: 10X)

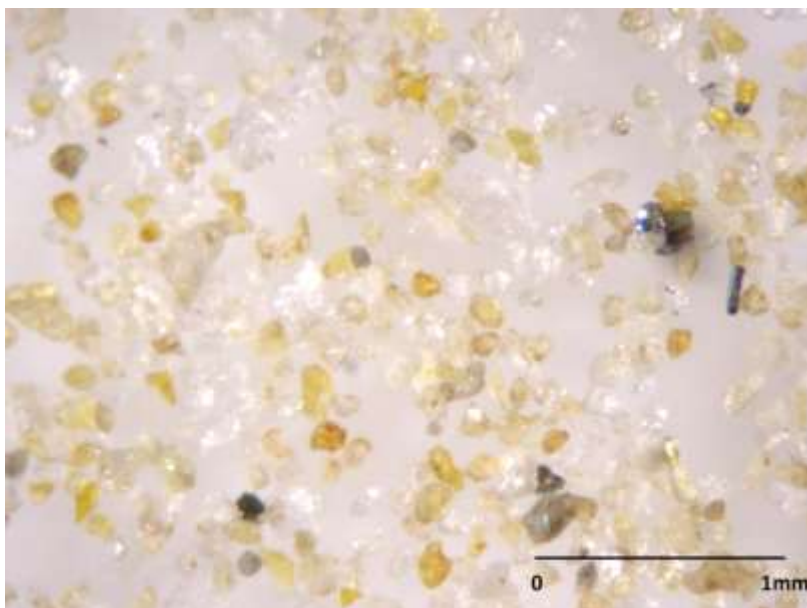


Figura 6-36 - SG-F1-XFNM (Ampliação: 40X)

A amostra VP-A1-XF é composta nas frações magnéticas por arsenopirite com escorodite (0,4Amp), calcopirite (1,45Amp), tremolite e pouca volframite. A fracção não magnética (Figura 6-37) é composta essencialmente por pirite e alguma cassiterite, não existindo *scheelite*.

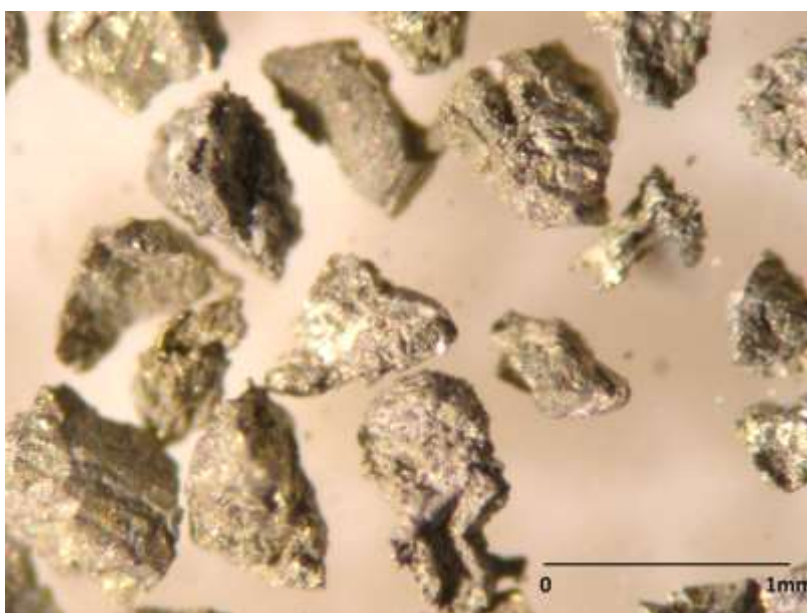


Figura 6-37 - Grãos de pirite em VP-A1-XFNM (Ampliação: 40X)

A subamostra magnética de VP-A4-XFM (Figura 6-38) apresenta minerais diversos como a turmalina, calcopirite, volframite, barite (resultado de uma ineficiente separação magnética), a goetite, a limonite, a arsenopirite e ainda associações de minerais como a calcopirite com turmalina. A goetite e a limonite estão presentes, essencialmente, na subamostra separada a 0,4Amp. A subamostra não magnética é caracterizada pela presença abundante de pirite, pouca cassiterite e ainda menor quantidade de *scheelite*. Existe alguma arsenopirite, que apenas deveria existir na subamostra magnética.

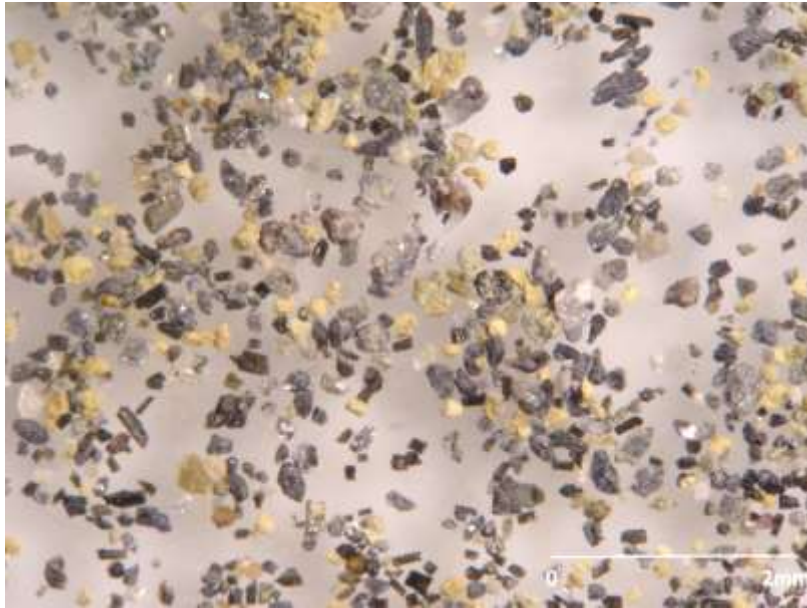


Figura 6-38 - Subamostra VP-A4-XFM com grãos de turmalina (verde escuro) e calcopirite (cinzento) (Ampliação: 10X)

Na fracção magnética de VP-B1-XF a volframite é escassa. Destaca-se a turmalina, a arsenopirite, associações destes dois minerais, estauroilite e ainda alguns óxidos. Por seu lado, os minerais não magnéticos (Figura 6-39) contêm bastante *scheelite*, alguma cassiterite, zircão, apatite e barite.



Figura 6-39 - Diversos minerais como *scheelite* (em cima à direita), apatite (em baixo à esquerda) e cassiterite (em baixo à direita) na amostra VP-B1-XFNM (Ampliação: 40X)

A amostra VP-C3-XG possui uma subamostra magnética onde predomina a arsenopirite e a calcopirite, existindo também óxidos e blenda, sendo a percentagem de volframite muito baixa. A subamostra não magnética (Figura 6-40) contém cassiterite, barite e é ausente em *scheelite*. Ocorre ainda

um mineral semelhante à lepidolite mas, tal como na amostra SG-F1-XF, não é possível confirmar se se trata desta espécie, devido à dimensão do mineral em si.



Figura 6-40 - Grãos de cassiterite em VP-C3-XGNM (Ampliação: 10X)

O cálculo das percentagens dos minerais de interesse é feito relativamente à amostra total. No caso da volframite, as percentagens são calculadas para as duas subamostras magnéticas (0.4Amp e 1.45Amp) e, posteriormente, ponderadas através da massa e percentagem de cada subamostra, obtendo-se a percentagem total de volframite na amostra.

Ao analisar a percentagens dos minerais de interesse em cada amostra (Tabela 6-14 e Figura 6-41), pode constatar-se que, tal como esperado, as percentagens de cassiterite são baixas na mina de Senhora da Guia, uma vez que o produto principal da exploração era o volfrâmio. Dos três minerais de interesse, a *scheelite* é o mineral que tem percentagens superiores nas escombreiras B e F. A escombreira A de Vale Pião é composta por valores consideráveis de cassiterite. A cassiterite apresenta percentagens relativamente constantes em todas as amostras, enquanto a *scheelite* se destaca na amostra VP-B1-XF, tal como a volframite.

Tabela 6-14 – Percentagem de minerais importantes em cada subamostra

Amostra	% Volframite (0.4Amp)	% Volframite (1.45Amp)	% Volframite	% Cassiterite	% Scheelite	% Minerais de interesse
<b>SG-B2-XF</b>	0.32	0.21	1.23	0.26	6.48	7.97
<b>SG-F1-XF</b>	0.40	0.87	0.98	0.00	7.99	8.97
<b>VP-A1-XF</b>	1.74	0.45	0.77	2.14	0.00	2.91
<b>VP-A4-XF</b>	1.25	2.89	0.86	2.45	0.54	3.85
<b>VP-B1-XF</b>	0.52	0.34	1.17	2.21	4.59	7.97
<b>VP-C3-XG</b>	0.17	0.44	0.90	3.73	0.00	4.63

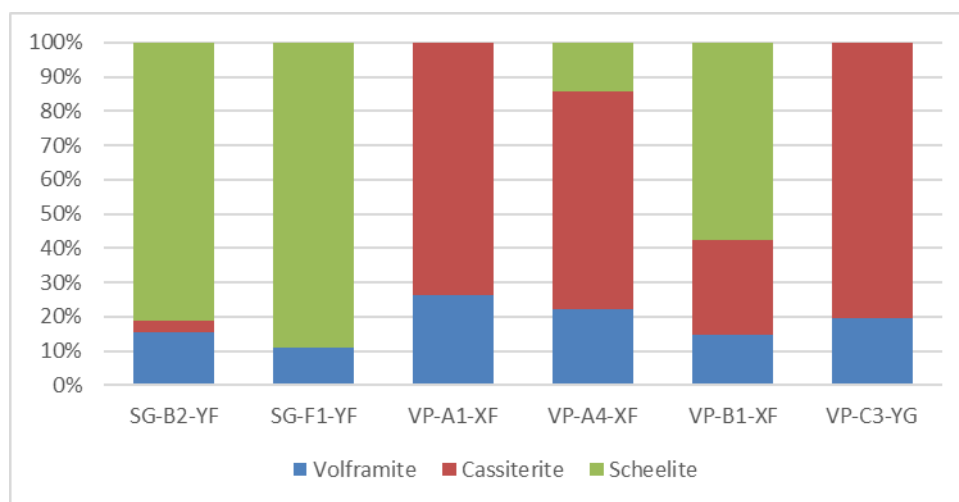


Figura 6-41 - Gráfico das percentagens de minerais de interesse nas amostras

O gráfico presente na Figura 6-42 representa a proporção de minerais de interesse na amostra total, verificando-se que as amostras com maior potencial a nível de minerais de interesse são as da mina de Senhora da Guia e a amostra da escombreira B da mina de Vale Pião.

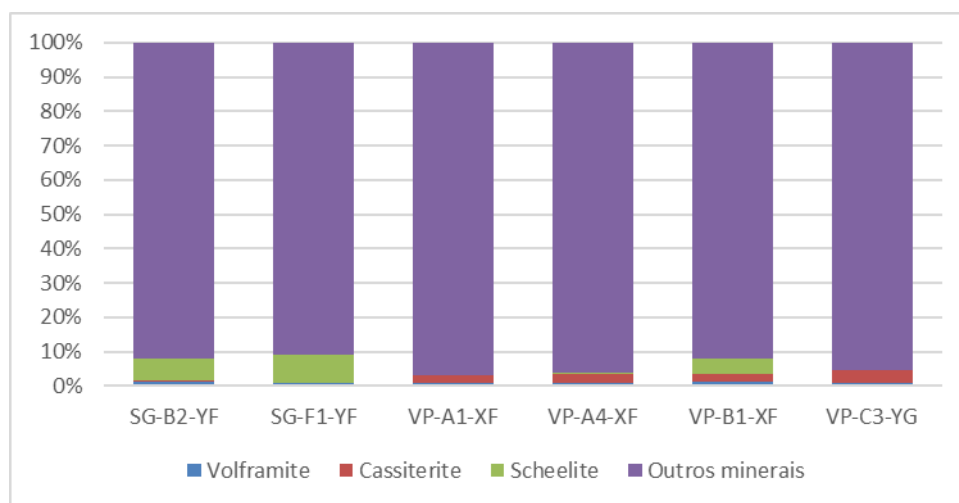


Figura 6-42 - Gráfico das percentagens de minerais nas amostras

## 6.4 Etapa 4 - Caracterização de recursos de Sn e W

O cálculo de recursos de estanho e volfrâmio existentes na mina de Senhora da Guia e Vale Pião é o objectivo final da presente dissertação. É de referir que, neste caso, os recursos potenciais estimados dizem apenas respeito às fracções de 63, 125 e 250 $\mu$ m das amostras sujeitas a caracterização mineralógica (SG-B2-XF, SG-F1-XF, VP-A1-XF, VP-A4-XF, VP-B1-XF e VP-C3-XG). Para efectuar o cálculo dos recursos foi necessário calcular o volume das escombreyras, assim como a densidade das mesmas, que se assumiu igual à das respectivas amostras.

### **Cálculo do volume e da densidade das escombreyras**

O volume das escombreyras em estudo foi calculado em *ArcGIS*. Os dados de partida utilizados foram o modelo digital de terreno (MDT) à escala 1/25000, que permitiu a estimação da superfície topográfica do terreno, que se assumiu como a base de cada escombreyra, e os pontos cotados recolhidos no terreno, que permitiram modelar a superfície de topo da escombreyra. As superfícies da base e do topo das escombreyras foram estimadas em ambiente SIG por triangulação, com recurso ao algoritmo *Create TIN*. O volume de cada escombreyra é calculado pela diferença das superfícies estimadas do topo e da base das escombreyras.

O cálculo dos volumes das escombreyras conduziu aos resultados apresentados na Tabela 6-15, onde se pode constatar que a escombreyra VP-B é claramente a que apresenta um volume mais elevado, superando os 3000m<sup>3</sup>, com as restantes a apresentarem volumes inferiores a 400m<sup>3</sup>.

Associada a este cálculo existe uma considerável incerteza, para a qual contribuem factores como o desconhecimento das cotas da base da escombreyra, a utilização de um MDT com escala de pouco pormenor (1/25000) para o objectivo do estudo, assim como a inexistência de pontos cotados em diversos locais da escombreyra, visto os mesmos serem de difícil acesso, pelo que os valores calculados apresentarão um erro inerente a estes condicionalismos.

A Figura 6-43 ilustra a superfície de topo da escombreyra VP-B com os pontos cotados que lhe deram origem.

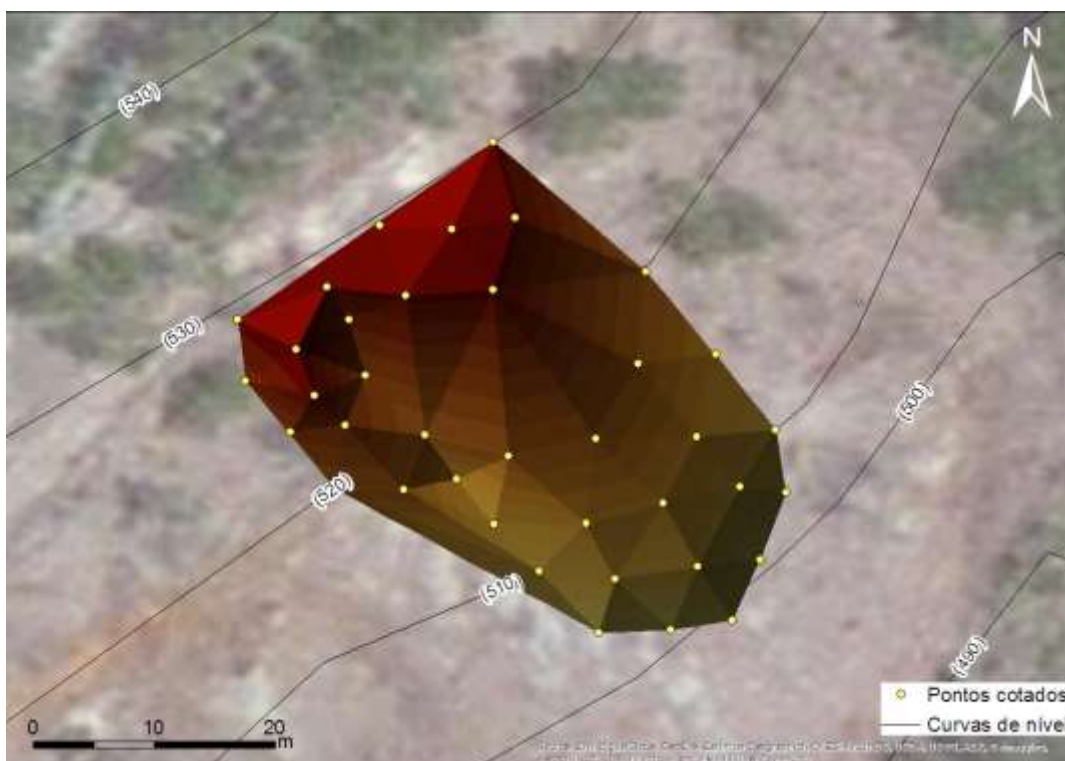


Figura 6-43 - Superfície e pontos cotados da escobreira VP-B.

Para a densidade das escobreiras, foi considerado o valor teórico de  $2,60\text{g/cm}^3$  (Gruenwald *et al.*, 2010) para todas as amostras em estudo, que se assumiram como representativas das respectivas escobreiras.

### Cálculo preliminar de recursos de Sn e W

A partir dos volumes calculados e da densidade das escobreiras, foi possível calcular a respectiva massa. Os resultados obtidos (Tabela 6-15) indicam que a escobreira B de VP é a que apresenta maior massa, destacando-se das restantes.

Tabela 6-15 - Dados de caracterização das escobreiras

Amostra	a) Volume escobreira ( $\text{m}^3$ )	b) Densidade amostra/escobreira ( $\text{Kg/m}^3$ )	c) Massa da escobreira (ton) [c = b x a]
SG-B2-XF	43	2600	111.54
SG-F1-XF	225		584.41
VP-A1-XF	202		526.36
VP-A4-XF	202		526.36
VP-B1-XF	3087		8025.08
VP-C3-XG	389		1010.19

Assumindo a massa da fracção utilizada para a massa total da fracção e, conseqüentemente, para a massa total da amostra, calcula-se a massa total de minerais pesados existente em cada amostra (Tabela

6-16), verificando-se que a amostra VP-A1-XF se destaca por apresentar três vezes mais massa de minerais pesados do que a média das amostras.

Tabela 6-16 - Massas de minerais pesados das amostras (fracções e totais)

Amostra	d) Massa total da amostra (g)	e) Massa total da fracção (g)	f) Massa da fracção utilizada (g)	g) Massa minerais pesados obtidos (g)	h) Massa total minerais pesados (g) [h = (e x g) / f]
<b>SG-B2-XF</b>	1272.10	209.66	72.19	7.11	20.65
<b>SG-F1-XF</b>	1847.70	80.51	23.83	22.92	77.44
<b>VP-A1-XF</b>	2599.70	772.66	406.75	178.74	339.53
<b>VP-A4-XF</b>	2062.60	436.26	255.62	28.58	48.78
<b>VP-B1-XF</b>	3054.70	393.71	229.07	54.90	94.36
<b>VP-C3-XG</b>	2954.20	239.81	201.14	12.36	14.74

A massa dos minerais de interesse (volframite, *scheelite* e cassiterite) nas escombreliras é calculada a partir da massa dos minerais em cada amostra, obtidas através das percentagens destes nas amostras que foram determinadas através da contagem dos grãos na caracterização mineralógica. A Tabela 6-17, Tabela 6-18 e Tabela 6-19 apresentam os resultados obtidos, verificando-se que a escombrelira B de VP é a que apresenta maior massa nos três minerais de interesse, seguindo-se a escombrelira F de SG.

Tabela 6-17 - Massas de volframite

Amostra	i) % Volframite na amostra	j) Massa de Volframite na amostra (g) [j = (i x h) / 100]	k) Massa de Volframite na escombrelira (Kg) [k = (e x j) / d]
<b>SG-B2-XF</b>	1.23	0.25	22.3
<b>SG-F1-XF</b>	0.98	0.76	24.0
<b>VP-A1-XF</b>	0.77	2.60	52.6
<b>VP-A4-XF</b>	0.86	0.42	10.7
<b>VP-B1-XF</b>	1.17	1.10	28.9
<b>VP-C3-XG</b>	0.90	0.13	45.4

Tabela 6-18 - Massas de *scheelite*

Amostra	l) % Scheelite na amostra	m) Massa de Scheelite na amostra (g) [m = (l x h) / 100]	n) Massa de Scheelite na escombrelira (Kg) [k = (c x m) / d]
<b>SG-B2-XF</b>	6.48	1.34	117.3
<b>SG-F1-XF</b>	7.99	6.18	1956.0
<b>VP-A1-XF</b>	0.00	0.00	0.0
<b>VP-A4-XF</b>	0.54	0.27	67.6
<b>VP-B1-XF</b>	4.59	4.33	11382.8
<b>VP-C3-XG</b>	0.00	0.00	0.00

Tabela 6-19 - Massas de cassiterite

Amostra	o) % Cassiterite na amostra	p) Massa de Cassiterite na amostra (g) [p = (o x h) / 100]	q) Massa de Cassiterite na escombreira (Kg) [k = (c x p) / d]
<b>SG-B2-XF</b>	0.26	0.05	4.7
<b>SG-F1-XF</b>	0.00	0.00	0.00
<b>VP-A1-XF</b>	2.14	7.28	1473.1
<b>VP-A4-XF</b>	2.45	1.19	304.4
<b>VP-B1-XF</b>	2.21	2.09	5481.0
<b>VP-C3-XG</b>	3.73	0.55	187.7

Na etapa final do cálculo de recursos pretende-se quantificar o volfrâmio (W) e o estanho (Sn) existente em cada escombreira. Para tal, considera-se a percentagem de cada elemento nos três minerais analisados (Tabela 6-20). O W está presente na Scheelite e Wolframite, enquanto o Sn está presente na Cassiterite.

Tabela 6-20 - Percentagens de Sn e W nos minerais (Mindat.org, 2015)

Mineral	% do elemento no mineral	
	W	Sn
<b>Scheelite</b>	63.85	-
<b>Wolframite</b>	60.63	-
<b>Cassiterite</b>	-	78.77

São calculados os teor de W e Sn em ppm com as equações [1] e [2], e em Kg/m<sup>3</sup> com as equações [3] e [4], assim como a quantidade de Sn e W, em Kg, a partir da equação [5], existente em cada escombreira para o volume calculado previamente (Tabela 6-21). As equações referidas são apresentadas no capítulo 4.4 (Cálculo dos recursos de Sn e W).

Tabela 6-21 - Recursos de Sn e W obtidos na caracterização mineralógica

Amostras	W (ppm)	Sn (ppm)	W (Kg/m <sup>3</sup> )	Sn (Kg/m <sup>3</sup> )	W (Kg)	Sn (Kg)
<b>SG-B2-XF</b>	792	33	2.1	0.09	89	4
<b>SG-F1-XF</b>	2386	0	6.2	0.0	1396	0
<b>VP-A1-XF</b>	606	2205	1.6	5.7	318	1158
<b>VP-A4-XF</b>	205	456	0.5	1.2	108	239
<b>VP-B1-XF</b>	1124	538	2.9	1.4	9023	4318
<b>VP-C3-XG</b>	27	146	0.07	0.4	28	148

Como se assume que cada amostra é representativa da respectiva escombreira, os valores de recursos apresentados podem ser assumidos como verdadeiros para as escombreiras em questão. Verifica-se que:

- O principal recurso das escombreyras da mina de SG é o W;
- No caso da mina de VP, a escombreyra A apresenta maioritariamente Sn, tal como a escombreyra C, enquanto a escombreyra B apresenta mais W;
- As escombreyras com maior potencial de exploração de W são a escombreyra F de SG, com cerca de 2300 ppm, e a escombreyra B de VP, com cerca de 1100 ppm;
- Relativamente ao Sn, as escombreyras com maior potencial são a escombreyra A (2205 e 456 ppm) e a B (538 ppm) de VP;
- A escombreyra mais pobre a nível destes recursos é a escombreyra C da mina de VP.

Após a estimacão dos recursos de Sn e W, realizou-se a comparacão entre os teores obtidos por caracterizacão analítica e mineralógica para os dois elementos em estudo (Figura 6-44). Esta comparacão permitiu verificar que os valores obtidos na caracterizacão mineralógica são mais baixos que os da caracterizacão analítica, excepto para o teor de W na escombreyra B de VP.

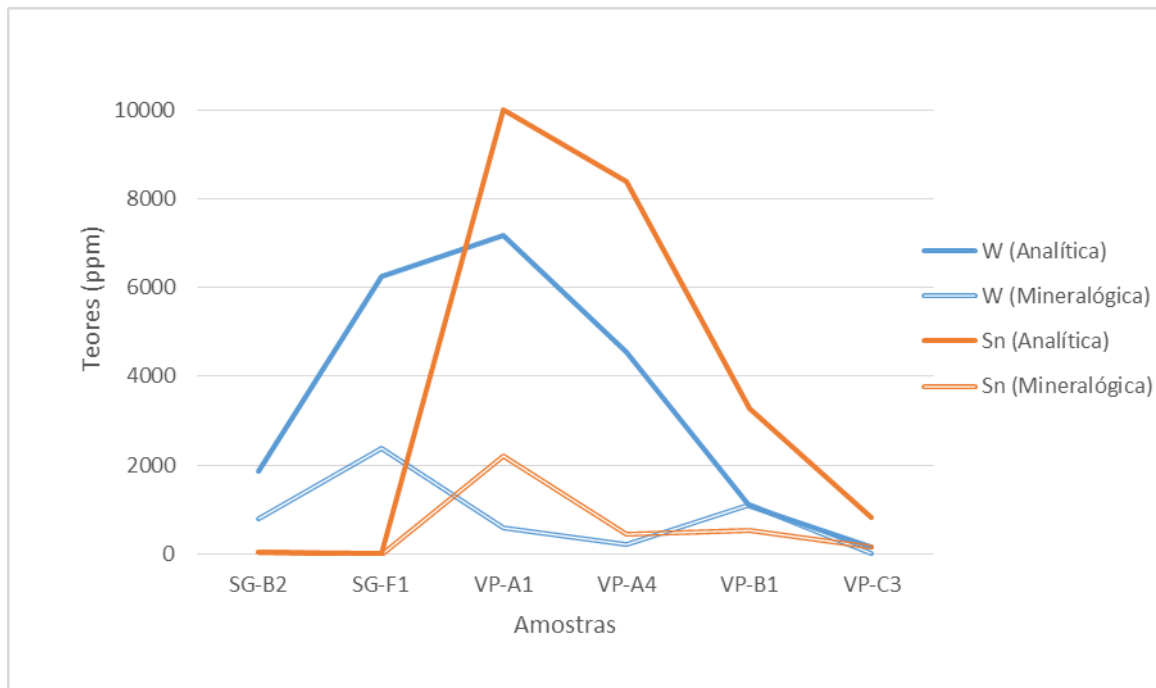


Figura 6-44 - Comparacão dos valores de teores calculados nas caracterizacões analítica e mineralógica

Estas diferencas podem ser justificadas com a existéncia de mineralizacão nas fracçoes abaixo de 63 $\mu$ m e acima de 250 $\mu$ m, que apenas são contabilizadas na caracterizacão analítica. Pode também existir alguma subestimacão devido a erros associados ao procedimento de caracterizacão mineralógica.

Para as amostras cujos teores obtidos através da caracterizacão analítica são consideravelmente superiores aos obtidos através da caracterizacão mineralógica, pode-se afirmar que a maior quantidade de mineralizacão se encontra nas fracçoes superiores ou inferiores ao intervalo entre 63 a 250 $\mu$ m.

Um exemplo é a escombreira A da mina de VP, que apresenta teores elevados de W na caracterização analítica (entre 7170 e 4550 ppm) e valores relativamente baixos na mineralógica (entre 606 e 205 ppm).

A Tabela 6-22 apresenta uma síntese de diversos parâmetros de caracterização das escombreiras com maior potencial de valorização nas minas de Senhora da Guia e Vale Pião, como o volume da escombreira, a proporção seixo/areia obtida na caracterização granulométrica e os teores de Sn e W obtidos nos processos de caracterização analítica e mineralógica.

Tabela 6-22 - Tabela de síntese da caracterização das escombreiras

Mina	Escombreira	Volume da escombreira (m <sup>3</sup> )	Caracterização Granulométrica	Amostra	Teor Sn (ppm)		Teor W (ppm)	
					Caract. Analítica	Caract. Mineralógica	Caract. Analítica	Caract. Mineralógica
<b>Senhora da Guia</b>	B	43	75% seixo, 25% areia	SG-B2-YF	39	33	1870	792
	F	225	55% seixo, 40% areia	SG-F1-YF	27	0	6250	2386
<b>Vale Pião</b>	A	202	50% seixo, 40% areia	VP-A4-YF	8380	456	4550	205
	B	3087	10% seixo, 90% areia	VP-B1-YF	3290	538	1080	1124
	C	389	60% seixo, 30% areia	VP-C3-YG	816	146	152	27

## 7. Síntese de resultados e considerações finais

O objectivo do presente estudo é o estabelecimento de uma metodologia para a caracterização e avaliação preliminar do potencial de valorização de escombrelras de duas antigas minas de estanho e volfrâmio (a mina de Senhora da Guia e a mina de Vale Pião), que se encontram abandonadas, desde os anos 80 do século XX, tendo deixado dispersos no solo depósitos de resíduos (escombrelras) que, após avaliação, poderão vir a ser alvo de recuperação e valorização económica.

A metodologia proposta para a avaliação do potencial de escombrelras de antigas minas abandonadas considera 4 etapas: (i) 1ª etapa – considera a inventariação das escombrelras, com recurso a fotografias aéreas e imagens de satélite; (ii) 2ª etapa – consiste na validação de campo dos corpos de escombrelras inventariadas e respectiva amostragem dos materiais para posterior caracterização laboratorial; (iii) 3ª etapa – relativa à caracterização laboratorial analítica, granulométrica e mineralógica dos materiais e interpretação de resultados para selecção das escombrelras com potencial; (iv) 4ª etapa - estimacão preliminar dos recursos das escombrelras com potencial para recuperação.

O levantamento e inventariação, em gabinete, dos corpos das escombrelras das antigas minas foi realizado com recurso a informacão cartográfica e bibliográfica existente, observacão de fotografias aéreas, obtidas à data da exploracão mineira, e imagem de satélite.

Dos recursos utilizados, os que se revelaram mais adequados para a inventariação e cartografia dos corpos das escombrelras foram as fotografias aéreas, à escala aproximada 1:25000. O facto de algumas das escombrelras se encontrarem “escondidas” por coberto vegetal denso e ou, dispersas ou remobilizadas por açcão antrópica, dificultou a sua identificacão através da visualizacão expedita das imagens de satélite.

A 1ª etapa de levantamento de dados em gabinete permitiu a inventariação de 16 locais de acumulacão de resíduos na mina de Senhora da Guia e de 25 locais na mina de Vale Pião. Com base nos locais inventariados foi definido um plano de amostragem, de malha direccionada, tendo em consideracão a dimensão dos corpos das escombrelras inventariadas.

A validacão de campo (etapa 2) dos locais inventariados permitiu o refinamento e selecção das escombrelras de interesse para avaliacaão, tendo por base a sua dimensão, acessibilidade e morfologia. Assim, para a mina de Senhora da Guia, seleccionaram-se 8 escombrelras e, dos 25 locais identificados na mina de Vale Pião, apenas 5 foram seleccionados.

Para a caracterizacão dos materiais foram recolhidas, nas 8 escombrelras seleccionadas, 12 amostras de resíduos mineiros e uma amostra de sedimentos de linhas de água. Na mina de Vale Pião

foram recolhidas, nas 5 escombreliras, 11 amostras de resíduos, duas em linhas de água e uma amostra fora da área de influência da mina, para avaliação do fundo geoquímico da região.

Os materiais das escombreliras consideradas apresentaram duas tipologias: 1) materiais mais grosseiros, provavelmente de actividades de desmonte; 2) materiais mais finos, provenientes de processos de tratamento de minério.

A caracterização granulométrica das amostras permitiu classificar os materiais das escombreliras como materiais mal graduados, maioritariamente constituídos por materiais da classe das areias e dos seixos.

A caracterização analítica permitiu seleccionar as escombreliras B e F da mina de Senhora da Guia, com teores de W, nas fracções finas, superiores a 1170 e 3430ppm, respectivamente, como as mais ricas neste elemento. Na mina de Vale Pião, a caracterização analítica destacou as amostras das escombreliras A, B e C, onde os teores de Sn são superiores a 816ppm na fracção grosseira e 521ppm na fracção fina. Por outro lado, os teores de W destacam-se apenas nas escombreliras A e B, superando os 311ppm na fracção grosseira e 1080ppm na fracção fina.

Observou-se, também, que os teores mais elevados de W e Sn encontram-se na mina de VP, enquanto os mais baixos estão na mina de SG. Nesta, os teores de W são consideravelmente superiores aos de Sn, o que se esperava devido ao historial de exploração. Através da análise em componentes principais (ACP) pode referir-se que:

Das oito escombreliras de Senhora da Guia:

- Apenas a escombrelira F, constituída por materiais finos resultantes do processamento do minério, poderá apresentar interesse para recuperação do W, ocorrendo em associação o Au e a Ag;
- A escombrelira B, constituída por materiais grosseiros de desmonte e localmente por alguns materiais finos, apresenta os teores mais elevados de Li e, embora não de forma significativa, ocorrem também o Sn, o Tl, o Sr e o Rb associados;
- Os elementos das terras raras aparecem (La, Ce e Th) ocorrem nas fracções finas das escombreliras D e G;
- As escombreliras A, E, G e H apresentam composição química semelhante à composição média dos materiais dos sedimentos da região.

Das cinco escombreliras de Vale Pião:

- A escombreira A, constituída por materiais do processamento dos minérios, é a que apresenta teores mais elevados de W e Sn, associados a Au e a Ag, em todas as fracções analisadas;
- A escombreira B, que também corresponde a uma escombreira de materiais do processamento de minério, apresenta maioritariamente Pb, Ni, Te e In, podendo no entanto conter também algum Au e As;
- Nas escombreiras C e D apenas foram observados teores em Nb, Ti, Zr, Sc, V, Ga, Sr, Hf e Th, Ce, Ge e Y;
- Na escombreira E foram identificados apenas o Li, o P e o Rb.

Os sistemas mineralizantes que compõem as minas de Senhora da Guia e Vale Pião são bastante complexos, formando-se por várias etapas de eventos mineralizantes que originam uma mineralogia bastante variada, o que resulta na grande variedade de elementos químicos que foram considerados na análise em componentes principais (ACP).

A caracterização mineralógica permitiu identificar a percentagem de minerais (volframite, cassiterite e *scheelite*) com os elementos de interesse em cada amostra. Verifica-se que as amostras mais ricas são as de SG, nomeadamente a nível de W. A amostra correspondente à escombreira B de VP é igualmente promissora, tanto a nível de W como de Sn.

Os elementos químicos identificados para a análise de associações geoquímicas ocorrem em diferentes escombreiras e em diferentes tipos de materiais com origens distintas. Constata-se também que as espécies minerais identificadas à lupa binocular poderão conter a maioria destes elementos, mas dificilmente incorporam a totalidade de elementos considerados, sendo que alguns deles ocorrem em concentrações relativamente reduzidas. O facto de não se ter efectuado a caracterização mineralógica em todas as amostras, e nas que foram estudadas terem sido caracterizadas apenas as fracções de minerais pesados entre os 63µm e 250µm, terá limitado as espécies minerais disponíveis para identificação à lupa. Importa lembrar que o estudo de caracterização mineralógica das fracções minerais existentes nas escombreiras teve como objectivo primário reconhecer as espécies minerais portadoras de Sn e W, que eram o alvo das explorações mineiras antigas e, assim, os elementos alvo para este estudo, e não proceder a uma caracterização exaustiva da mineralogia associada aos processos hidrotermais responsáveis pela formação das mineralizações.

O cálculo de recursos de Sn e W foi realizado apenas para as amostras caracterizadas mineralogicamente. Para a mina de Senhora da Guia obtiveram-se quantidades de W de 89Kg para a escombreira B e de 1396Kg para a escombreira F (Figura 7-1).



Figura 7-1 - Quantidade de Sn e W nas escombreiras B e F de Senhora da Guia.

Na mina de Vale Pião (Figura 7-2), a escombreira A apresenta 239Kg de Sn e 108Kg de W. A escombreira B é a que apresenta quantidades de Sn e W mais elevadas, com 4318Kg e 9023Kg, respectivamente, enquanto a escombreira C apenas apresenta 148Kg de Sn e 28Kg de W.



Figura 7-2 - Quantidade de Sn e W das escombreiras A, B e C de Vale Pião

Comparando os resultados obtidos pela caracterização mineralógica, apenas realizada nas fracções entre 63 a 250µm, estes são mais baixos do que os teores de W e Sn obtidos pelos ensaios analíticos, realizados em todas as fracções da amostra, o que leva a considerar que parte da mineralização se encontra nas fracções da amostra superiores ou inferiores ao intervalo entre 63 a 250µm, não sujeita a caracterização mineralógica.

É importante notar que num estudo composto por diversas etapas ocorrem invariavelmente resultados condicionados pela incerteza associada a essas mesmas etapas. Podem ser enumeradas as seguintes situações:

- **Número reduzido de amostras:** devido a condicionantes temporais e de logística, foi colhida, por norma, uma amostra por escombreira. Este facto leva a assumir-se que a amostra é representativa de toda a escombreira, não levando em conta, por exemplo, a segregação dos diversos materiais, podendo uma amostra em questão ter maior proporção de materiais finos ou grosseiros do que na realidade a escombreira tem;
- **Local de amostragem:** indissociável do ponto anterior, o local de colheita da amostra vai influenciar a composição da mesma. Novamente surge a questão da segregação dos materiais, que condiciona a composição da amostra;
- **Fracções granulométricas escolhidas:** a selecção das fracções de 63, 125 e 250 $\mu$ m prende-se com o método de separação gravítica utilizado. No entanto, a mineralização não está condicionada a estas granulometrias, o que leva a que os recursos calculados sejam inferiores aos recursos reais, pois não foram contabilizados os recursos presentes nas restantes fracções;
- **Procedimentos laboratoriais:** todos os procedimentos laboratoriais têm um grau de incerteza intrínseca associada, à qual acrescem os erros de operador. O processo de lavagem das amostras, a separação densimétrica, a retenção de materiais nos peneiros e a precisão das balanças utilizadas, são alguns dos factores que poderão acrescentar erros ao processo;
- **Representatividade da amostra observada à lupa:** aquando da caracterização granulométrica, foi seleccionada uma pequena porção da amostra para ser feita a contabilização dos grãos de minerais de interesse. Esta porção pode não ser totalmente representativa do todo, o que poderá conduzir ao enviesamento na estimação dos recursos;
- **Volume das escombreiras:** não menos importante que os pontos anteriores é o volume que foi calculado para cada escombreira. Cada um dos corpos apresentava uma geometria bastante heterogénea. Com um levantamento de campo pouco detalhado e um total desconhecimento da superfície do terreno por baixo de cada escombreira, a sua modelação leva invariavelmente a que a geometria obtida possa apresentar uma variação face ao valor real do volume.

Apesar de verificar-se quais as escombreiras com maior potencial para recuperação de Sn e W nas minas de VP e SG, o seguimento dos trabalhos exige um estudo mais aprofundado e detalhado dos corpos em questão (fase de investigação detalhada), bem como a definição da estratégia a adoptar na fase de exploração, caso se verifique viável. No entanto, o extenso processo da fase de investigação preliminar permite tecer algumas notas que podem vir a ser consideradas aquando da continuação do projecto:

- **Volumetria das escombreyras:** é essencial realizar uma caracterização da geometria das escombreyras mais importantes com recurso a métodos que permitam a obtenção de dados com maior detalhe. A topografia a uma escala de 1/500 ou 1/1000 revela-se, aqui, de grande utilidade. Seria ainda desejável a utilização de métodos directos para determinar a base das escombreyras, bem como recolher amostras a diversas profundidades, avaliando distribuição dos elementos e a segregação dos materiais;
- **Colheita de amostras:** após a caracterização descrita no ponto anterior, será possível escolher os pontos mais favoráveis para serem amostrados, onde se possam verificar teores superiores. É também recomendável que se efectuem amostras compósitas. Deve garantir-se o acesso a locais menos acessíveis das escombreyras, quer devido à vegetação existente, quer devido à inclinação dos taludes, de modo a respeitar o plano de amostragem estabelecido;
- **Fracções granulométricas caracterizadas:** é importante definir quais as fracções que importam ser exploradas, pois as que apresentam menores teores podem exigir uma exploração que não seja economicamente viável. É de especial importância verificar se é viável a exploração das fracções grosseiras pois os processos de redução granulométrica, como a moagem e a britagem, representam a fase de beneficiação mais dispendiosa da exploração. Caso estas fracções não venham a ser exploradas, é então crucial definir qual a fracção granulométrica acima da qual todo o material é descartado. No presente estudo foi adoptada a fracção de 2mm como separação entre os materiais grosseiros e finos, embora com estudos mais detalhados esta possa ser alterada.
- **Exploração das escombreyras:** atendendo à natureza dos minérios que se pretendem explorar, a sua densidade é o factor que, em conjunto com a granulometria, deve ser tido em conta no planeamento da sequência de exploração. Assim, esta deve incluir uma fase inicial de separação em mesa oscilatória, com o objectivo de separar as granulometrias mais grosseiras, que serão sujeitas a britagem e moagem ou serão descartadas, consoante a viabilidade da sua exploração. As etapas seguintes de processamento, por via seca ou húmida, devem compreender o uso, numa primeira fase, de crivos e, numa segunda fase, de ciclones, de acordo com as fracções granulométricas que se pretende concentrar. A opção pelo processamento em via seca ou húmida deve ter em conta a eficácia de separação das fracções dos minerais, assim como a viabilidade do processo, nomeadamente no acesso a água para ser utilizada no mesmo. É ainda importante salientar que o facto dos materiais se encontrarem à superfície e prontos a serem processados representa um decréscimo no valor total dos custos de exploração face a uma situação em que seja necessária a extracção dos mesmos.

## **Bibliografia**

(1966) – *Especificação LNEC E195-1966 – Preparação por Via Seca de Amostras para Ensaios de Identificação*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.

(1971) – *Especificação LNEC E239-1970 – Análise Granulométrica por Peneiração Húmida*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.

(1990) – Decreto-Lei nº88 – *Regulamento de depósitos minerais*. Lisboa.

(1999) – Decreto-Lei nº544 – *Regras relativas à construção, exploração e encerramento de aterros de resíduos resultantes da actividade extractiva*. Lisboa.

(2001) – Decreto-Lei nº198A – *Regime jurídico de concessão do exercício da actividade de recuperação ambiental das áreas mineiras degradadas*. Lisboa.

(2002) – Decreto-Lei nº152 – *Regime jurídico do procedimento para a emissão de licença, instalação, exploração, encerramento e manutenção de aterros de deposição de resíduos*. Lisboa.

(2006) – *Directiva 2006/21/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 15 de Março de 2006 relativa à gestão dos resíduos de indústrias extractivas e que altera a Directiva 2004/35/CE*. Jornal Oficial da União Europeia.

(2009) – *Reference Document on Best Available Techniques for Management of Tailing and Waste-Rock in Mining Activities*. European Commission.

(2011) – *Indicator Mineral Methods in Mineral Exploration*. 25<sup>th</sup> International Applied Geochemistry Symposium (Workshop). Rovaniemi, Finland.

(2013) – Decreto-Lei nº31 – *Regime jurídico a que está sujeita a gestão de resíduos de explorações de depósitos e massas minerais*. Lisboa.

Amarante, M. M. (1985) – *Tratamento do Minério da Cabeça do Pião (Área Mineira de Góis PM – 232)*. Direcção-Geral de Geologia e Minas.

Bibbens, R. et al. (2007) – *Soil and Rock – Logging, Classification and Presentation Manual*. Department of Transportation, State of California.

Brito, M.G. (2005) – *Metodologia para Avaliação e Remediação da Contaminação por Metais Pesados em Áreas Industriais Degradadas*. Dissertação para obtenção do grau de Doutor. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Portugal.

Casanova, R. et al. (1977) – *Atlas des Minéraux en Grains Identification Par Photographies en Couleurs*. Société por le Développement Minier de la Côte d’Ivoire (SODEMI).

Costa, C. (1992) – *As Pedreiras do Anticlinal de Estremoz. A geologia de Engenharia na Exploração e Recuperação Ambiental de Pedreiras*. Tese de Doutoramento, FCT/UNL, Monte da Caparica. 470p.

Daveau, S.; Birot, P.; Ribeiro, O. (1986) – *Les Bassins de Lousã et d’Arganil – Recherches Géomorphologiques et Sédimentologiques sur le Massif Ancien et sa Couverture à l’Est de Coimbra (Volume II – L’Évolution du Relief)*. Memórias do Centro de Estudos Geográficos, nº8. Universidade de Lisboa.

Devismes, P. (1978) – *Atlas Photographique des Mineraux d’Alluvions*. Mémoire du Bureau de Recherches Géologiques et Minières.

Ferreira, A. B. (1978) – *Planaltos e Montanhas do Norte da Beira – Estudo de Geomorfologia*. Memórias do Centro de Estudos Geográficos, nº4. Universidade de Lisboa.

Fonseca, J.; Rodrigues, L. (1986) – *Prospecção por Reflexão Sísmica na Zona da Mina do Vale do Pião (Góis)*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

Gruenwald, W; Makepeace, D. (2010) – *Technical Report on the Blackdome Mine Tailings*. Clinton, British Columbia.

Keller, E. A. (2011) – *Environmental Geology*. Pearson Prentice Hall. California.

Knödel, K.; Lange, G.; Voigt, H. J. (2007) – *Environmental Geology – Handbook of Field Methods and Case Studies*. Springer. Germany.

Mange, M. A.; Maurer, H. F. W. (1992) – *Heavy Minerals in Colour*. Chapman & Hall.

Martins, P. (2013) – *Potencial de Valorização de Resíduos da Concentração de Minérios*. FCT/UNL, Lisboa.

Noronha, F.; Dória, A.; Dubessy, J.; Charoy, B. (1992) - *Characterization and timing of the different types of fluids present in the barren and ore-veins of the W-Sn deposit of Panasqueira, Central Portugal*. Mineralium Deposita, 27: 72-79.

- Oliveira, M. A. (1969) – *Geological Report on Couto Mineiro de Góis*.
- Oliveira, J. F. S.; Mendes, B.; Lapa, Nuno. (2009) – *Resíduos, Tratamento e a sua Problemática em Portugal*. Lidel.
- Orche, E. (1999) – *Manual de Evaluación de Yacimientos Minerales*. E.T.S.I. Minas – U.P.M. Madrid.
- Parra, A. N. – *Contributo de Curvas de Teores, de Possança, de Conteúdos Metálicos e de Valores para o Estudo Geológico-Económico da Jazida Estano-Volframítica de Vale Pião*. Serviços de Fomento Mineiro e Indústria Extractiva. Direcção-Geral de Geologia e Minas.
- Parra, A. N. (1988) – *Jazida Estano-Volframítica de Vale Pião. Aspectos Geológicos e Cálculo Preliminar de Reservas*. Serviços de Fomento Mineiro e Indústria Extractiva. Direcção-Geral de Geologia e Minas.
- Parra, A. (1999) – *Mina de Senhora da Guia – Cálculo de Recurso Tungstífero*. Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa.
- Parra, A. (1985) – *Mina de Vale Pião – Projecto de Sondagens*. Serviços de Fomento Mineiro e Indústria Extractiva. Direcção-Geral de Geologia e Minas.
- Parra, A. – *Reconhecimento Prévio dos Filões Mineralizados em Volframite da Mina da Senhora da Guia*. Serviços de Fomento Mineiro e Indústria Extractiva. Direcção-Geral de Geologia e Minas.
- Ramos, J. N. (2009) – *Góis, Tempo de Volfrâmio. Entre Memória e História*. Góis, Portugal.
- Read, S. A. L. et al. (1980) – *Field Description of Soil and Rock – Guideline for the Field Classification and Description of Soil and Rock for Engineering Purposes*. NZ Geotechnical Society Inc.
- Revuelta, M. B.; Jimeno, C. L. (1997) – *Manual de Evaluacion Y Diseño de Explotaciones Mineras*. Entorno Grafico. Madrid.
- Ribeiro, C.; Rodrigues, M.; Pais, M. & Bandeira, M. (2014) - *Relatório Fundamentado de Avaliação da Execução para o procedimento de Revisão do PDM Góis*. DGUPA e AVENSADA.
- Rossi, M. E.; Deutsch, C. V. (2014) – *Mineral Resource Estimation*. Springer. Germany.

Schoenenberger, P. J.; Wysocki, D. A.; Benham, E. C.; Broderson, W. D. (2002) – *Field Book for Describing and Sampling Soils, version 2.0*. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE, USA.

Schumacher, B. A.; Shines, K. C.; Burton, J. V.; Papp, M. L. (1990) – *A Comparison of Soil Sample Homogenization Techniques*. Lockheed Engineering and Sciences Company, Inc. Las Vegas, Nevada, USA.

Smith, A. (1969) – *Report on Couto Mineiro de Góis*. Vila Franca de Xira.

*Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)* – ASTM International.

Villas Bôas, R. C.; Filho, L. F. – *Technological Challenges Posed by Sustainable Development: The Mineral Extraction Industries*. CYTED IMAAC.

## **Anexos**



## Anexo I - Caracterização geoespacial e da tipologia das escombreyras inventariadas em campo

Escombreyra	Coordenada X do centróide (m)	Coordenada Y do centróide (m)	Coordenada Z do centróide (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Tipologia dos materiais
<b>SG-A</b>	3650.62	54838.02	462.63	1152.93	Materiais grosseiros (desmonte)
<b>SG-B</b>	3617.46	54894.93	429.56	3390.99	Materiais grosseiros (desmonte) e localmente finos
<b>SG-C</b>	3892.10	55009.08	512.01	1572.18	Materiais grosseiros (desmonte)
<b>SG-D</b>	3947.32	54911.06	536.17	1801.4	Materiais grosseiros (desmonte)
<b>SG-E</b>	3825.96	54959.66	488.10	410.46	Materiais grosseiros (desmonte)
<b>SG-F</b>	3791.72	54929.16	484.57	284.5	Materiais finos (processamento)
<b>SG-G</b>	3894.40	54935.75	516.61	292.13	Materiais grosseiros (desmonte)
<b>SG-H</b>	3975.41	54951.54	539.82	2559.09	Materiais grosseiros (desmonte)
<b>VP-A</b>	6427.71	53315.08	543.01	195.26	Materiais finos (processamento)
<b>VP-B</b>	6494.23	53305.45	514.20	1169.36	Materiais finos (processamento)
<b>VP-C</b>	6752.72	53434.85	543.84	6766.46	Materiais grosseiros (desmonte) e localmente finos
<b>VP-D</b>	6521.04	53515.63	569.77	388.86	Materiais grosseiros (desmonte)
<b>VP-E</b>	6365.11	53414.42	590.40	11474.61	Materiais grosseiros (desmonte)



## Anexo II - Massa inicial e massa seca das amostras de SG e VP

Amostra	Massa inicial (g)	Massa seca (g)	Perda de massa (%)
SG-A1	6415.4	6063.9	5.48
SG-B1	2035.1	1943.5	4.50
SG-B2	2745.6	2534.2	7.70
SG-C1	4889.5	4452.8	8.93
SG-D1	5036.5	4636.5	7.94
SG-D3	4324.0	3881.1	10.24
SG-E1	6970.1	6502.3	6.71
SG-F1	3844.8	3429.1	10.81
SG-F2	8399.9	7752.4	7.71
SG-G1	7142.6	6577.8	7.91
SG-H1	4529.9	4350.6	3.96
SG-H2	5100.4	4925.4	3.43
SG-S1	4918.2	4396.3	10.61
VP-A1	5077.5	4540.9	10.57
VP-A2	5402.4	4489.7	16.89
VP-A3	4762.9	4164.1	12.57
VP-A4	5121.9	4551.8	11.13
VP-B1	7367.6	6306.1	14.41
VP-B2	5076.2	4691.0	7.59
VP-C1	5642.8	5221.1	7.47
VP-C2	5559.1	5112.6	8.03
VP-C3	6556.3	6320.8	3.59
VP-D1	6626.1	6108.0	7.82
VP-E1	6376.1	5707.0	10.49
VP-S1	1833.0	1665.9	9.12
VP-SA	3850.0	1995.8	48.16
AM-CT1	2708.3	2378.4	12.18



### Anexo III - Massas das subamostras X e Y de SG e VP

Amostra	Subamostra X		Subamostra Y	
	Massa amostra (g)	Massa amostra YG (≥2mm) (g)	Massa amostra YF (<2mm) (g)	
<b>SG-A1</b>	3412.4	2092.5	558.8	
<b>SG-B1</b>	949.4	755.3	238.5	
<b>SG-B2</b>	1272.1	883.5	380.5	
<b>SG-C1</b>	2187.3	1661.8	604.2	
<b>SG-D1</b>	2549.4	1806.8	417.8	
<b>SG-D3</b>	2035.8	1299.4	546.1	
<b>SG-E1</b>	3076.4	2611.4	806.4	
<b>SG-F1</b>	1847.7	985.9	594.0	
<b>SG-F2</b>	3932.6	2480.5	1339.2	
<b>SG-G1</b>	3228.0	2558.0	791.6	
<b>SG-H1</b>	2183.2	1329.0	824.7	
<b>SG-H2</b>	2392.8	1675.4	833.7	
<b>SG-S1</b>	2149.1	943.8	1305.0	
<b>VP-A1</b>	2599.7	1.8	1816.8	
<b>VP-A2</b>	2574.6	453.0	1702.8	
<b>VP-A3</b>	2087.0	232.2	1688.2	
<b>VP-A4</b>	2062.6	1050.2	1442.8	
<b>VP-B1</b>	3054.7	276.5	2967.7	
<b>VP-B2</b>	2626.9	235.7	1826.9	
<b>VP-C1</b>	3106.8	1244.2	869.8	
<b>VP-C2</b>	2796.9	1583.4	706.8	
<b>VP-C3</b>	2954.2	1927.0	1439.4	
<b>VP-D1</b>	2951.1	2061.3	1099.8	
<b>VP-E1</b>	3037.2	1698.1	957.4	
<b>VP-S1</b>	749.5	465.2	445.1	
<b>VP-SA</b>	1063.5	226.8	681.0	

## Anexo IV - Caracterização analítica das amostras

Métodos	Au-AA23	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61
Amostras	Au	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Ga	Ge
	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm
<b>VP-A1-YG</b>																	
<b>VP-A2-YG</b>	3.51	54.4	1.43	6170	70	4.33	372	0.06	9.64	23.7	3.7	20	15.45	140.5	25.7	4.71	0.23
<b>VP-A3-YG</b>	1.165	4.53	6.06	1330	530	4.28	26.1	0.01	0.67	47.3	0.7	64	23.6	31.5	2.69	16.55	0.17
<b>VP-A4-YG</b>	0.68	1.41	6.2	244	540	4.54	16.4	0.01	<0.02	44.9	0.4	62	39.3	13.1	1.75	16.3	0.23
<b>VP-B1-YG</b>	0.736	1.78	5.9	2010	380	14.15	40.1	0.03	3.09	34.2	5.8	56	42.7	213	5.96	16.7	0.2
<b>VP-B2-YG</b>	0.578	3.2	5.08	1850	320	8.68	44.2	0.02	4.56	40.9	10.7	53	35.9	241	6.39	13.75	0.2
<b>VP-C1-YG</b>	<0.005	0.12	8.76	168	670	5.55	2.25	0.01	0.48	85.4	58.3	93	42	66	4.89	23.7	0.47
<b>VP-C2-YG</b>	0.008	0.07	8.21	70.6	640	5.38	1.48	0.01	0.36	70.4	48.9	89	50.4	82.7	4.23	23.4	0.25
<b>VP-C3-YG</b>	<0.005	0.16	8.61	354	700	6.52	2.97	0.01	0.93	86.2	35.4	90	55.1	83.2	5.51	22.7	0.3
<b>VP-D1-YG</b>	0.007	0.29	7.26	285	530	4.18	1.73	0.01	0.94	72.1	11.9	75	21	48.6	3.25	19.4	0.27
<b>VP-E1-YG</b>	1.22	1.21	9.99	3220	560	14	111.5	0.02	4.91	83.7	17.8	106	64	596	10.6	26.8	0.4
<b>VP-S1-YG</b>	0.008	0.07	8.74	124.5	610	3.31	0.51	0.03	0.3	55.2	6.6	89	24.9	40.7	4.72	21.6	0.2
<b>VP-SA-YG</b>	0.088	0.64	8.79	811	610	9.16	7.94	0.15	6.58	53.8	1.7	89	178	91.7	9.41	22.9	0.49
<b>SG-A1-YG</b>	0.027	0.27	7.65	374	580	4.16	3.43	0.21	0.37	66.8	7.3	75	57.8	40.7	3.93	20.6	0.2
<b>SG-B1-YG</b>	0.011	0.25	7.65	1080	570	4.98	6.86	0.2	0.04	74.1	4	76	97.1	26	4	21.9	0.23
<b>SG-B2-YG</b>	0.038	0.37	7.49	1340	560	4.26	21	0.16	0.08	66.3	3.6	79	63.4	23.2	3.89	20.9	0.2
<b>SG-C1-YG</b>	0.018	0.52	6.59	377	520	4.71	7.99	0.05	0.19	74.2	17.6	69	64.6	76.6	4.41	17.1	0.24
<b>SG-D1-YG</b>	0.013	0.49	7.75	535	580	4.5	8.63	0.02	0.02	69.3	8.9	70	56.4	53.5	3.74	20.9	0.24
<b>SG-D3-YG</b>	0.019	0.42	8.16	427	680	4.5	6.18	0.07	0.2	86.3	14.3	103	46.1	67.2	4.46	21.4	0.23

Métodos	Au-AA23	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61
Amostras	Au	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Ga	Ge
	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm
<b>SG-E1-YG</b>	0.018	0.75	7.67	236	610	4.04	4.47	0.15	0.5	64.8	2.7	75	50.1	45.4	3.4	20.8	0.23
<b>SG-F1-YG</b>	0.217	2.83	4.75	3100	360	3.52	82.1	0.09	0.15	45.8	4.9	52	41.1	125	4.9	13.65	0.18
<b>SG-F2-YG</b>	0.079	0.91	6.33	1310	600	3.95	44.3	0.08	0.13	63.7	8	77	50	92.4	4.61	16.75	0.22
<b>SG-G1-YG</b>	0.016	0.33	6.53	896	560	4.02	13.25	0.15	0.1	67.2	3.8	73	56.5	39.8	3.25	18.25	0.21
<b>SG-H1-YG</b>	0.019	0.09	8.52	282	620	4.37	9.41	0.02	0.05	73.2	9.2	82	56.9	70.7	4.07	22.7	0.2
<b>SG-H2-YG</b>	0.015	0.04	7.92	263	580	3.42	5.78	0.02	0.03	63.7	8.3	76	52	67.8	3.92	19.9	0.2
<b>SG-S1-YG</b>	0.029	0.12	8.04	240	600	3.27	4.55	0.54	0.08	70.1	9.2	81	38.3	51.3	4.16	22	0.21
<b>AM-CT1-YG</b>	<0.005	0.07	7.94	33	600	2.5	0.4	0.02	0.11	61.9	7.2	87	11.65	24.3	4.52	21.3	0.19
<b>VP-A1-YF</b>	4.18	54.2	0.83	>10000	90	1.83	164	0.01	9.96	24.1	4.1	9	6.9	175.5	31.6	2.75	0.26
<b>VP-A2-YF</b>	2.63	58.4	1.01	1220	80	3.03	195.5	0.01	<0.02	22.1	4.4	9	10.5	148.5	28.7	3.48	0.22
<b>VP-A3-YF</b>	2.35	23.4	8.15	3450	720	15.7	116	0.03	5.72	61.8	0.5	71	45.1	56.2	4.07	21.6	0.22
<b>VP-A4-YF</b>	1.83	9.55	6.26	533	570	7.58	50.5	0.03	<0.02	75.4	0.9	60	26.5	89.3	4.02	17.45	0.21
<b>VP-B1-YF</b>	0.881	2.66	4.61	3370	310	15.55	94.8	0.03	7.05	43.5	13	48	35.4	426	9.59	12.9	0.2
<b>VP-B2-YF</b>	0.849	2.82	4.52	3160	300	13.2	87.5	0.03	7.59	47.6	18.8	47	36.2	422	9.48	13.1	0.2
<b>VP-C1-YF</b>	<0.005	0.26	8.46	211	590	5.79	2.57	0.02	0.49	142	226	78	45.5	77.8	4.97	22	0.66
<b>VP-C2-YF</b>	0.014	0.09	9.01	113.5	590	5.26	3.96	0.01	0.21	160.5	55.7	81	57.4	100.5	4.99	22.1	0.33
<b>VP-C3-YF</b>	0.013	0.27	7.52	403	550	7.02	5.7	0.01	8.93	112.5	79.2	73	65.8	112.5	5.88	21.1	0.41
<b>VP-D1-YF</b>	0.029	0.45	8.56	548	600	5.04	7.12	0.02	1.45	118.5	44.7	83	31.6	98.1	4.17	24	0.17
<b>VP-E1-YF</b>	0.728	0.64	9.45	2020	480	9.01	73.9	0.02	2.08	138	22.9	93	72.5	489	6.92	26.3	0.37
<b>VP-S1-YF</b>	0.021	0.15	7.05	108.5	460	2.87	1	0.02	0.23	93.3	10.3	75	43.7	42.1	3.68	18.75	0.13
<b>VP-SA-YF</b>	0.184	1.62	2.14	2770	140	3.94	16.7	0.02	1.67	20.7	1.1	24	21.1	285	33.4	6.54	0.47
<b>SG-A1-YF</b>	0.045	1.42	6.86	834	540	4.39	17.1	0.13	0.09	70.6	3.8	72	64.5	77.7	5.9	21.2	0.1

Métodos	Au-AA23	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61
Amostras	Au	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Ga	Ge
	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm
<b>SG-B1-YF</b>	0.101	1.96	6.99	4300	520	4.58	65.3	0.26	0.05	68.5	2.5	71	84.1	39	5.01	22.4	0.11
<b>SG-B2-YF</b>	0.085	2.36	6.68	2100	480	4.21	50.3	0.27	0.02	65.3	2.2	65	74.9	63.1	5.08	21.4	0.1
<b>SG-C1-YF</b>	0.052	0.65	7.58	828	520	7.22	48.6	0.02	0.65	87.5	78.1	70	76.8	169	6.47	22.4	0.17
<b>SG-D1-YF</b>	0.038	0.58	6.82	1510	590	4.98	46.8	0.04	<0.02	76.6	21.4	58	51	93.8	4.38	18.85	0.18
<b>SG-D3-YF</b>	0.042	0.79	8.28	494	640	4.09	12.3	0.07	0.17	95.7	22.5	101	54.6	97.8	4.68	23.4	0.13
<b>SG-E1-YF</b>	0.08	3.52	7.9	788	640	4.05	49.1	0.15	0.12	74.9	5.3	85	60.6	102	5.11	23.3	0.12
<b>SG-F1-YF</b>	0.425	6.08	4.11	3840	370	3.91	247	0.11	0.42	45.9	7.9	42	37.1	199	7.21	13	0.08
<b>SG-F2-YF</b>	0.26	2.82	5.87	2370	740	5.53	151.5	0.21	0.27	100.5	16.2	122	57.2	151	6.72	17.15	0.12
<b>SG-G1-YF</b>	0.088	1.66	6.5	1520	860	3.83	65.5	0.29	0.1	106.5	8.7	129	59.2	73.9	4.84	18.65	0.12
<b>SG-H1-YF</b>	0.025	0.12	7.81	453	480	4.53	20.4	0.02	0.03	87.5	16.3	67	59.5	120	4.17	20.8	0.15
<b>SG-H2-YF</b>	0.024	0.07	7.96	277	460	3.29	11.6	0.02	0.02	84.2	13.6	73	52.4	81.8	4.19	20.1	0.12
<b>SG-S1-YF</b>	0.02	0.27	7.56	204	540	3.33	3.41	0.13	0.07	73.5	11.8	78	30.6	44.1	4.79	19.95	0.1
<b>AM-CT1-YF</b>	<0.005	0.25	6.89	50.8	490	2.38	0.48	0.04	0.11	68.7	8.2	76	15.55	30	3.88	19.9	0.22

Métodos	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61
Amostras	Hf	In	K	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Nb	Ni	P	Pb	Rb	Re	S	Sb
	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm
<b>VP-A1-YG</b>																	
<b>VP-A2-YG</b>	0.6	9.19	1.36	9	43.8	0.12	595	0.96	0.04	0.2	57.3	140	884	255	0.009	>10.0	12.6
<b>VP-A3-YG</b>	2.8	0.508	2.59	23.5	59.1	0.36	119	1.06	0.08	7.9	4.2	210	424	213	0.002	0.44	8

Métodos	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61
Amostras	Hf	In	K	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Nb	Ni	P	Pb	Rb	Re	S	Sb
	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm
<b>VP-A4-YG</b>	2.9	0.151	2.78	22.1	74.4	0.37	80	0.76	0.09	8.7	3.1	100	285	299	0.002	0.38	5.59
<b>VP-B1-YG</b>	1.9	4.04	2.25	18.3	146.5	0.56	284	1.13	0.15	6.4	11.9	680	208	318	0.004	0.1	3.2
<b>VP-B2-YG</b>	1.8	4.28	1.83	20.3	113	0.47	290	1.2	0.14	6.3	14.9	790	153	251	<0.002	0.1	3.43
<b>VP-C1-YG</b>	4.1	0.207	2.65	138	108.5	0.77	483	1.01	0.18	12.8	33.9	570	15.5	184	<0.002	0.01	0.45
<b>VP-C2-YG</b>	3.9	0.163	2.78	50.7	118.5	0.56	503	0.6	0.08	12.5	42.3	400	9	209	<0.002	0.02	0.18
<b>VP-C3-YG</b>	4.6	0.265	2.94	65	129.5	0.85	515	1.02	0.2	12	32.3	800	13.1	238	0.003	0.01	0.37
<b>VP-D1-YG</b>	3.3	0.24	2.6	37.8	81.5	0.75	160	0.97	0.12	10.6	26.9	420	23	205	<0.002	0.01	1.08
<b>VP-E1-YG</b>	4	1.545	3.98	41.1	214	0.79	274	2.13	0.12	10	37.2	870	1080	520	0.002	0.02	18
<b>VP-S1-YG</b>	3.9	0.161	2.62	23	60.6	0.52	138	0.97	0.07	11.5	24.8	460	28.1	144.5	<0.002	0.02	0.64
<b>VP-SA-YG</b>	3.8	0.762	4.16	23.7	259	1.63	526	1.23	0.18	26.5	11.2	1080	175	640	<0.002	0.4	1.83
<b>SG-A1-YG</b>	3.5	0.183	2.72	32.3	146.5	0.97	272	1.16	1.04	11.6	21	960	17.6	288	<0.002	0.18	0.5
<b>SG-B1-YG</b>	3.6	0.193	2.98	34.6	157.5	1.05	268	0.95	0.88	12.5	19	900	9.7	421	0.002	0.11	0.46
<b>SG-B2-YG</b>	3.5	0.171	2.72	30.9	136.5	1.05	264	1.38	0.8	12.9	15	820	16.7	315	<0.002	0.12	0.75
<b>SG-C1-YG</b>	3.2	0.178	2.33	33.6	119	0.77	519	1.68	0.31	10.3	27.7	700	20.3	265	0.003	0.01	0.43
<b>SG-D1-YG</b>	3.7	0.284	2.63	36.3	146.5	0.9	280	0.81	0.26	12	15.9	460	41.1	293	0.003	0.01	0.62
<b>SG-D3-YG</b>	4.5	0.176	2.94	42.2	124	1.06	317	1.37	0.38	13	34.8	730	48.4	262	0.002	0.02	1.53
<b>SG-E1-YG</b>	3.7	0.173	2.95	30	111	0.97	297	1.28	0.58	12.1	13.8	790	31.1	263	0.002	0.14	2.96
<b>SG-F1-YG</b>	2.1	0.211	1.65	21.2	79.9	0.54	321	3.1	0.37	16.6	24.7	1110	113	199	0.015	0.12	1.21
<b>SG-F2-YG</b>	3.2	0.2	2.25	29.5	103	0.8	350	2.07	0.37	15.2	27.6	880	36.6	246	0.008	0.04	0.63
<b>SG-G1-YG</b>	3.3	0.182	2.59	30.3	147	0.95	219	1.72	0.47	12.6	18.7	900	20.5	292	0.002	0.04	1.08
<b>SG-H1-YG</b>	4	0.227	2.93	38.5	148.5	0.97	251	0.83	0.18	12.8	24.7	370	37.3	280	0.003	0.01	1.43
<b>SG-H2-YG</b>	3.5	0.17	2.48	25.9	115.5	0.86	329	0.78	0.22	11.3	28.4	370	9.3	233	<0.002	0.01	0.21

Métodos	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61
Amostras	Hf	In	K	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Nb	Ni	P	Pb	Rb	Re	S	Sb
	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm
<b>SG-S1-YG</b>	3.7	0.151	2.59	32.8	94.3	0.89	266	1.17	0.38	11.3	26.8	550	32.8	199.5	0.004	0.02	0.73
<b>AM-CT1-YG</b>	3.4	0.08	2.27	30	59	0.99	246	0.97	0.43	11.2	34.5	340	12.2	122.5	<0.002	0.01	0.5
<b>VP-A1-YF</b>	0.5	1.695	0.48	10.5	23.8	0.07	360	0.59	0.02	0.5	78.6	100	502	84.5	0.011	>10.0	6.13
<b>VP-A2-YF</b>	0.3	3.39	0.85	9.7	31.2	0.08	178	0.6	0.02	1.5	83.8	50	712	174	0.013	>10.0	7.58
<b>VP-A3-YF</b>	3.7	1.87	3.77	34	114.5	0.52	241	0.76	0.14	11.8	3.9	350	739	406	0.011	1.19	17.35
<b>VP-A4-YF</b>	3	0.406	2.81	35.1	71.1	0.38	295	0.78	0.12	12.9	9.6	130	704	241	0.017	2.85	8.56
<b>VP-B1-YF</b>	1.4	10	1.63	23.3	97.5	0.42	332	1.69	0.11	5.5	16.7	1380	326	219	0.005	0.12	4.93
<b>VP-B2-YF</b>	1.6	10.5	1.56	25.8	94.1	0.41	364	1.89	0.11	6.2	20.9	1410	307	212	0.003	0.09	5.35
<b>VP-C1-YF</b>	3.9	0.151	2.37	222	114	0.73	1340	1.43	0.19	12	40.5	660	24.2	183.5	<0.002	0.02	0.52
<b>VP-C2-YF</b>	3.9	0.259	2.59	71.1	111.5	0.61	630	0.68	0.07	12.1	44.7	530	15.8	218	<0.002	0.03	0.24
<b>VP-C3-YF</b>	3.6	0.562	2.37	105	129	0.76	840	1.42	0.21	11.1	45.9	900	23.8	204	0.002	0.01	0.48
<b>VP-D1-YF</b>	4.2	1.04	2.79	62.1	91.4	0.69	434	1.55	0.14	12.5	36.1	710	61.2	215	<0.002	0.02	2.24
<b>VP-E1-YF</b>	4.3	1.47	2.67	53.4	158	0.74	355	1.87	0.09	11.2	37	670	629	320	0.002	0.03	9.74
<b>VP-S1-YF</b>	3.2	0.112	1.85	28.1	64.4	0.37	155	1.03	0.09	10.4	24.8	400	37.2	132.5	<0.002	0.04	0.78
<b>VP-SA-YF</b>	0.9	2.22	0.91	9.6	37.4	0.17	128	0.79	0.09	5.3	5.1	1230	182	105	0.004	0.88	1.89
<b>SG-A1-YF</b>	3.8	0.272	2.53	33.3	131.5	0.86	238	1.87	0.54	14.2	14.5	1280	91.3	273	0.002	0.24	1.54
<b>SG-B1-YF</b>	3.5	0.271	2.72	34.4	137.5	0.92	306	1.86	0.44	14.5	13.5	1570	106	361	0.007	0.34	2.53
<b>SG-B2-YF</b>	3.4	0.277	2.5	31.5	131	0.89	328	2.11	0.44	20.1	11.8	1730	74.4	313	0.01	0.38	1.84
<b>SG-C1-YF</b>	3.6	0.218	2.32	38.7	111.5	0.74	1080	2.61	0.33	12.7	54.9	1180	60.7	261	0.004	0.04	1.68
<b>SG-D1-YF</b>	3.2	0.296	1.96	49.3	119.5	0.68	433	1.59	0.17	11.7	21.4	970	94.9	223	0.011	0.02	1.66
<b>SG-D3-YF</b>	4.8	0.2	2.62	44.9	108.5	1	450	1.45	0.24	13.5	38.3	860	83.8	222	<0.002	0.03	1.68

Métodos	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61
Amostras	Hf	In	K	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Nb	Ni	P	Pb	Rb	Re	S	Sb
	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm
<b>SG-E1-YF</b>	4	0.258	3.06	35	113	0.92	259	3.06	0.32	16.9	16.9	1460	166.5	271	0.006	0.32	13.65
<b>SG-F1-YF</b>	1.8	0.317	1.34	21.8	59.6	0.4	470	5.34	0.2	34.7	20.4	2120	288	164.5	0.018	0.15	2.61
<b>SG-F2-YF</b>	4.5	0.293	1.83	45.7	92.2	1.11	588	3.73	0.25	29.7	49.2	1860	132	208	0.014	0.14	1.83
<b>SG-G1-YF</b>	5.4	0.26	2.56	50.6	128	1.31	308	3.16	0.27	14.2	34.7	2180	133	268	0.006	0.32	4.03
<b>SG-H1-YF</b>	4.1	0.251	2.23	46.3	127	0.81	319	1.03	0.13	12.4	29.2	560	73	226	0.002	0.01	1.93
<b>SG-H2-YF</b>	4	0.141	2	31.8	102	0.81	348	0.94	0.18	11.1	33.8	490	20.8	185.5	<0.002	0.02	0.58
<b>SG-S1-YF</b>	4.1	0.117	2.21	36.1	72.2	0.9	376	0.92	0.24	11	28.7	530	33.2	148	<0.002	0.01	0.85
<b>AM-CT1-YF</b>	3.1	0.086	1.62	30.8	61.2	0.57	287	1.11	0.33	12.4	28.6	460	22.2	111.5	<0.002	0.05	0.64

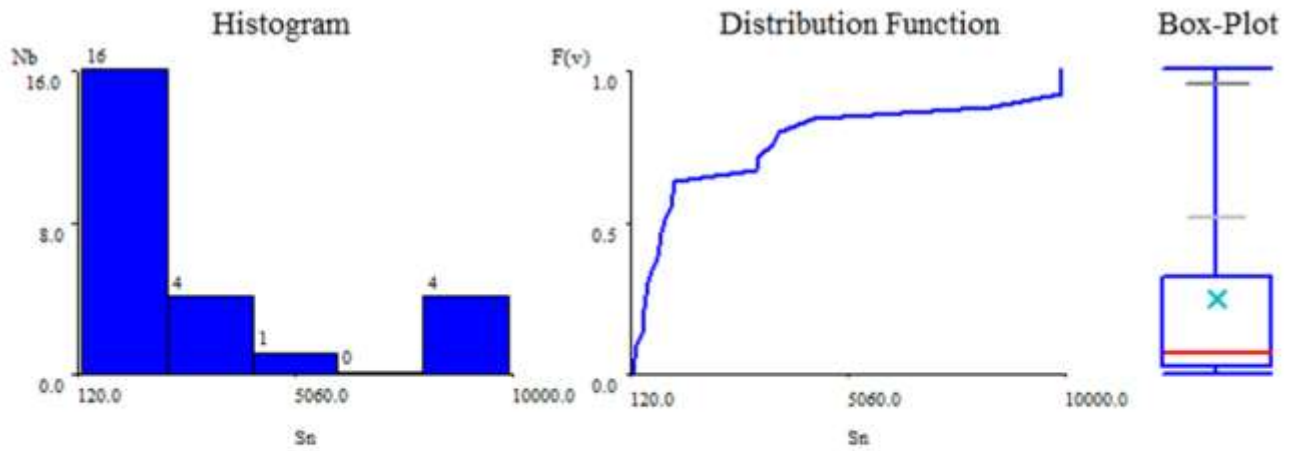
Métodos	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS85	ME-MS85
Amostras	Sc	Se	Sn	Sr	Ta	Te	Th	Ti	Tl	U	V	W	Y	Zn	Zr	Sn	W
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
<b>VP-A1-YG</b>																	
<b>VP-A2-YG</b>	2.9	11	>500	15.8	<0.05	0.41	1.8	0.069	15	0.4	16	2910	8.4	219	19.1	>10000	>10000
<b>VP-A3-YG</b>	12.1	2	126.5	29.8	0.55	0.17	4.9	0.298	2.57	1.8	93	520	8.8	44	94.7	683	508
<b>VP-A4-YG</b>	12	1	126	23.1	0.61	0.11	4.7	0.337	2.64	1.7	93	275	7.5	35	105	389	311
<b>VP-B1-YG</b>	10.3	1	394	35.9	0.4	0.35	5.1	0.233	1.99	2.3	80	600	10.4	251	72.6	2920	629
<b>VP-B2-YG</b>	9.2	2	243	33.8	0.36	0.3	5	0.21	1.76	2.3	68	750	10.3	280	67.6	2960	769
<b>VP-C1-YG</b>	17.4	2	33	46.6	0.88	0.06	9.4	0.473	1.47	3.7	134	28.6	75.3	311	151	414	31
<b>VP-C2-YG</b>	15.8	1	48.3	42.7	0.87	0.05	8.3	0.473	1.74	3.2	126	27.9	23.6	390	142.5	286	39

Métodos	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS85	ME-MS85
Amostras	Sc	Se	Sn	Sr	Ta	Te	Th	Ti	Tl	U	V	W	Y	Zn	Zr	Sn	W	
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
<b>VP-C3-YG</b>	16.6	2	67.8	50.5	0.79	0.08	10.2	0.455	1.98	3.8	126	149.5	47.8	348	143.5	816	152	
<b>VP-D1-YG</b>	15	1	40.3	40.3	0.72	0.06	8.6	0.403	1.1	2.9	104	38.1	18.4	136	123	120	42	
<b>VP-E1-YG</b>	20.7	2	369	51.4	0.62	0.7	12.2	0.385	3.27	5.4	156	268	29.3	248	163	620	323	
<b>VP-S1-YG</b>	16.5	1	13.2	25.3	0.79	0.07	10.3	0.458	0.86	3.3	126	39.5	13.6	132	145	961	46	
<b>VP-SA-YG</b>	15.5	1	187.5	44.6	4.14	0.07	9.9	0.431	4.39	3.2	119	202	12.9	689	136.5	310	235	
<b>SG-A1-YG</b>	15	<1	26.5	69.8	0.84	<0.05	8.6	0.375	1.91	2.7	104	37.3	12.3	153	127.5	20	34	
<b>SG-B1-YG</b>	16.7	<1	41.3	69.8	0.86	<0.05	9.2	0.415	3.07	2.7	109	83.3	14.1	72	130.5	32	68	
<b>SG-B2-YG</b>	15.1	<1	32.1	63.3	1.01	0.08	8.3	0.398	2.11	2.7	108	253	12.7	63	130	28	259	
<b>SG-C1-YG</b>	12.4	1	29.5	42.1	0.78	0.07	8.3	0.352	2.53	3.1	90	299	15.9	137	117.5	15	285	
<b>SG-D1-YG</b>	15	3	36.5	40	0.83	0.05	9.1	0.405	1.98	3.2	101	520	19.4	138	133.5	32	628	
<b>SG-D3-YG</b>	16.8	1	26	52.3	0.9	0.07	12.2	0.448	1.79	3.5	122	206	16	159	160	25	224	
<b>SG-E1-YG</b>	15.5	1	29.4	62.1	0.86	<0.05	8.6	0.419	1.66	2.8	111	66.2	13.2	165	131	28	72	
<b>SG-F1-YG</b>	9.3	1	22.2	43.9	1.49	0.18	5.3	0.241	1.6	2	67	3070	10.1	83	85	22	3100	
<b>SG-F2-YG</b>	12.6	1	26.7	46.9	1.15	0.14	9.1	0.346	1.81	3	91	1230	16.5	111	120	25	1090	
<b>SG-G1-YG</b>	13.4	1	32.2	52	0.83	0.05	8.7	0.373	2.02	2.7	91	220	11.8	80	127.5	27	215	
<b>SG-H1-YG</b>	18.5	2	32.6	41.2	0.91	<0.05	10.4	0.448	1.86	5.5	119	116.5	22.1	153	147	28	132	
<b>SG-H2-YG</b>	15.4	1	28.6	30.3	0.75	0.05	10	0.422	1.73	3.3	107	19.6	13.7	115	131.5	25	18	
<b>SG-S1-YG</b>	16.2	1	18.5	46.1	0.82	0.07	9.6	0.412	1.2	3.1	115	118	13.4	120	137	17	107	
<b>AM-CT1-YG</b>	15.9	1	15	32	0.77	<0.05	7.5	0.428	0.68	2.4	121	5.8	14.9	126	135.5	90	4	
<b>VP-A1-YF</b>	1.7	20	>500	5.8	<0.05	0.4	1.8	0.054	9.74	0.3	11	3430	6	290	15.9	>10000	7170	
<b>VP-A2-YF</b>	1.8	16	>500	6.6	<0.05	0.26	1.6	0.052	13	0.3	13	2600	2.7	167	11.1	>10000	3760	
<b>VP-A3-YF</b>	15.2	6	>500	50.3	0.89	0.37	5.4	0.434	7.11	2.1	118	2420	9.8	89	122.5	4260	2400	

Métodos	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS85	ME-MS85
Amostras	Sc	Se	Sn	Sr	Ta	Te	Th	Ti	Tl	U	V	W	Y	Zn	Zr	Sn	W		
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
<b>VP-A4-YF</b>	13.8	3	225	35.3	0.88	0.18	5.7	0.392	3.72	1.9	94	4400	12.9	40	94.6	8380	4550		
<b>VP-B1-YF</b>	8.5	2	332	33.8	0.29	0.57	4.9	0.18	1.81	3.1	69	1130	11.5	423	56.8	3290	1080		
<b>VP-B2-YF</b>	9	3	278	34	0.33	0.63	5.1	0.177	1.74	3.1	68	1020	12.7	432	61.4	3460	1110		
<b>VP-C1-YF</b>	16.4	5	29.2	43.7	0.82	0.05	9.9	0.432	1.85	4.1	113	21.9	141	334	139	142	21		
<b>VP-C2-YF</b>	16.6	1	41.8	43.5	0.85	<0.05	10.9	0.456	1.94	3.7	122	48.9	41.7	426	146	340	84		
<b>VP-C3-YF</b>	15	3	56.9	42.8	0.72	0.08	9.6	0.386	2.18	4.3	103	169.5	91.5	422	133	521	197		
<b>VP-D1-YF</b>	18.2	2	53.4	51.3	0.85	0.06	11.2	0.421	1.49	4.6	118	180	39.7	192	141	718	162		
<b>VP-E1-YF</b>	19.2	3	317	49.5	0.81	0.36	12.8	0.398	2.83	5.5	139	257	26.9	199	136	1020	264		
<b>VP-S1-YF</b>	13.3	2	19.7	27.8	0.79	<0.05	8.7	0.402	1.26	3	97	56.9	11.9	159	119	124	55		
<b>VP-SA-YF</b>	4.5	2	69.1	14.4	0.85	0.14	3.9	0.091	0.75	1.6	32	780	4.4	642	29.8	981	851		
<b>SG-A1-YF</b>	14.8	1	24.3	58.2	1.22	0.07	11.2	0.346	2.02	3.3	98	431	12.8	125	125.5	27	442		
<b>SG-B1-YF</b>	15.4	2	39.7	76.2	1.23	0.16	8.8	0.381	3.1	2.8	102	1120	13.9	70	119	44	1170		
<b>SG-B2-YF</b>	14	2	36.6	73.4	1.77	0.12	8.6	0.35	2.59	2.7	93	1650	13.6	67	110.5	39	1870		
<b>SG-C1-YF</b>	15.4	2	26.4	43.9	1.03	0.16	10.2	0.329	3.5	5.4	97	590	27.9	179	121.5	31	654		
<b>SG-D1-YF</b>	12.3	2	28.6	35.9	0.81	0.14	9	0.306	1.66	4.6	81	1860	42.1	133	108	31	1860		
<b>SG-D3-YF</b>	17.4	1	20.3	46.4	0.97	0.07	12.5	0.445	1.66	4.1	121	222	22.7	164	157.5	21	225		
<b>SG-E1-YF</b>	16.9	2	28.6	69.3	1.24	0.13	10.7	0.413	2.23	3.7	118	730	14.6	87	144	36	824		
<b>SG-F1-YF</b>	7.7	3	19.3	33.7	3.44	0.49	5.2	0.184	1.82	2.5	56	4740	13.2	101	61	27	6250		
<b>SG-F2-YF</b>	12.3	2	26.6	52.5	2.68	0.28	14.7	0.351	2.04	4.8	90	3170	17.7	173	141	33	3430		
<b>SG-G1-YF</b>	13.8	2	26.8	81.6	1.04	0.1	16.1	0.408	2.37	4.2	107	431	14.6	115	178	32	455		
<b>SG-H1-YF</b>	17.1	2	24.1	37.1	1.02	0.06	11.4	0.371	1.63	6.3	100	384	38	167	150	28	407		
<b>SG-H2-YF</b>	14.6	1	17.6	30.8	0.79	<0.05	11.6	0.38	1.42	3.6	99	92.1	17	124	125	19	100		

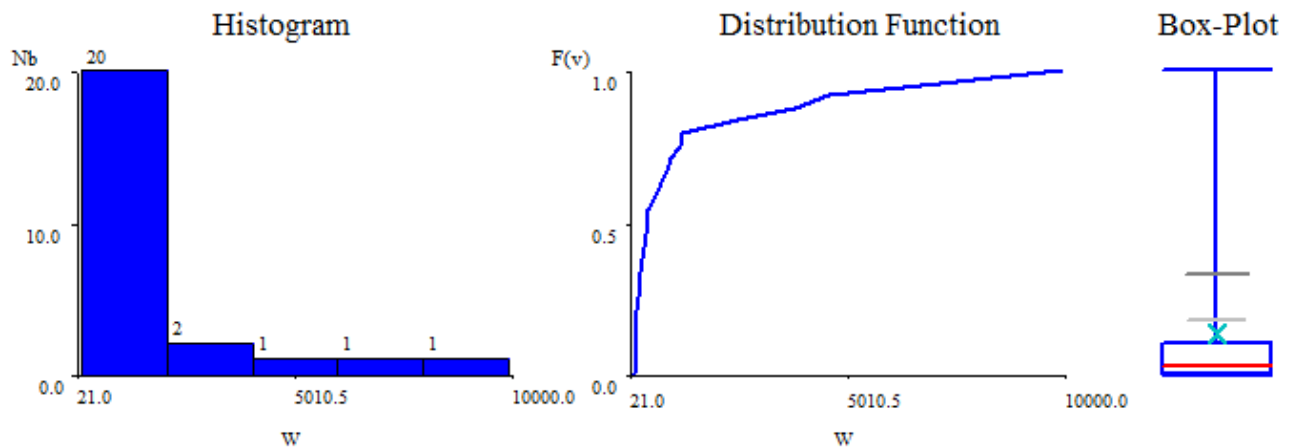
Métodos	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS61	ME-MS85	ME-MS85
Amostras	Sc	Se	Sn	Sr	Ta	Te	Th	Ti	Tl	U	V	W	Y	Zn	Zr	Sn	W
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
<b>SG-S1-YF</b>	14.4	1	11.2	30.1	0.88	<0.05	9.3	0.453	0.99	3.2	112	115	14.3	122	129	23	88
<b>AM-CT1-YF</b>	14.9	1	13.8	32	0.87	0.06	9.2	0.41	0.75	2.9	98	16	14.4	110	111	18	26

## Anexo V - Análise univariada de Sn e W presente nas amostras de VP



### UNIVARIATE STATISTICS

Samples : 25	Minimum : 120.0	75 Perc : 3290.0	ANOMALOUS
Mean : 2548.6	5 Perc : 124.0	85 Perc : 8380.0	Large Maximum : 9519.0
Variance : 10878710.0	15 Perc : 286.0	95 Perc : 10000.0	Minimum : -7887.0
St. Dev. : 3298.29	25 Perc : 389.0	Maximum : 10000.0	Small Maximum : 5167.5
Coef.Var. : 1.29	Median : 816.0	Coef.Skewness : 1.45	Minimum : -3535.5

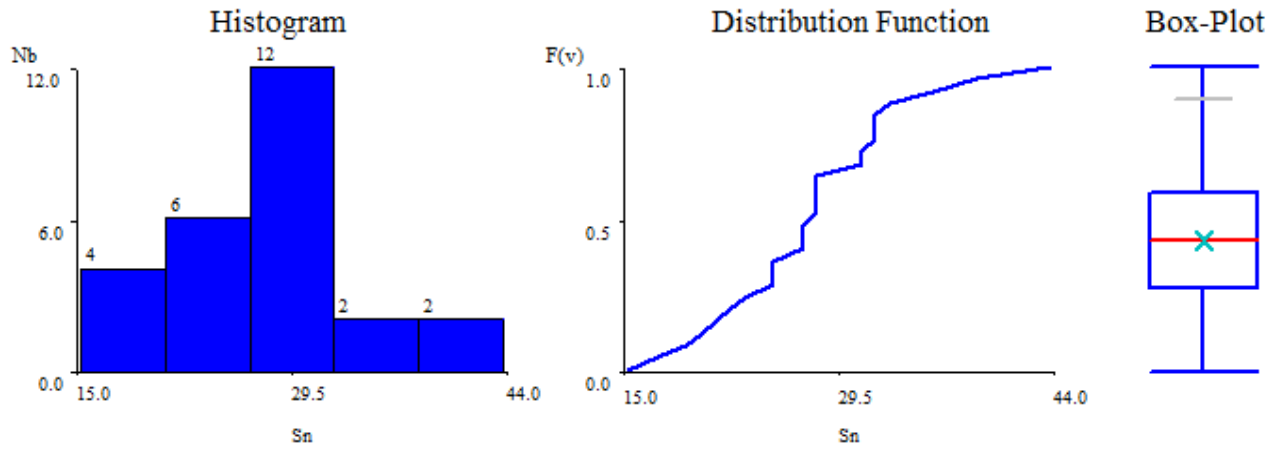


### UNIVARIATE STATISTICS

Samples : 25	Minimum : 21.0	75 Perc : 1080.0	ANOMALOUS
Mean : 1391.56	5 Perc : 31.0	85 Perc : 3760.0	Large Maximum : 3299.0
Variance : 5935872.0	15 Perc : 42.0	95 Perc : 7170.0	Minimum : -2677.0
St. Dev. : 2436.36	25 Perc : 84.0	Maximum : 10000.0	Small Maximum : 1805.0
Coef.Var. : 1.75	Median : 311.0	Coef.Skewness : 2.34	Minimum : -1183.0

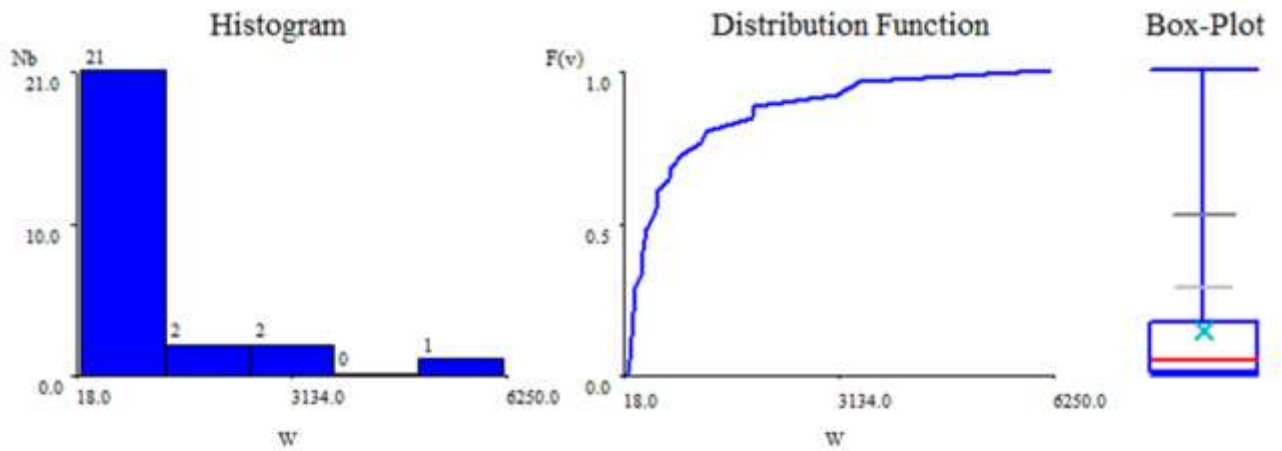


## Anexo VI - Análise univariada de Sn e W presente nas amostras de SG



### UNIVARIATE STATISTICS

Samples : 26	Minimum : 15.0	75 Perc : 32.0	ANOMALOUS
Mean : 27.5	5 Perc : 17.0	85 Perc : 33.0	Large Maximum : 54.5
Variance : 42.33	15 Perc : 20.0	95 Perc : 39.0	Minimum : 0.5
St. Dev. : 6.51	25 Perc : 23.0	Maximum : 44.0	Small Maximum : 41.0
Coef.Var. : 0.24	Median : 27.5	Coef. Skewness : 0.34	Minimum : 14.0



### UNIVARIATE STATISTICS

Samples : 26	Minimum : 18.0	75 Perc : 1090.0	ANOMALOUS
Mean : 923.35	5 Perc : 34.0	85 Perc : 1870.0	Large Maximum : 3295.0
Variance : 1931018.0	15 Perc : 72.0	95 Perc : 3430.0	Minimum : -2603.0
St. Dev. : 1389.61	25 Perc : 107.0	Maximum : 6250.0	Small Maximum : 1820.5
Coef.Var. : 1.5	Median : 346.0	Coef. Skewness : 2.47	Minimum : -1128.5



## Anexo VII - Matriz das coordenadas nos 7 eixos factoriais da ACP para a mina de SG

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
<b>Au</b>	0.966	0.0674	-0.0211	-0.1465	-0.0477	-0.0378	-0.1092
<b>Ag</b>	0.9207	0.0848	0.2435	-0.1672	0.1812	0.0283	-0.091
<b>As</b>	0.8022	-0.1036	0.4112	0.0262	-0.1353	-0.0977	0.1524
<b>Ce</b>	-0.2865	0.8932	-0.0468	-0.0702	-0.2451	-0.0559	0.1414
<b>Cu</b>	0.7476	0.3994	-0.3713	0.1449	-0.0108	0.2709	-0.0606
<b>Fe</b>	0.811	0.386	0.0347	-0.0965	-0.0916	0.3086	0.0729
<b>Ga</b>	-0.7309	0.2803	0.3968	0.0718	0.2417	0.2895	0.0244
<b>Ge</b>	-0.5184	-0.4182	-0.1873	0.1872	-0.3188	-0.0591	-0.5266
<b>Hf</b>	-0.5433	0.7715	0.0761	-0.2616	-0.0457	-0.1493	0.0158
<b>In</b>	0.6343	0.3925	0.3984	0.425	0.076	-0.1835	-0.1176
<b>La</b>	-0.2632	0.8491	0.0131	0.2326	-0.1164	-0.2385	0.1346
<b>Li</b>	-0.6382	-0.0742	0.5771	0.3078	-0.2068	-0.114	-0.1244
<b>Nb</b>	0.8984	0.1984	0.0965	-0.1565	-0.0466	-0.0406	-0.1967
<b>Ni</b>	0.1018	0.6193	-0.5393	-0.1036	-0.4029	0.3012	0.0038
<b>P</b>	0.74	0.2854	0.4908	-0.2008	-0.1335	-0.0582	0.1433
<b>Pb</b>	0.8572	0.3437	0.1386	-0.0296	0.2561	-0.0323	-0.0113
<b>Rb</b>	-0.357	-0.2386	0.8139	0.1339	-0.3058	0.054	-0.1192
<b>Sb</b>	0.1758	0.3418	0.3967	-0.2032	0.5685	0.1623	-0.1254
<b>Sc</b>	-0.8405	0.2792	0.2151	0.0179	0.1847	0.2088	-0.1303
<b>Se</b>	0.5122	0.4412	0.1772	0.4612	0.267	-0.071	-0.2513
<b>Sr</b>	-0.0491	0.0045	0.8642	-0.3012	-0.1884	-0.0808	0.0469
<b>Ta</b>	0.9215	0.16	0.0774	-0.1344	-0.0411	-0.0121	-0.1363
<b>Te</b>	0.9634	0.1279	0.0121	0.0028	-0.0491	0.0558	-0.0898
<b>Th</b>	-0.271	0.8705	-0.0137	-0.2416	-0.1705	-0.1562	0.0117
<b>Ti</b>	-0.8778	0.2268	0.1271	-0.2347	0.1031	-0.0367	-0.174
<b>Tl</b>	0.0737	0.0288	0.7318	0.1979	-0.4427	0.4308	0.0263
<b>V</b>	-0.8409	0.2782	0.1738	-0.2612	0.1753	0.1151	-0.1746
<b>Y</b>	-0.1213	0.4906	-0.2896	0.7189	0.0788	-0.0272	0.2036
<b>Zn</b>	-0.1424	0.5946	-0.5767	0.1824	-0.0851	0.1143	-0.2686
<b>Zr</b>	-0.7054	0.6027	0.0727	-0.2241	-0.05	-0.1587	-0.1633
<b>Sn</b>	0.234	0.2209	0.8255	0.2219	0.0522	-0.0263	-0.0313
<b>W</b>	0.9784	0.0332	-0.0257	0.0535	-0.0116	-0.0806	-0.0782
<b>GA1F</b>	0.0313	0.027	0.2107	-0.0876	0.078	0.0286	0.1719
<b>GB1F</b>	0.2419	-0.0914	0.9733	0.107	-0.0031	0.0422	0.1566
<b>GB2F</b>	0.3946	-0.1636	0.7054	0.0557	0.0763	-0.0193	0.1347
<b>GC1F</b>	0.1032	0.4906	-0.0996	0.3582	-0.3397	0.7042	0.071
<b>GD1F</b>	0.1981	0.1346	-0.1929	0.7371	0.1086	-0.2575	0.2529
<b>GD3F</b>	-0.4665	0.6396	-0.2475	-0.2089	0.0507	0.0774	0.0698
<b>GE1F</b>	0.1328	0.4051	0.6618	-0.2886	0.7105	0.2301	-0.1666

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
<b>GF1F</b>	2.5258	-0.3348	-0.1747	0.0741	0.2758	0.0678	-0.0962
<b>GF2F</b>	0.997	0.9313	-0.122	-0.2499	-0.3859	-0.1048	-0.1495
<b>GG1F</b>	-0.0757	0.9204	0.4542	-0.3478	-0.218	-0.3377	0.144
<b>GH1F</b>	-0.2973	0.5229	-0.2701	0.429	0.1326	-0.0818	0.0508
<b>GH2F</b>	-0.3472	-0.0051	-0.5354	-0.1858	0.0675	0.0524	0.2724
<b>GS1F</b>	-0.3542	-0.0431	-0.5507	-0.3603	0.3206	-0.0022	0.2738
<b>GA1G</b>	-0.446	-0.3411	0.0071	-0.1164	-0.142	-0.0058	-0.0225
<b>GB1G</b>	-0.5707	-0.3459	0.5889	0.0064	-0.3563	0.0958	-0.0332
<b>GB2G</b>	-0.3796	-0.4803	0.274	-0.1547	-0.072	-0.0554	0.0627
<b>GC1G</b>	-0.1882	-0.3681	-0.3292	0.0917	-0.269	0.1119	0.025
<b>GD1G</b>	-0.327	-0.0745	0.1032	0.4623	0.1071	-0.1865	-0.3309
<b>GD3G</b>	-0.5856	0.3391	-0.1246	-0.205	-0.119	-0.0024	-0.194
<b>GE1G</b>	-0.4525	-0.2794	-0.0157	-0.142	0.1727	-0.0235	-0.2106
<b>GF1G</b>	1.0783	-0.8554	-0.3859	-0.0807	-0.0288	-0.0333	0.0807
<b>GF2G</b>	0.2114	-0.3618	-0.2899	-0.0739	-0.199	-0.0631	-0.1024
<b>GG1G</b>	-0.2886	-0.5058	0.0912	-0.0052	-0.1067	-0.1636	0.033
<b>GH1G</b>	-0.594	0.1743	-0.0015	0.2052	0.1275	0.0226	-0.2767
<b>GH2G</b>	-0.4298	-0.3163	-0.3132	-0.0783	0.0563	0.0922	-0.067
<b>GS1G</b>	-0.4692	-0.1808	-0.3935	-0.2643	0.1654	0.0293	-0.0278
<b>GBFC</b>	0.3351	-0.1368	0.8063	0.0688	0.0473	0.0108	0.1542
<b>GBGC</b>	-0.4677	-0.4157	0.4204	-0.0827	-0.1986	0.0129	0.0256
<b>GDFC</b>	-0.1736	0.4172	-0.227	0.2011	0.0741	-0.0641	0.1595
<b>GDGC</b>	-0.4278	0.0952	0.0064	0.1892	0.0068	-0.1111	-0.2801
<b>GFFC</b>	1.4613	0.5414	-0.1383	-0.1488	-0.1829	-0.0539	-0.138
<b>GFGC</b>	0.4544	-0.5041	-0.3191	-0.0792	-0.1522	-0.0537	-0.0524
<b>GHFC</b>	-0.3254	0.2639	-0.3984	0.1219	0.108	-0.0184	0.1686
<b>GHGC</b>	-0.4987	-0.0984	-0.1736	0.0525	0.0873	0.06	-0.1589

## Anexo VIII - Matriz das coordenadas nos 7 eixos factoriais da ACP para a mina de VP

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
<b>Au</b>	-0.8897	0.096	0.335	-0.2186	0.0361	-0.1404	-0.1227
<b>Ag</b>	-0.8629	0.3647	0.205	-0.2256	-0.0554	-0.0217	0.0658
<b>As</b>	-0.7671	-0.1186	-0.0018	-0.3747	-0.0374	-0.2169	-0.4256
<b>Ce</b>	0.798	0.2637	-0.0038	-0.3355	-0.0154	-0.1283	0.1347
<b>Cu</b>	-0.109	-0.7309	-0.2314	-0.5523	-0.1102	0.0826	0.0073
<b>Fe</b>	-0.8389	0.2676	-0.074	-0.4257	-0.1621	0.0715	-0.0008
<b>Ga</b>	0.9555	-0.125	0.2115	-0.1214	-0.0606	-0.0346	-0.0185
<b>Ge</b>	0.5465	0.4094	-0.1091	-0.552	0.3922	0.175	-0.0767
<b>Hf</b>	0.9336	0.0994	0.2809	-0.0891	-0.0798	-0.0914	-0.0328
<b>In</b>	-0.5425	-0.5543	-0.4843	-0.086	0.1263	-0.2063	0.2441
<b>La</b>	0.6756	0.4649	-0.2111	-0.3017	0.4238	-0.0181	-0.0001
<b>Li</b>	0.6897	-0.4924	0.023	-0.3782	-0.0289	0.207	-0.0512
<b>Nb</b>	0.9342	0.0797	0.2278	0.0512	-0.0065	-0.202	0.0362
<b>Ni</b>	-0.2998	0.6231	-0.1638	-0.5833	-0.347	0.1366	0.0959
<b>P</b>	0.3257	-0.5846	-0.6613	-0.2322	0.0349	-0.157	0.047
<b>Pb</b>	-0.5922	-0.3014	0.5935	-0.3906	0.0875	0.0117	0.1193
<b>Rb</b>	0.1832	-0.6631	0.5825	-0.2286	0.0953	0.2249	0.0706
<b>Sb</b>	-0.4563	-0.4159	0.6732	-0.3404	0.1429	-0.0419	0.0311
<b>Sc</b>	0.9456	-0.0859	0.2592	-0.1418	-0.0547	-0.0495	-0.0115
<b>Se</b>	-0.7729	0.4602	0.0799	-0.3496	-0.0461	-0.0174	-0.1245
<b>Sr</b>	0.9004	-0.2482	0.0794	-0.1672	-0.0448	-0.2071	0.0339
<b>Ta</b>	0.9035	0.1327	0.3117	0.0594	0.0001	-0.2263	0.0117
<b>Te</b>	-0.5161	-0.7369	-0.0812	-0.3951	0.0651	-0.0465	-0.076
<b>Th</b>	0.9046	-0.0002	0.0411	-0.3402	-0.1862	0.0091	0.0346
<b>Ti</b>	0.9315	0.1419	0.2758	0.0217	-0.037	-0.1382	-0.0132
<b>Tl</b>	-0.8095	0.3146	0.3099	-0.2691	0.0021	0.005	0.1981
<b>V</b>	0.9369	-0.1477	0.2567	-0.1176	-0.0642	-0.0247	-0.0497
<b>Y</b>	0.6483	0.4602	-0.2694	-0.3478	0.3919	0.0223	0.0149
<b>Zn</b>	0.2583	-0.0369	-0.8011	-0.3861	-0.1366	-0.1387	-0.0005
<b>Zr</b>	0.9541	0.0514	0.2256	-0.1206	-0.0639	-0.0142	-0.045
<b>Sn</b>	-0.8974	0.1566	0.1349	-0.1303	0.0101	-0.204	0.1206
<b>W</b>	-0.8364	0.2398	0.2193	-0.1861	0.0546	-0.2662	0.0554
<b>VA2G</b>	-1.6529	0.1853	0.1334	-0.3195	0.0902	-0.1086	0.1965
<b>VA3G</b>	-0.0965	-0.0472	0.2732	0.5153	0.0808	0.0519	-0.0959
<b>VA4G</b>	0.0224	-0.0355	0.3068	0.5736	0.1193	0.2045	-0.0533
<b>VB1G</b>	-0.1415	-0.3992	-0.1197	0.2323	0.0342	0.1598	-0.0553
<b>VB2G</b>	-0.2231	-0.2988	-0.2543	0.2681	0.0192	0.0977	-0.0286
<b>VC1G</b>	0.8165	0.354	-0.0883	-0.0509	0.1282	-0.0233	-0.0515
<b>VC2G</b>	0.625	0.1674	-0.0345	0.1581	-0.2871	-0.0181	-0.0084

<b>VC3G</b>	0.7173	0.1156	-0.0595	0.0156	-0.1636	-0.052	-0.0046
<b>VD1G</b>	0.4378	0.154	0.0433	0.3406	-0.1588	0.0617	-0.0218
<b>VE1G</b>	0.4804	-0.7895	0.5409	-0.8682	-0.0542	0.2415	-0.0543
<b>VA1F</b>	-1.7168	0.5854	-0.1514	-0.3355	-0.1684	-0.0799	-0.4
<b>VA2F</b>	-1.52	0.5123	-0.0081	-0.1011	-0.1269	0.2967	0.2743
<b>VA3F</b>	-0.0209	-0.2836	0.7874	-0.0443	0.1668	-0.2453	-0.047
<b>VA4F</b>	-0.0912	0.052	0.5363	0.2748	0.1216	-0.2706	0.1151
<b>VB1F</b>	-0.4012	-0.5811	-0.5451	-0.0046	0.0463	-0.1076	0.0232
<b>VB2F</b>	-0.385	-0.5734	-0.5539	-0.0418	0.0383	-0.1478	0.0416
<b>VC1F</b>	0.8984	0.6097	-0.265	-0.3612	0.514	0.0611	-0.0239
<b>VC2F</b>	0.7536	0.2676	-0.1056	-0.0473	-0.2097	-0.0626	0.0908
<b>VC3F</b>	0.6533	0.2859	-0.2946	-0.1729	0.0434	0.0343	0.0273
<b>VD1F</b>	0.6716	0.1213	0.0616	0.1175	-0.2434	-0.155	0.0764
<b>VE1F</b>	0.6	-0.2916	0.2968	-0.4909	-0.1478	0.0334	0.0225
<b>VAGC</b>	-0.4318	0.0187	0.2568	0.3329	0.1055	0.1019	0.0064
<b>VAFC</b>	-0.8842	0.2301	0.272	-0.0701	-0.0087	-0.0656	-0.0264
<b>VBGC</b>	-0.1803	-0.3543	-0.1826	0.2483	0.0277	0.1321	-0.0433
<b>VBFC</b>	-0.3936	-0.577	-0.5475	-0.0182	0.0429	-0.124	0.0304
<b>VCGC</b>	0.7148	0.1977	-0.058	0.0456	-0.1275	-0.0332	-0.0179
<b>VCFC</b>	0.748	0.374	-0.2405	-0.1964	0.1175	0.017	0.0277

## Anexo IX - Caracterização granulométrica das amostras

Peneiro		VP-A1-X		VP-A2-X		VP-A3-X		VP-A4-X		VP-B1-X		VP-B2-X	
Número	Dimensão	Massa retida (g)	% Passa	Massa retida (g)	% Passa	Massa retida (g)	% Passa	Massa retida (g)	% Passa	Massa retida (g)	% Passa	Massa retida (g)	% Passa
<b>2"</b>	50.8	0	100.0%	0	100.0%	0	100.0%	0	100.0%	0	100.0%	0	100.0%
<b>1-1/2"</b>	38.1	0	100.0%	0	100.0%	0	100.0%	0	100.0%	0	100.0%	0	100.0%
<b>1"</b>	25.4	0	100.0%	0	100.0%	0	100.0%	216.06	89.5%	0	100.0%	0	100.0%
<b>3/4"</b>	19	0	100.0%	0	100.0%	44.64	97.7%	148.47	82.3%	0	100.0%	0	100.0%
<b>3/8"</b>	9.52	0	100.0%	110.02	95.7%	40.74	95.7%	179.21	73.5%	0	100.0%	0	100.0%
<b>#4</b>	4.75	0	100.0%	156.35	89.6%	35.26	93.9%	199.99	63.8%	1.21	100.0%	1.49	99.9%
<b>#10</b>	2	0.19	100.0%	249.58	79.9%	103.11	88.7%	207.50	53.7%	321.88	89.3%	277.97	89.3%
<b>#20</b>	0.85	166.35	93.6%	791.93	49.1%	135.65	81.8%	208.70	43.6%	977.61	57.1%	823.59	57.9%
<b>#40</b>	0.425	409.38	77.8%	507.62	29.4%	144.16	74.6%	138.62	36.8%	542.04	39.2%	410.53	42.3%
<b>#60</b>	0.25	580.02	55.3%	248.92	19.7%	208.73	64.0%	130.85	30.5%	347.15	27.7%	282.66	31.5%
<b>#140</b>	0.106	950.74	18.6%	259.69	9.6%	361.04	45.8%	221.33	19.7%	436.85	13.3%	360.15	17.7%
<b>#200</b>	0.075	411.29	2.7%	102.85	5.6%	148.65	38.3%	201.99	9.9%	206.74	6.5%	206.86	9.8%
<b>Base</b>	<0.075	70.58	0.0%	144.68	0.0%	757.7	0.0%	202.97	0.0%	196.54	0.0%	258.1	0.0%

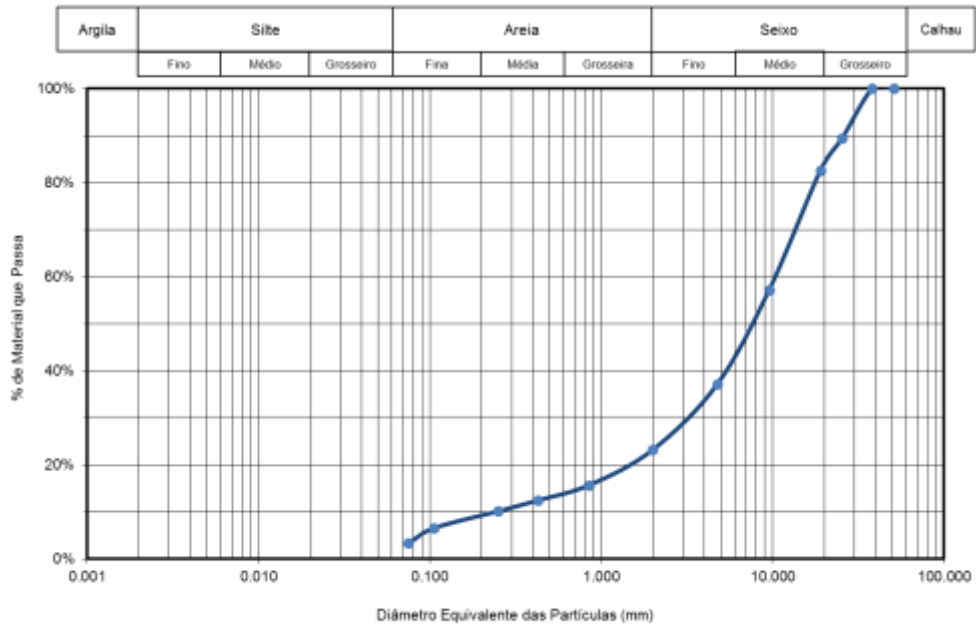
Peneiro		VP-C1-X		VP-C2-X		VP-C3-X		VP-D1-X		VP-E1-X	
Número	Dimensão	Massa retida (g)	% Passa	Massa retida (g)	% Passa	Massa retida (g)	% Passa	Massa retida (g)	% Passa	Massa retida (g)	% Passa
<b>2"</b>	50.8	0	100.0%	0	100.0%	0	100.0%	0	100.0%	0	100.0%
<b>1-1/2"</b>	38.1	101.94	96.7%	0	100.0%	126.03	95.7%	0	100.0%	157.65	94.8%
<b>1"</b>	25.4	60.86	94.7%	182.60	93.4%	114.06	91.9%	330.38	88.8%	448.49	80.0%
<b>3/4"</b>	19	67.69	92.5%	153.67	87.9%	77.55	89.2%	120.25	84.7%	125.84	75.8%
<b>3/8"</b>	9.52	348.82	81.1%	424.26	72.7%	326.36	78.2%	819.66	56.9%	563.94	57.1%
<b>#4</b>	4.75	536.56	63.6%	551.35	52.9%	565.81	59.0%	534.91	38.8%	437.42	42.7%
<b>#10</b>	2	619.34	43.4%	484.61	35.4%	516.08	41.5%	399.22	25.2%	313.98	32.3%
<b>#20</b>	0.85	692.79	20.8%	426.55	20.1%	335.37	30.1%	232.74	17.3%	235.12	24.5%
<b>#40</b>	0.425	336.95	9.8%	252.76	11.0%	169.94	24.4%	108.18	13.7%	137.24	20.0%
<b>#60</b>	0.25	194.61	3.5%	201.53	3.8%	132.64	19.9%	91.28	10.6%	124.59	15.8%
<b>#140</b>	0.106	96.82	0.3%	98.28	0.3%	197.89	13.2%	109.73	6.8%	166.17	10.4%
<b>#200</b>	0.075	8.94	0.0%	6.05	0.0%	108.31	9.5%	87.31	3.9%	186.82	4.2%
<b>Base</b>	<0.075	1.27	0.0%	1.12	0.0%	280.18	0.0%	114.34	0.0%	126.1	0.0%

Peneiro		SG-A1-X		SG-B1-X		SG-B2-X		SG-C1-X		SG-D1-X		SG-D3-X	
Número	Dimensão	Massa retida (g)	% Passa	Massa retida (g)	% Passa	Massa retida (g)	% Passa	Massa retida (g)	% Passa	Massa retida (g)	% Passa	Massa retida (g)	% Passa
<b>2"</b>	50.8	0	100.00%	0	100.0%	0	100.0%	0	100.0%	0	100.0%	0	100.0%
<b>1-1/2"</b>	38.1	0	100.00%	0	100.0%	0	100.0%	201.59	90.8%	298.20	88.3%	134.67	93.4%
<b>1"</b>	25.4	357.35	89.48%	248.36	73.5%	146.11	88.5%	93.65	86.5%	145.83	82.6%	110.34	88.0%
<b>3/4"</b>	19	230.89	82.68%	81.25	64.8%	95.53	81.0%	234.74	75.7%	278.82	71.6%	18.74	87.0%
<b>3/8"</b>	9.52	866.15	57.17%	221.73	41.1%	336.41	54.6%	521.21	51.8%	464.73	53.3%	324.55	71.1%
<b>#4</b>	4.75	678.81	37.18%	138.67	26.3%	213.48	37.9%	305.96	37.8%	455.68	35.4%	454.53	48.8%
<b>#10</b>	2	473.1	23.25%	84.02	17.3%	166.46	24.8%	221.18	27.7%	323.23	22.7%	280.43	35.0%
<b>#20</b>	0.85	255.92	15.71%	37.13	13.3%	98.12	17.1%	140.41	21.3%	188.37	15.3%	168.30	26.7%
<b>#40</b>	0.425	110.23	12.46%	20.72	11.1%	43.00	13.7%	68.83	18.1%	82.28	12.1%	86.89	22.5%
<b>#60</b>	0.25	78.68	10.15%	21.69	8.8%	27.12	11.6%	50.64	15.8%	55.86	9.9%	69.35	19.1%
<b>#140</b>	0.106	121.12	6.58%	24.67	6.2%	36.75	8.7%	82.19	12.0%	74.55	7.0%	111.73	13.6%
<b>#200</b>	0.075	111.12	3.31%	18.71	4.2%	20.56	7.1%	45.57	9.9%	35.34	5.6%	74.49	9.9%
<b>Base</b>	<0.075	112.32	0.00%	39.18	0.0%	90.42	0.0%	217.04	0.0%	142.43	0.0%	202.09	0.0%

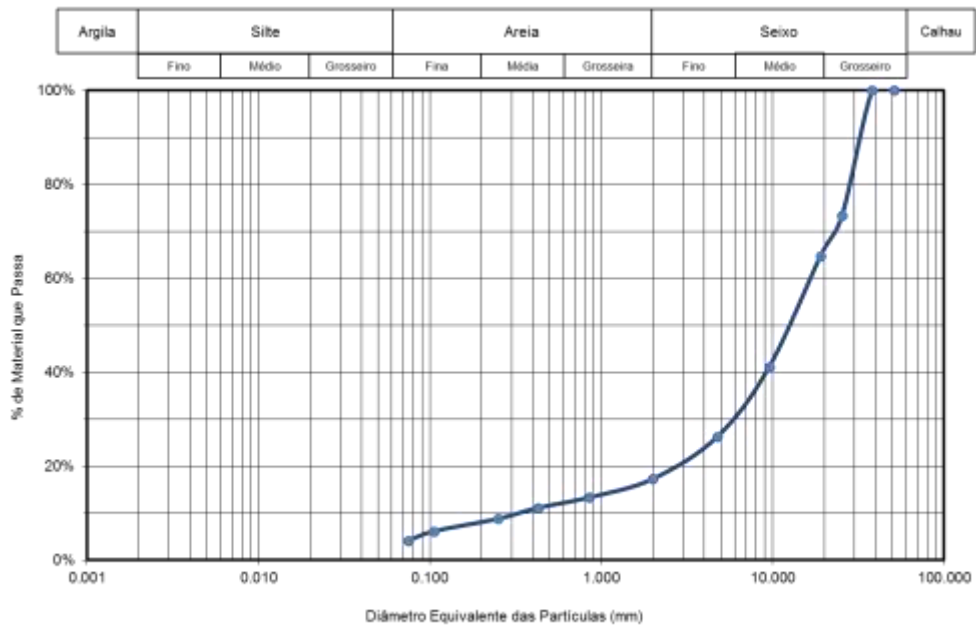
Peneiro		SG-E1-X		SG-F1-X		SG-F2-X		SG-G1-X		SG-H1-X		SG-H2-X	
Número	Dimensão	Massa retida (g)	% Passa	Massa retida (g)	% Passa	Massa retida (g)	% Passa	Massa retida (g)	% Passa	Massa retida (g)	% Passa	Massa retida (g)	% Passa
<b>2"</b>	50.8	0	100.00%	0	100.0%	0	100.0%	0	100.0%	0	100.0%	0	100.0%
<b>1-1/2"</b>	38.1	0	100.00%	0	100.0%	0	100.0%	0	100.0%	0	100.0%	0	100.0%
<b>1"</b>	25.4	371.95	87.55%	50.82	97.2%	150.05	96.2%	476.94	86.3%	111.63	94.9%	295.55	87.9%
<b>3/4"</b>	19	153.66	82.40%	27.59	95.8%	251.09	89.8%	333.70	76.7%	34.98	93.3%	83.82	84.4%
<b>3/8"</b>	9.52	553.29	63.88%	186.38	85.7%	751.83	70.6%	1154.38	43.5%	322.2	78.4%	528.82	62.8%
<b>#4</b>	4.75	513.93	46.68%	343.90	67.0%	730.86	51.9%	538.12	28.0%	471.24	56.7%	427.24	45.2%
<b>#10</b>	2	489.02	30.30%	388.17	46.0%	663.09	35.0%	337.24	18.3%	454.57	35.8%	339.12	31.3%
<b>#20</b>	0.85	452.17	15.17%	272.07	31.2%	429.78	24.0%	179.78	13.1%	466.21	14.3%	653.05	4.5%
<b>#40</b>	0.425	150.52	10.13%	126.04	24.4%	177.16	19.5%	85.1	10.7%	223.74	4.0%	39.36	2.9%
<b>#60</b>	0.25	28.18	9.18%	86.09	19.7%	121.84	16.4%	65.64	8.8%	67.62	0.9%	71	0.0%
<b>#140</b>	0.106	106.39	5.62%	124.83	13.0%	186.44	11.7%	90.43	6.2%	19.31	0.0%	0.32	0.0%
<b>#200</b>	0.075	85.23	2.77%	91.23	8.0%	103.32	9.0%	60.37	4.5%	0.23	0.0%	0.08	0.0%
<b>Base</b>	<0.075	82.72	0.00%	148.37	0.0%	353.61	0.0%	155.29	0.0%	0.60	0.0%	0.06	0.0%

## Anexo X - Curvas granulométricas das amostras

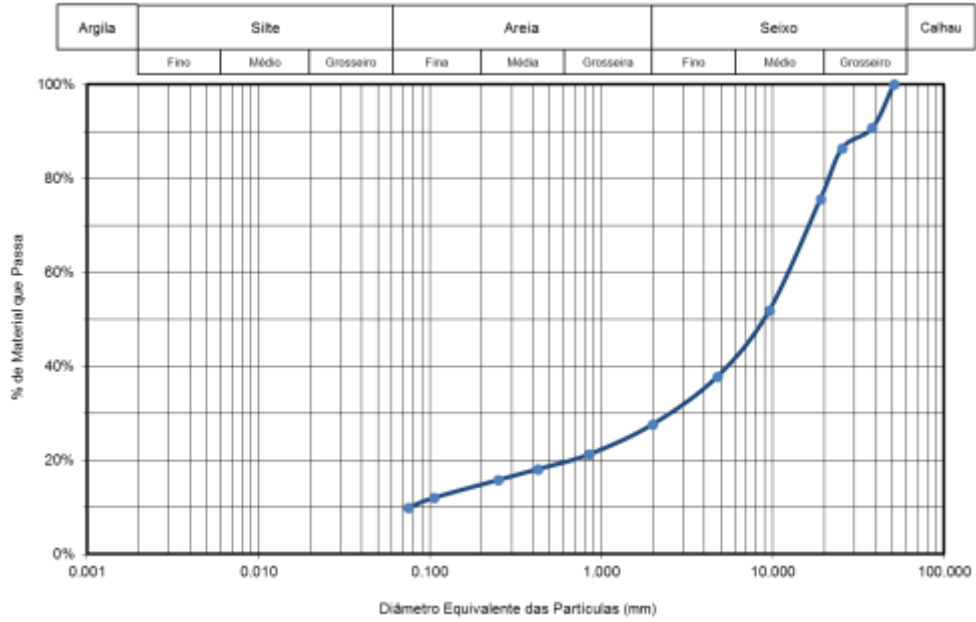
SG-A1-X



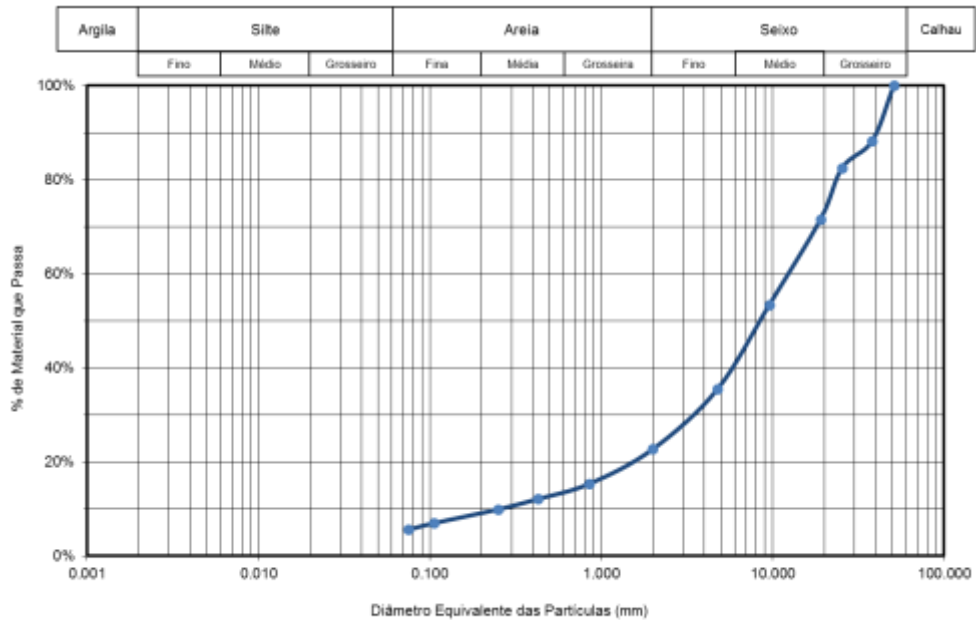
SG-B1-X



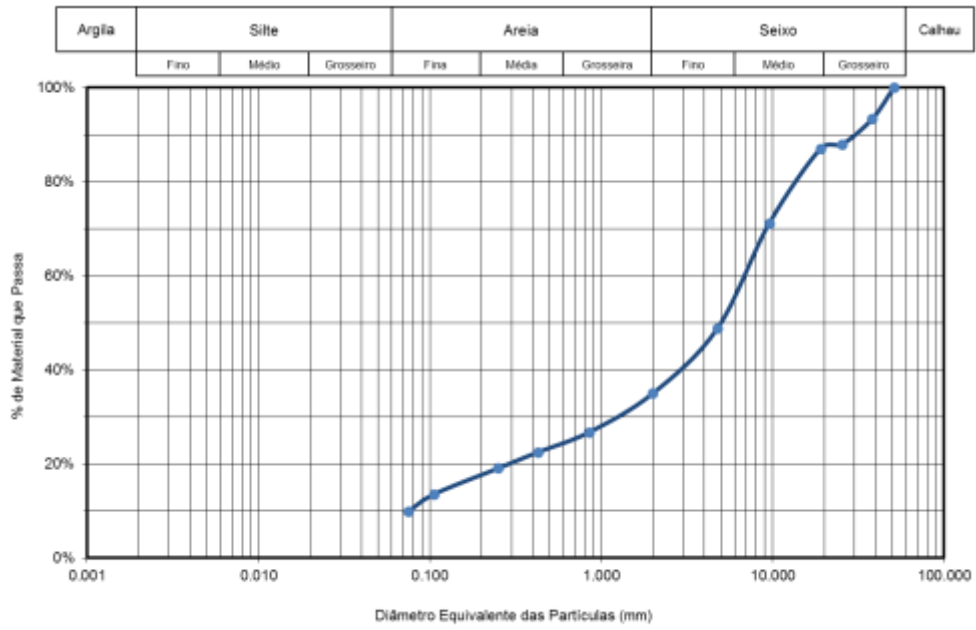
SG-C1-X



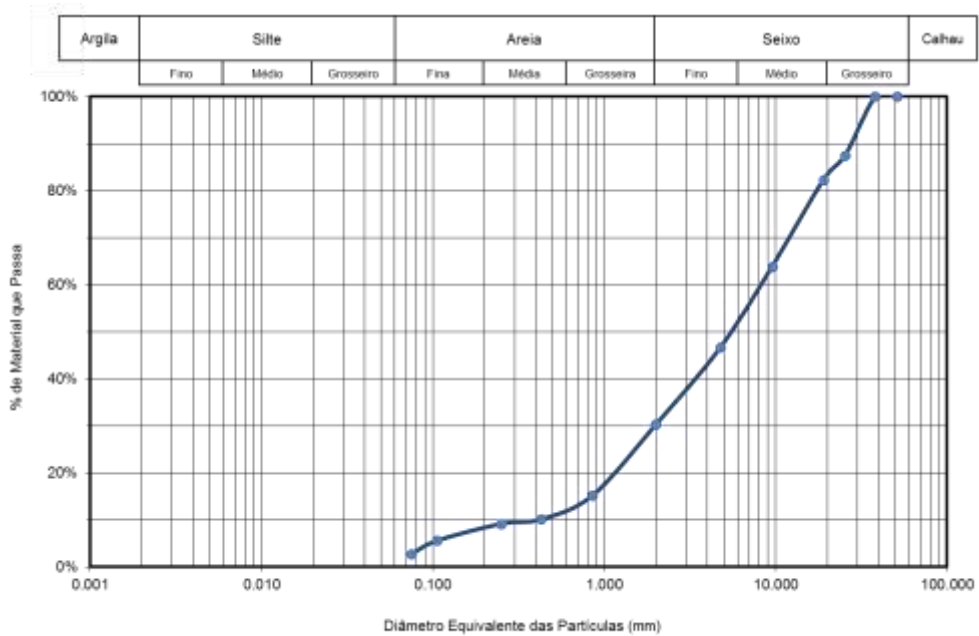
SG-D1-X



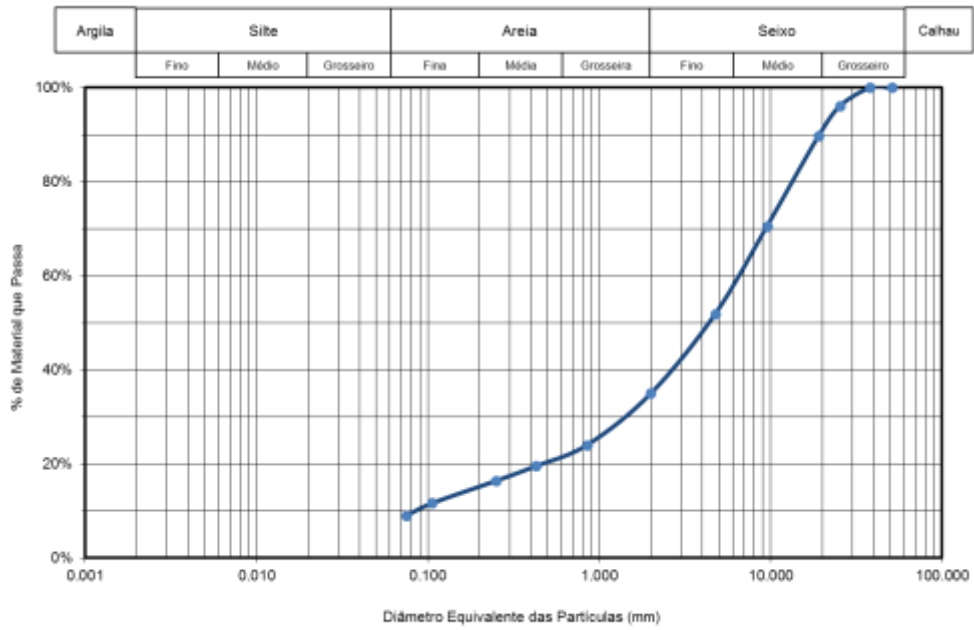
SG-D3-X



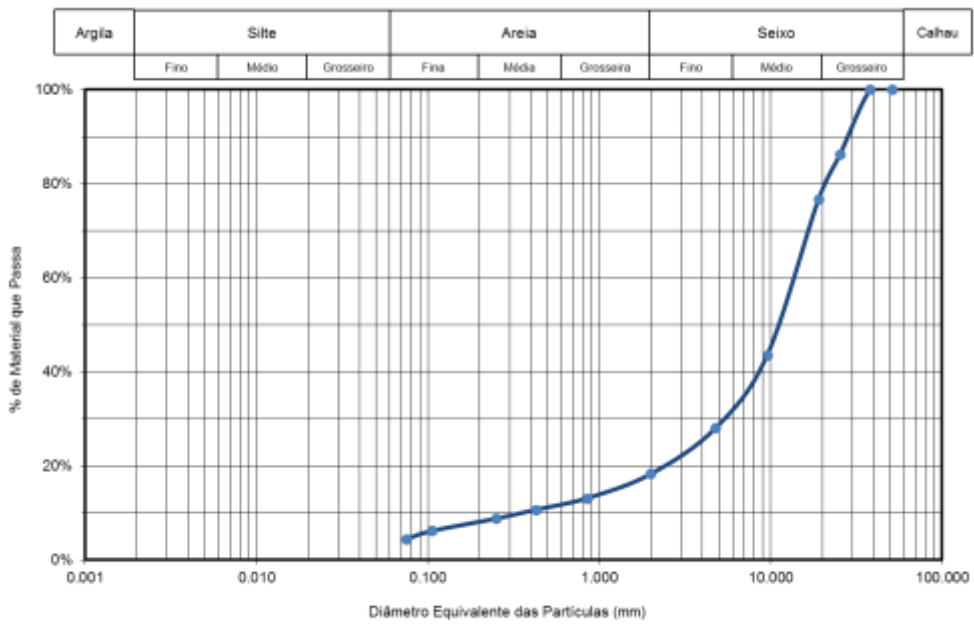
SG-E1-X



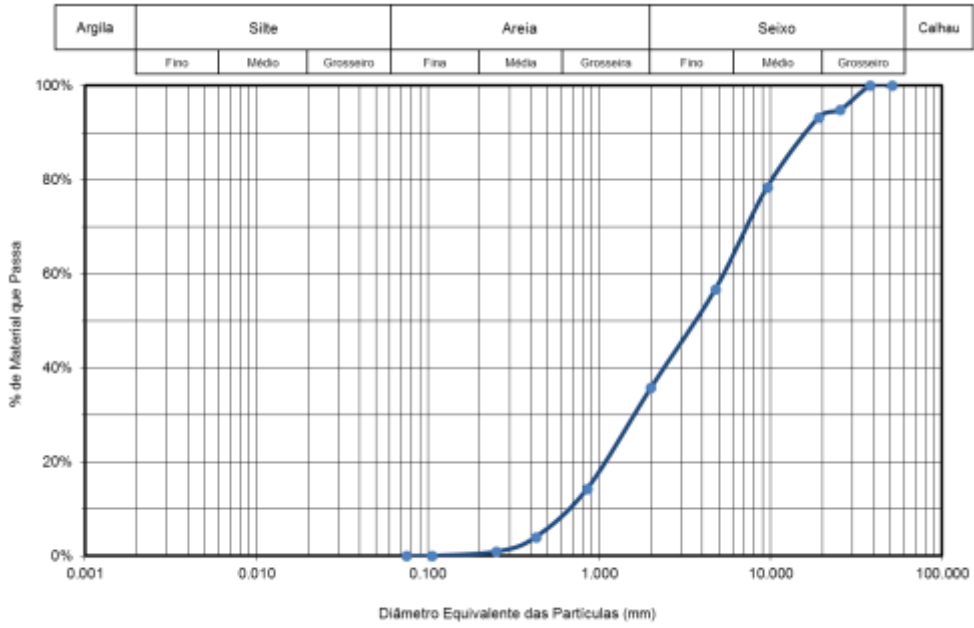
### SG-F2-X



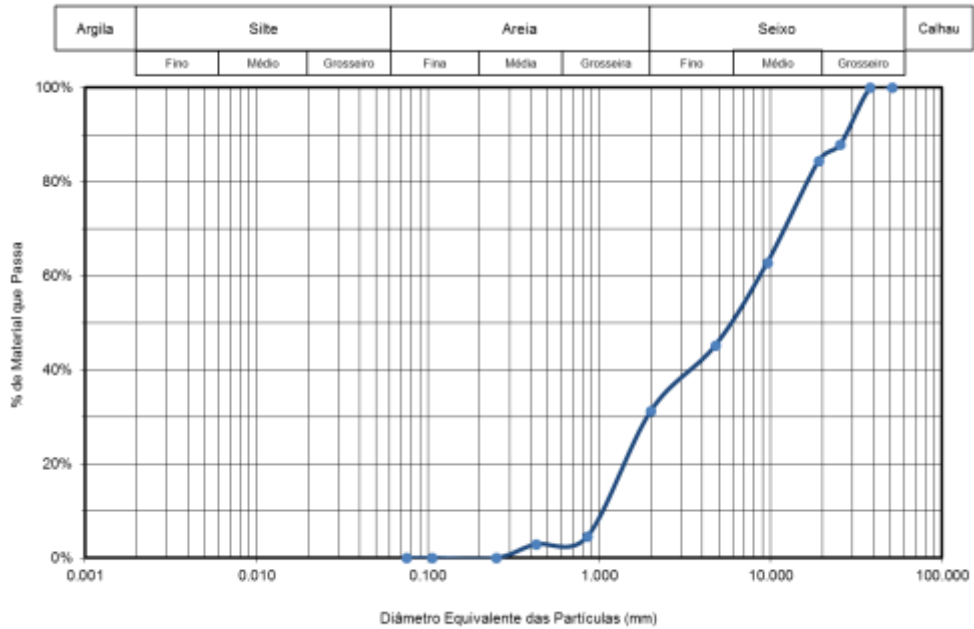
### SG-G1-X



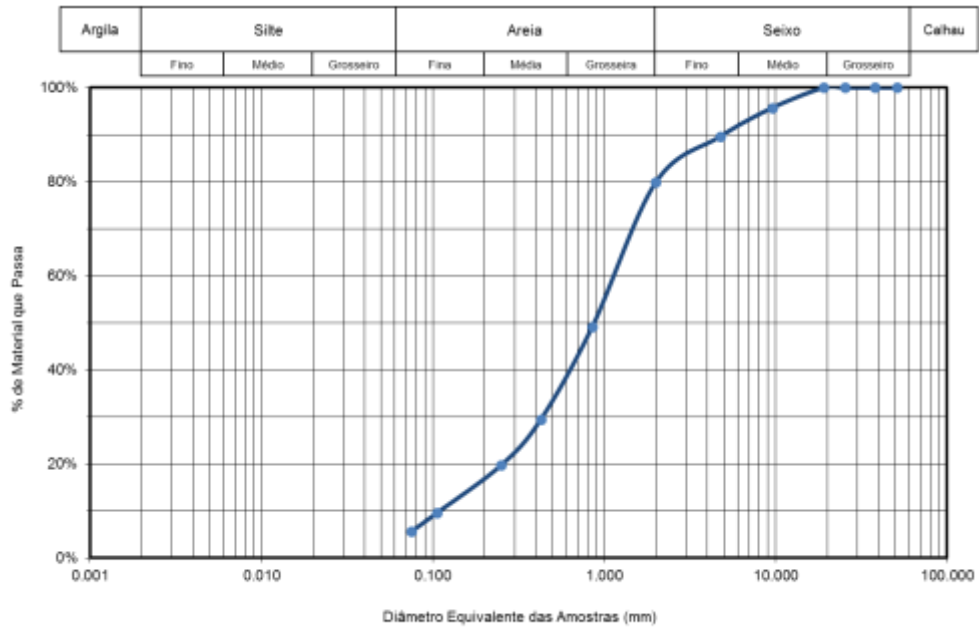
### SG-H1-X



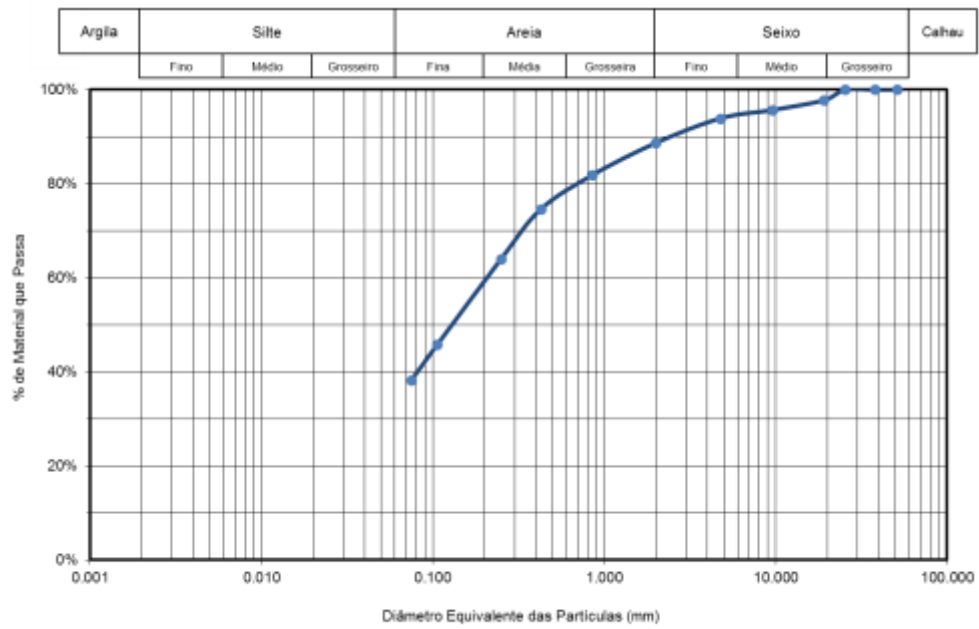
### SG-H2-X



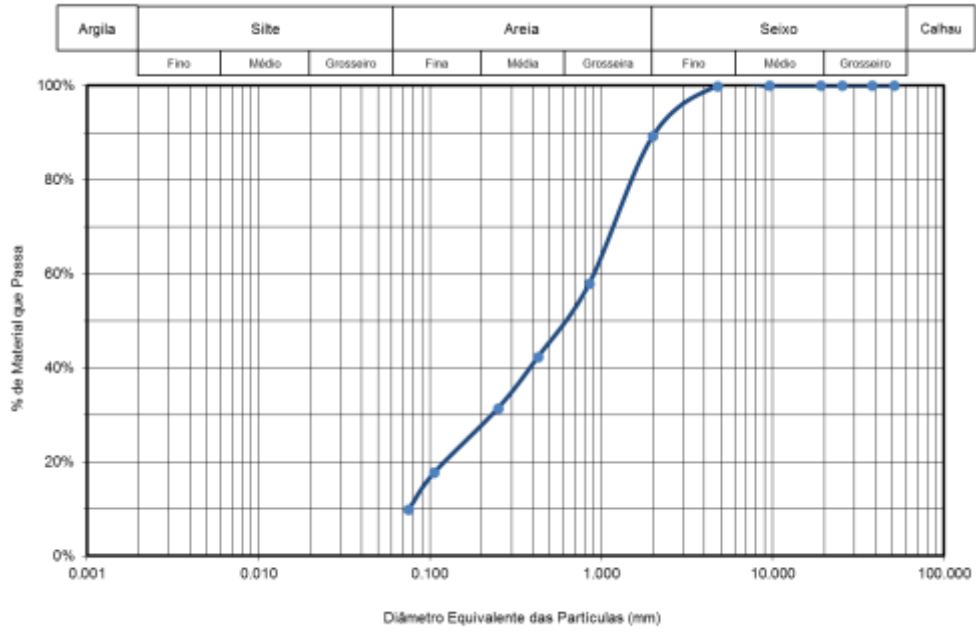
VP-A2-X



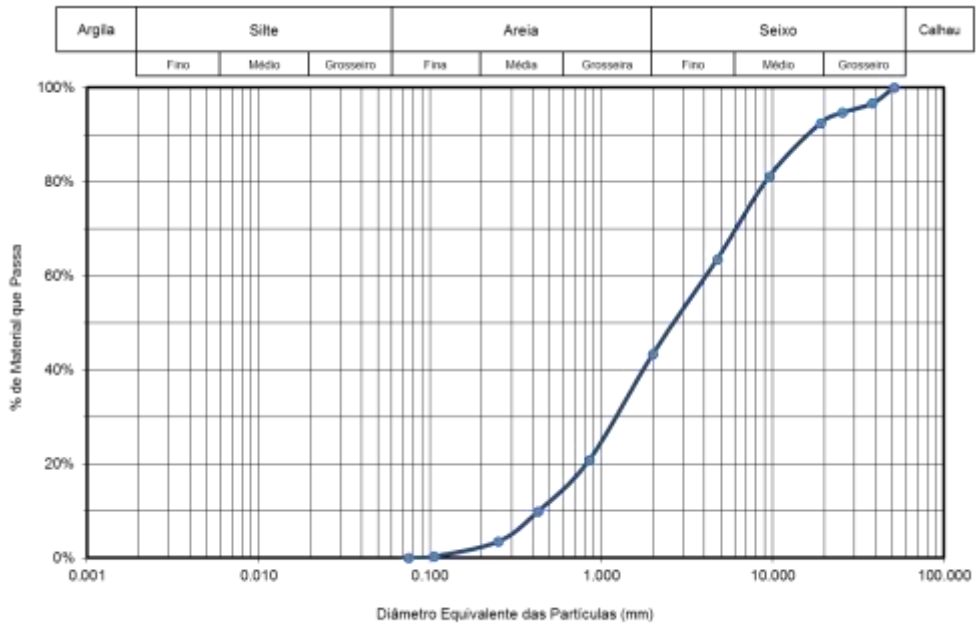
VP-A3-X



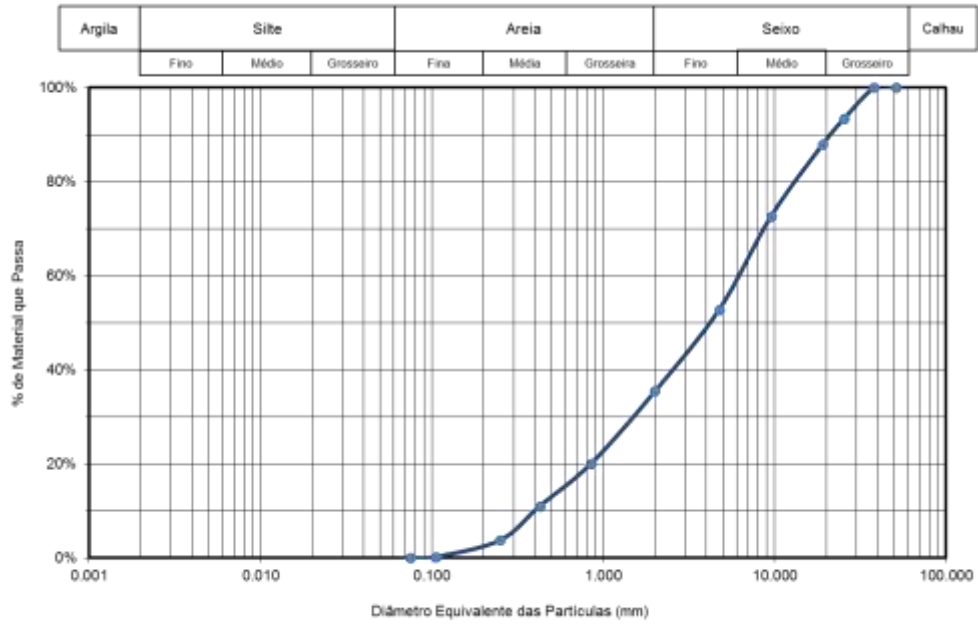
VP-B2-X



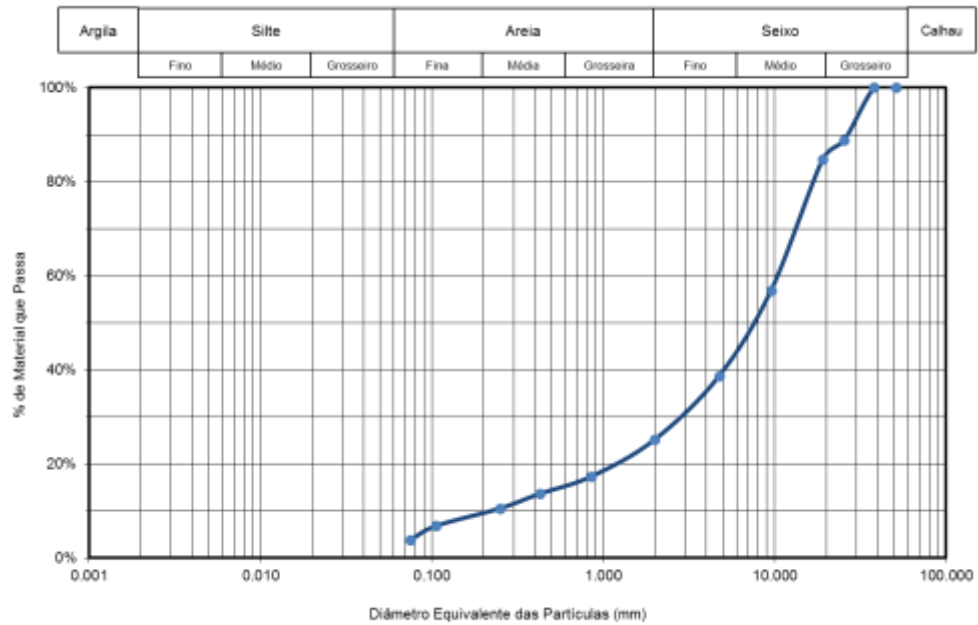
VP-C1-X



VP-C2-X



VP-D1-X



# VP-E1-X

