



**Universidade de Aveiro** Departamento de Geociências  
**Universidade do Porto** Faculdade de Ciências  
2017

**Ana Filipa Correia  
Martins**

**Prospecção Geofísica e Geoquímica da região mineira  
de Sever do Vouga**





**Universidade de Aveiro** Departamento de Geociências  
**Universidade do Porto** Faculdade de Ciências  
**2017**

**Ana Filipa Correia  
Martins**

**Prospecção Geofísica e Geoquímica da região mineira  
de Sever do Vouga**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Geomateriais e Recursos Geológicos, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Manuel João Senos Matias e do Professor Doutor Eduardo Anselmo Ferreira da Silva, Professores Catedráticos do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.



## **o júri**

Presidente

Prof. Doutor Fernando Ernesto Rocha de Almeida  
Professor Associado da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Eduardo Anselmo Ferreira da Silva  
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Rui Miguel Marques Moura  
Professor Auxiliar da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto



## Agradecimentos

Com a conclusão desta importante etapa da minha vida, quero deixar o meu profundo agradecimento a todas as pessoas que, de alguma forma, fizeram parte do meu percurso académico.

Agradeço a todas as pessoas que interagiram comigo durante a execução deste trabalho pela oportunidade e ajuda, sem as quais não teria sido possível realizar este trabalho.

Aos meus orientadores, Professores Drs. Manuel João Senos Matias e Eduardo Anselmo Ferreira da Silva, por todo o apoio durante a realização do trabalho e por todo o tempo despendido na elaboração deste trabalho, sobretudo na ajuda preciosa na metodologia do trabalho e tratamento dos dados.

Ao Eng. João Ribeiro, colaborador imprescindível deste trabalho, designadamente no planeamento, métodos de amostragem e análise, tratamento de dados, elaboração de mapas e discussão de resultados, bem como a disponibilidade em levar o grupo de trabalho para o campo e sobretudo pelo carinho, boa disposição e grande amizade.

À Dra. Carla Patinha agradeço o apoio na preparação das amostras e especialmente na elaboração das análises químicas.

Ao Professor Dr. Fernando Almeida em todas as dicas na modelação e tratamento de dados, bem como na interpretação dos mesmos.

À Manuela Jorge agradeço o apoio na preparação física das amostras e pela amizade.

Ao Eng. Nuno Barraca da Empresa Geomorf, agradeço o apoio na área informática na modelação e tratamento dos dados.

Ao meu colega de mestrado Vítor Valente, agradeço a companhia, paciência e a amizade em muitos e longos dias de trabalho, quer de campo, quer laboratoriais.

Aos restantes colegas de mestrado, Tiago Marques, Ulmeken Makashevada e Madi Kanapin da Universidade de Almaty (Cazaquistão), pela disponibilidade para o trabalho árduo de campo e pela amizade.

Aos meus amigos e colegas de casa e de trabalho pelo apoio incondicional.

Ao José por todo o apoio e carinho nesta fase da minha vida.

À minha família. Aos meus pais e irmã pelo apoio incondicional.

A todos que de algum modo contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos, MUITO OBRIGADO!





**palavras-chave**

Complexo Mineiro Braçal-Malhada, Gravimetria, Prospecção Geoquímica, Faixa de Cisalhamento de Porto-Tomar, Sever do Vouga, Albergaria-a-Velha

**resumo**

Esta dissertação apresenta os resultados das campanhas de prospecção geológica, geofísica e geoquímica na área envolvente do Complexo Mineiro Braçal-Malhada.

Inicialmente foi feita a georreferenciação de toda a informação, relativa à área de estudo, constante na bibliografia consultada, com o intuito de relacionar os dados litológicos e mineiros com os resultados obtidos nas campanha geofísica e geoquímica.

Através da campanha de prospecção gravimétrica, com o uso do gravímetro da marca LaCoste e Romberg, verificou-se a existência de anomalias significativas na região estudo que estão relacionadas com o enquadramento geológico local mas também com a existência de mineralizações associadas à fracturação principal.

A campanha geoquímica permitiu definir zonas anómalas com a presença de Ag, Pb, Sb e W, coincidentes com os resultados da campanha de prospecção gravimétrica. As regiões anómalas localizam-se entre as minhas do Braçal e a Sudoeste das minhas do Coval da Mó e podem refletir a presença de massas mineralizadas em profundidade e também a influência antropogénica das atividades mineiras que se desenvolveram no passado.



**keywords**

Mining Complex Braçal-Malhada, Gravimetry, Geochemical Exploration, Shear Band of Porto-Tomar, Sever do Vouga, Albergaria-a-Velha

**abstract**

This study presents the results of geological, geophysical and geochemical exploration campaigns in the surrounding area of the Mining Complex Braçal-Malhada.

Firstly, information related to the study area, and available in the library, was made geo referenced, in order to establish the relationship between the lithological and mining data with the results obtained from the geophysical and geochemical campaign.

Through the gravimetric exploration campaign, using the LaCoste and Romberg gravimetry meter, it was possible to identify some significant local anomalies in the study area.

The geochemical campaign allowed the definition of Ag, Pb, Sb and W anomalous zones, matching with the results of the gravimetric exploration campaign. The anomalous regions are located between the Braçal mine and the Southwest of mine of Coval da Mó and could be related to the occurrence of mineralized masses in depth and also with the antropogenic signature associated to mining activities that was developed in the past.



# ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO .....  | 1  |
| 1.1. ÂMBITO DO TRABALHO .....  | 1  |
| 1.2. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO .....                                    | 1  |
| 1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....                                    | 2  |
| CAPÍTULO 2 - ENQUADRAMENTO .....                                       | 3  |
| 2.1. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO .....                                     | 3  |
| 2.2. MACIÇO IBÉRICO.....   | 4  |
| 2.2.1. Zonas geotectónicas.....  | 5  |
| 2.2.1.1. Zona de Ossa-Morena .....                                     | 5  |
| 2.2.1.2. Zona Centro-Ibérica.....                                      | 6  |
| 2.3. FAIXA DE CISALHAMENTO DE PORTO-TOMAR.....                         | 7  |
| 2.4. GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO .....                                  | 8  |
| 2.4.1. Unidades alóctones da Zona de Ossa-Morena.....                  | 10 |
| 2.4.1.1. Unidade de São João-de-Ver .....                              | 10 |
| 2.4.1.2. Unidades de Albergaria-a-Velha e de Sernada do Vouga .....    | 11 |
| 2.4.2. Unidades parautóctones e autóctones da Zona de Ossa-Morena..... | 12 |
| 2.4.2.1. Unidade de Arada.....   | 12 |
| 2.4.2.2. Unidade de Lourosa.....                                       | 12 |
| 2.4.3. Unidade parautóctone da Zona Centro-Ibérica .....               | 13 |
| 2.4.3.1. Unidade de Carvoeiro e de Caldas de S. Jorge .....            | 13 |
| 2.4.3.1.1. Unidade do Quartzito ‘Americano’ de Caldas de S. Jorge..... | 13 |
| 2.4.3.1.2. Unidade de Carvoeiro.....                                   | 15 |
| 2.4.3.2. Supergrupo Dúrico-Beirão: Grupo das Beiras .....              | 19 |
| 2.4.4. Granitóides .....   | 21 |
| 2.4.4.1. Granitóides precoces e/ou ante-hercínicos .....               | 21 |
| 2.4.4.2. Granitóides sin-tectónicos.....                               | 23 |
| 2.5. ENQUADRAMENTO MINEIRO .....                                       | 23 |
| CAPÍTULO 3 - PROSPEÇÃO GRAVIMÉTRICA.....                               | 27 |
| 3.1. INTRODUÇÃO.....   | 27 |
| 3.2. PRINCÍPIOS TEÓRICOS .....   | 27 |
| 3.3. UNIDADES.....   | 30 |
| 3.4. VARIAÇÃO DA GRAVIDADE COM A LATITUDE.....                         | 31 |
| 3.5. MEDIÇÕES DA GRAVIDADE E EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO .....             | 33 |

|  |    |
|--|----|
| 3.6. PROCEDIMENTO DE CAMPO.....                                    | 35 |
| 3.7. CORREÇÕES.....  | 35 |
| 3.7.1. Correção lunissolar ou de maré ( $\Delta g_{LS}$ ).....     | 36 |
| 3.7.2. Correção de deriva ( $\Delta g_D$ ) .....                   | 37 |
| 3.7.3. Correção de altitude ( $\Delta g_{Alt}$ ).....              | 38 |
| 3.7.4. Correção estaca-tripé ( $\Delta g_{ET}$ ) .....             | 40 |
| 3.7.5. Correção de latitude ( $\Delta g_{Lat}$ ) .....             | 40 |
| 3.7.6. Correção de Eötvös ( $\Delta g_{Eot}$ ) .....               | 41 |
| 3.7.7. Correção de Bouguer ( $\Delta g_B$ ).....                   | 42 |
| 3.7.7.1. Densidade .....   | 43 |
| 3.7.7.1.1. Cálculo da densidade de Bouguer .....                   | 45 |
| 3.7.7.1.3. Método de Parasnis.....                                 | 48 |
| 3.7.7.1.4. Método da balança de Jolly (laboratório) .....          | 49 |
| 3.7.8. Correção topográfica ( $\Delta g_T$ ) .....                 | 51 |
| 3.7.9. Correção de isostasia.....                                  | 54 |
| 3.8. MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE PROFUNDIDADES.....                   | 57 |
| 3.8.1. Desconvolução de Euler .....                                | 57 |
| 3.9. INTERPRETAÇÃO DE ANOMALIAS GRAVIMÉTRICAS .....                | 57 |
| 3.9.1. Separação das anomalias regional e residual.....            | 58 |
| 3.9.1.1. Métodos empíricos.....                                    | 58 |
| 3.9.1.2. Métodos matemáticos .....                                 | 60 |
| 3.9.1.2.2. Análise de Fourier.....                                 | 62 |
| 3.9.1.2.3. Segundas derivadas .....                                | 64 |
| 3.10. MODELAÇÃO DE ANOMALIAS GRAVIMÉTRICAS.....                    | 65 |
| 3.11. PROCESSAMENTO DOS DADOS E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS ..... | 65 |
| 3.11.1. Correção e redução dos dados .....                         | 67 |
| 3.11.1.1. Correção lunissolar .....                                | 67 |
| 3.11.1.2. Correção de deriva .....                                 | 68 |
| 3.11.1.3. Correção de altitude.....                                | 68 |
| 3.11.1.4. Correção estaca-tripé .....                              | 68 |
| 3.11.1.5. Correção de latitude .....                               | 68 |
| 3.11.1.6. Correção de Eötvös.....                                  | 68 |
| 3.11.1.7. Correção de Bouguer.....                                 | 68 |
| 3.11.1.8. Correção topográfica.....                                | 71 |
| 3.11.1.9. Correção de isostasia.....                               | 72 |
| 3.11.2. Mapas das anomalias de Bouguer.....                        | 72 |

|   |     |
|---|-----|
| 3.11.3. Mapa da anomalia de Bouguer regional .....                                | 76  |
| 3.11.4. Mapa da anomalia de Bouguer residual .....                                | 78  |
| 3.11.5. Gradientes .....  | 80  |
| 3.11.5.1. Gradiente horizontal E-W.....   | 81  |
| 3.11.5.2. Gradiente horizontal N-S.....   | 82  |
| 3.11.5.3. Segunda derivada vertical .....   | 83  |
| 3.11.6. Desconvoluções.....   | 84  |
| CAPÍTULO 4 - GEOQUÍMICA.....  | 89  |
| 4.1. AMOSTRAGEM E DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS .....                                    | 89  |
| 4.2. TRATAMENTO LABORATORIAL DAS AMOSTRAS .....                                   | 90  |
| 4.2.1. Preparação física das amostras .....                                       | 90  |
| 4.2.2. Preparação química das amostras e análise química por ICP-MS.....          | 91  |
| 4.3. TRATAMENTO DOS DADOS.....  | 91  |
| 4.3.1. Métodos de análise univariada .....  | 92  |
| 4.3.2. Métodos de análise bivariada .....   | 92  |
| 4.3.3. Métodos de análise multivariada .....                                      | 93  |
| 4.3.3.1. Análise de classificação hierárquica (“cluster analysis”).....           | 93  |
| 4.4. DEFINIÇÃO DO VALOR DE FUNDO GEOQUÍMICO.....                                  | 94  |
| 4.5. PROCESSAMENTO DOS DADOS E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS GEOQUÍMICOS .....     | 94  |
| 4.5.1. Análise <i>univariada</i> .....  | 94  |
| 4.5.2. Análise bivariada .....  | 100 |
| 4.5.3. Mapas de distribuição espacial de teores .....                             | 103 |
| 4.5.4. Análise multivariada – classificação hierárquica (“Cluster Analysis”)..... | 117 |
| 4.5.3.1. Análise em Modo R .....  | 117 |
| 4.5.3.2. Análise em Modo Q.....   | 119 |
| 4.6. RELAÇÃO ENTRE A GEOQUÍMICA E A GEOFÍSICA .....                               | 135 |
| CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES.....  | 141 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....  | 143 |
| ANEXOS .....  | 147 |





## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.1 - Localização da área de estudo representada por um retângulo vermelho (imagem Google). 3  | 3  |
| Figura 2.2 - Divisão do Maciço Ibérico em zonas (extraído de Sousa, 2014). .... 4   | 4  |
| Figura 2.3 - Ilustração dos tipos de estruturas geradas pelas três principais fases de deformação Varisca (D <sub>1</sub> , D <sub>2</sub> e D <sub>3</sub> ), no Noroeste peninsular (adaptado de Oliveira, 2014). .... 6          | 6  |
| Figura 2.4 - Parte do mapa geológico de Severo Gonçalves (1974). A área de estudo está representada a azul. .... 9  | 9  |
| Figura 2.5 - Afloramento de micaxisto, com orientação N155°, sub-vertical. .... 11  | 11 |
| Figura 2.6 - Afloramento de xistos ardosíferos com filões de quartzo, com bastante oxidação visível e pirite. .... 16   | 16 |
| Figura 2.7 - Visível deformação da litologia designada por Severo Gonçalves (1974) de "filádios e xistos cloríticos" ..... 17   | 17 |
| Figura 2.8 - (A) Falha observada, também reconhecida na cartografia, sendo assumida pela mudança de direção do afloramento e mesmo no estado de meteorização da litologia, surgindo quartzofilito (em (B)) e filito (em(C))..... 18 | 18 |
| Figura 2.9 - Aumento do grau de alteração na aproximação de níveis mais grauvacóides. .... 19   | 19 |
| Figura 2.10 - Típico aspeto do CXG aflorante na área de estudo (fotografia de baixo), intersectado por filões de quartzo estéril (fotografia de cima). .... 20  | 20 |
| Figura 2.11 - Afloramento de gnaisses de grão fino..... 22  | 22 |
| Figura 2.12 - Localização dos diferentes filões explorados nas diversas minas existentes. .... 25   | 25 |
| Figura 3.1 - Esquema ilustrativo da diferença entre uma esfera e um elipsóide de revolução (adaptado de Reynolds, 1997). .... 29  | 29 |
| Figura 3.2 - Linhas de campo gravítico e superfície equipotencial (adaptado de Dentith et al., 2014). ... 29  | 29 |
| Figura 3.3 - Deformações do geóide - (A) deformações de grande amplitude, à escala continental e (B) de efeitos localizados devido a excessos de massa subsuperficiais (adaptado de Reynolds, 1997). .... 30                        | 30 |
| Figura 3.4 - Esquema representativo da aceleração centrífuga e da variação da aceleração da gravidade com a latitude (adaptado de Reynolds, 1997). .... 31  | 31 |
| Figura 3.5 - Resultante das acelerações centrífuga e da gravidade (Reynolds, 1997). .... 32   | 32 |
| Figura 3.6 - Esquemas de funcionamento de gravímetros (A) estável, (B) instável tipo Thyssen e (C) instável tipo LaCoste e Romberg (adaptado de Reynolds, 1997). .... 34  | 34 |
| Figura 3.7 - Representação esquemática dos efeitos de deriva instrumental e lunissolar sobre as leituras gravimétricas efetuadas numa estação base (adaptado de Reynolds, 1997). .... 37  | 37 |
| Figura 3.8 - Curva de deriva instrumental de um gravímetro, criada a partir das leituras repetidas numa estação base (Reynolds, 1997). .... 38  | 38 |
| Figura 3.9 - Esquema representativo da correção de altitude (Reynolds, 1997)..... 39  | 39 |

|  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| Figura 3.10 - Esquema ilustrativo das componentes que contribuem para a correção de Eötvös: (A) corte segundo um plano que contém o eixo de rotação da Terra e (B) em projeção (adaptado de Reynolds, 1997).....   | 41                                  |
| Figura 3.11 - Método de Nettleton para a determinação da densidade de Bouguer, por correlação da anomalia de Bouguer com a topografia (adaptado de Reynolds, 1997).....  | 47                                  |
| Figura 3.12 - Representação esquemática do funcionamento de uma balança de Jolly.....  | 49                                  |
| Figura 3.13 - Esquema ilustrativo do efeito das irregularidades topográficas sobre as medidas gravimétricas (Lourenço, 2006).....  | 51                                  |
| Figura 3.14 - Significado físico das variáveis da equação aplicada na determinação da correção topográfica (adaptado de Lowrie, 2007). .....   | 52                                  |
| Figura 3.15 - Representação esquemática da rede de Hammer (Reynolds, 1997).....  | 53                                  |
| Figura 3.16 - A anomalia isostática segundo os modelos de Pratt-Hayford e Airy-Heiskanen: $g_i$ - anomalia isostática, $g_B$ - anomalia de Bouguer, $g_R$ - anomalia da raiz calculada, a partir da topografia, para as compensações isostáticas (A) completa, (B) sobrevalorizada e (C) subvalorizada (Lowrie, 2007). .....                           | 56                                  |
| Figura 3.17 - Separação das anomalias regional e residual em (A) mapas e em (B) perfis, por ajustamento visual de curvas (adaptado de Reynolds, 1997 e de Lowrie, 2007). .....   | 59                                  |
| Figura 3.18 - Ajustamento da anomalia regional através de uma curva polinomial, determinada pelo método dos mínimos quadrado: (A) ajustamento linear e por polinómio do terceiro grau, (B) anomalia residual obtidas por ajustamento linear (reta) e (C) anomalia residual obtida por ajustamento de um polinómio de terceiro grau (Lowrie, 2007)..... | 61                                  |
| Figura 3.19 - Variação bidimensional da anomalia gravimétrica usando séries duplas de Fourier: (A) harmónicas simples a direção x, (B) harmónicas duplas na direção x e (C) harmónicas simples sobrepostas nas direções de x e y (Lowrie, 2007). .....   | 63                                  |
| Figura 3.20 - Aplicação de filtros para a obtenção de mapas de anomalias: (A) mapa da anomalia de Bouguer, (B) mapa da anomalia regional obtido por aplicação de filtros tipo passa-baixo e (C) mapa da anomalia residual obtido por aplicação de filtros passa-alto (adaptado de Lowrie, 2007). .....   | 64                                  |
| Figura 3.21 - Localização dos pontos de leitura e das bases da prospeção gravimétrica. ....  | 66                                  |
| Figura 3.22 - Representação gráfica do método de Nettleton.....  | 69                                  |
| Figura 3.23 - Representação gráfica do método de Parasnis (ajustamento pelo método dos mínimos quadrados).....   | 69                                  |
| Figura 3.24 - Carta da anomalia de Bouguer, para a densidade de $2,58 \text{ g/cm}^3$ . .....  | 73                                  |
| Figura 3.25 - Carta da anomalia de Bouguer para a densidade de $2,30 \text{ g/cm}^3$ . .....   | 74                                  |
| Figura 3.26 - Carta da anomalia de Bouguer, para a densidade média da crosta terrestre, $2,67 \text{ g/cm}^3$ . .....  | <b>Erro! Marcador não definido.</b> |
| Figura 3.27 - Carta da anomalia de Bouguer, para a densidade de $2,48 \text{ g/cm}^3$ . <b>Erro! Marcador não definido.</b>  |                                     |
| Figura 3.28 - Carta da anomalia de Bouguer regional, para a densidade de $2,58 \text{ g/cm}^3$ . .....   | 77                                  |
| Figura 3.29 - Mapa da anomalia de Bouguer de Portugal Continental. ....  | 78                                  |
| Figura 3.30 - Carta da anomalia de Bouguer residual, para a densidade de $2,58 \text{ g/cm}^3$ . .....   | 79                                  |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 3.31 - Representação gráfica em 3 dimensões da anomalia de Bouguer residual, para a densidade de 2,58 g/cm <sup>3</sup> . | 80  |
| Figura 3.32 - Carta da anomalia de Bouguer na componente horizontal.   | 81  |
| Figura 3.33 - Carta da anomalia de Bouguer na componente vertical.   | 82  |
| Figura 3.34 - Carta da segunda derivada vertical da anomalia de Bouguer.   | 83  |
| Figura 3.35 - Carta da deconvolução de Euler para o índice zero.   | 85  |
| Figura 3.36 - Carta da deconvolução de Euler para o índice um.   | 86  |
| Figura 3.37 - Carta da deconvolução de Euler para o índice dois.   | 87  |
| Figura 4.1 - Área de estudo (os pontos a azul representam os locais de amostragem de sedimentos de corrente).                    | 89  |
| Figura 4.2 - Fluxograma que ilustra as diferentes fases do trabalho de preparação das amostras.                                  | 90  |
| Figura 4.3 - Histograma do elemento químico: (a) Ag; (b)Al; (c) As; (d) Ba; (e) Be; (f) Bi; (g) Ca; (h) Cd...                    | 97  |
| Figura 4.4 - Histograma do elemento químico: (a) Co; (b) Cr; (c) Cu; (d) Fe; (e) K; (f) Li; (g) Mg; (h) Mn. .                    | 98  |
| Figura 4.5 - Histograma do elemento químico: (a) Mo; (b) Na; (c) Ni; (d) P; (e) Pb; (f) Sb; (g) Th; (h) Tl. .                    | 99  |
| Figura 4.6 - Histograma do elemento químico: (a) V; (b) W; (c) Zn.   | 100 |
| Figura 4.7 – Diagrama de extremos e quartis para as variáveis em estudo.   | 100 |
| Figura 4.8 – Mapa de teores para o elemento químico Ag.  | 103 |
| Figura 4.9 – Mapa de teores para os elementos químicos Al e As.  | 104 |
| Figura 4.10 – Mapa de teores para os elementos químicos Ba e Be.   | 105 |
| Figura 4.11 – Mapa de teores para os elementos químicos Bi e Ca.   | 106 |
| Figura 4.12 – Mapa de teores para os elementos químicos Cd e Co.   | 107 |
| Figura 4.13 – Mapa de teores para os elementos químicos Cr e Cu.   | 108 |
| Figura 4.14 – Mapa de teores para os elementos químicos Fe e K.  | 109 |
| Figura 4.15 – Mapa de teores para os elementos químicos Li e Mg.   | 110 |
| Figura 4.16 – Mapa de teores para os elementos químicos Mn e Mo.   | 111 |
| Figura 4.17 – Mapa de teores para os elementos químicos Na e Ni.   | 112 |
| Figura 4.18 – Mapa de teores para os elementos químicos P e Pb.  | 113 |
| Figura 4.19 – Mapa de teores para os elementos químicos Sb e Th.   | 114 |
| Figura 4.20 – Mapa de teores para os elementos químicos Tl e V.  | 115 |
| Figura 4.21 – Mapa de teores para os elementos químicos W e Zn.  | 116 |
| Figura 4.22 – Dendograma das variáveis em estudo (Modo R).   | 118 |
| Figura 4.23 – Dendograma das variáveis em estudo (Modo R).   | 119 |
| Figura 4.24 - Mapa da distribuição das amostras de cada cluster.   | 120 |
| Figura 4.25 - Mapa de teores de Ag e Al tendo em consideração os dois clusters.  | 122 |
| Figura 4.26 - Mapa de teores de As e Ba tendo em consideração os dois clusters.  | 123 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 4.27 - Mapa de teores de Be e Bi tendo em consideração os dois clusters. ....  | 124 |
| Figura 4.28 - Mapa de teores de Ca e Cd tendo em consideração os dois clusters. ....  | 125 |
| Figura 4.29 - Mapa de teores de Co e Cr tendo em consideração os dois clusters.....   | 126 |
| Figura 4.30 - Mapa de teores de Cu e Fe tendo em consideração os dois clusters. ....  | 127 |
| Figura 4.31 - Mapa de teores de K e Li tendo em consideração os dois clusters.....  | 128 |
| Figura 4.32 - Mapa de teores de Mg e Mn tendo em consideração os dois clusters.....   | 129 |
| Figura 4.33 - Mapa de teores de Mo e Na tendo em consideração os dois clusters. ....  | 130 |
| Figura 4.34 - Mapa de teores de Ni e P tendo em consideração os dois clusters.....  | 131 |
| Figura 4.35 - Mapa de teores de Pb e Sb tendo em consideração os dois clusters. ....  | 132 |
| Figura 4.36 - Mapa de teores de Th e Tl tendo em consideração os dois clusters. ....  | 133 |
| Figura 4.37 - Mapa de teores de V e W tendo em consideração os dois clusters.....   | 134 |
| Figura 4.38 - Mapa de teores de Zn tendo em consideração os dois clusters. ....   | 135 |
| Figura 4.39 - Sobreposição do mapa de teores de Ag (A) e da carta da anomalia de Bouguer residual (B) resulta no mapa (C). ....   | 136 |
| Figura 4.40 - Sobreposição do mapa de teores de As (A) e da carta da anomalia de Bouguer residual (B) resulta no mapa (C). ....   | 137 |
| Figura 4.41 - Sobreposição do mapa de teores de Pb (A) e da carta da anomalia de Bouguer residual (B) resulta no mapa (C). ....   | 138 |
| Figura 4.42 - A sobreposição do mapa de teores de Sb (A) e da carta da anomalia de Bouguer residual (B) resulta no mapa (C). .... | 139 |
| Figura 4.43 - A sobreposição do mapa de teores de W (A) e da carta da anomalia de Bouguer residual (B) resulta no mapa (C). ....  | 140 |

## ÍNDICE DE TABELAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 3.1 - Densidade de algumas rochas (Lourenço, 2006).....  | 44  |
| Tabela 3.2 - O efeito de diferentes fatores físicos sobre a densidade das rochas sedimentares (Reynolds, 1997).....   | 44  |
| Tabela 3.3 - Rede de Hammer: designação das zonas, raio interno (r1) e raio externo (r2) e número de sectores por zona (Lourenço, 2006).....  | 53  |
| Tabela 3.4 - Correções topográficas para as zonas B a M, assumindo uma densidade de 2,0 g/cm <sup>3</sup> (Lourenço, 2006). ....  | 54  |
| Tabela 3.5 - Índices estruturais (N) existentes para cada forma geométrica da fonte anómala, para os campos gravimétrico e magnético. ....  | 57  |
| Tabela 3.6 - Resultado do valor da densidade para as diferentes litologias existentes, utilizando o método da balança de Jolly. Neste caso as amostras continham porosidade. ....     | 70  |
| Tabela 3.7 - Resultado do valor da densidade para as diferentes litologias existentes, utilizando o método da balança de Jolly. Neste caso as amostras não continham porosidade. .... | 71  |
| Tabela 4.1 - Limites de deteção para os diversos elementos químicos analisados. ....  | 91  |
| Tabela 4.2 - Análise univariada de cada elemento químico analisado. ....  | 96  |
| Tabela 4.3 - Análise bivariada para os elementos químicos analisados. ....  | 102 |
| Tabela 4.4– Valores de fundo geoquímico local (a negrito) para a zona em estudo calculado tendo em consideração as equações referidas no subcapítulo 4.3.....                         | 117 |
| Tabela 4.5 – Análise estatística univariada tendo em consideração os valores para os indivíduos do Cluster 1.....   | 120 |
| Tabela 4.6 – Análise estatística univariada tendo em consideração os valores para os indivíduos do Cluster 2.....   | 121 |



## LISTA DE ABREVIATURAS

Indicam-se de seguida os símbolos mais utilizados ao longo desta dissertação. Sempre que a algum deles se atribua um significado diferente, a distinção será feita de forma clara no momento da sua utilização.

Salvo indicação em contrário, os símbolos seguintes têm o significado abaixo descrito.

| <b>Símbolo/Sigla</b> | <b>Significado</b>                                      |
|----------------------|---|
| Ag                   | Prata   |
| Al                   | Alumínio  |
| $\alpha$             | Constante que depende do achatamento do elipsóide       |
| As                   | Arsénio   |
| Ba                   | Bário   |
| Be                   | Berílio   |
| $\beta$              | Constante que depende da velocidade de rotação da Terra |
| Bi                   | Bismuto   |
| Ca                   | Cálcio  |
| c.c.                 | Coefficiente de correlação                              |
| Cd                   | Cádmio  |
| CGS                  | Sistema Centímetro, Grama e Segundo                     |
| Co                   | Cobalto   |
| Cr                   | Crómio  |
| Cu                   | Cobre   |
| CXG                  | Complexo Xisto-Grauváquico                              |
| $\Delta g_{Alt}$     | Correção de altitude                                    |
| $\Delta g_B$         | Correção de Bouguer                                     |
| $\Delta g_D$         | Correção de deriva                                      |
| $\Delta g_{Eot}$     | Correção de Eötvös                                      |
| $\Delta g_{ET}$      | Correção de estaca-tripé                                |
| $\Delta g_{Lat}$     | Correção de latitude                                    |
| $\Delta g_{LS}$      | Correção lunissolar                                     |
| $\Delta g_T$         | Correção topográfica                                    |
| $\delta$             | Correção atmosférica da gravidade                       |

|             |   |
|-------------|---|
| DGPS        | Sistema de Posicionamento Global Diferencial                            |
| F           | Força de atração  |
| FCUP        | Faculdade de Ciências da Universidade do Porto                          |
| Fe          | Ferro   |
| G           | Constante de gravitação universal                                       |
| GPS         | Sistema de Posicionamento Global  |
| $g$         | Aceleração da gravidade   |
| $g'$        | Aceleração centrífuga   |
| $g_0$       | Aceleração da gravidade ao nível médio dos oceanos                      |
| $g_B$       | Anomalia de Bouguer   |
| $g_i$       | Anomalia de Bouguer em cada ponto de leitura                            |
| $g_r$       | Aceleração da gravidade a uma dada latitude geodésica $\phi$            |
| $g_{Obs}$   | Aceleração da gravidade média observada, expressa em miliGal            |
| $g^*_{Obs}$ | Aceleração da gravidade média observada, expressa em divisões de escala |
| $g_R$       | Anomalia regional   |
| $\bar{g}$   | Valor médio da anomalia de Bouguer                                      |
| $h$         | Altitude  |
| $\bar{h}$   | Valor médio da altitude dos pontos de leitura                           |
| IAG         | International Association of Geodesy                                    |
| IGSN71      | International Gravity Standardisation Network 1971                      |
| K           | Potássio  |
| $k$         | Constante elástica da mola  |
| $l$         | Comprimento da mola   |
| $L_{DE}$    | Leitura da aceleração da gravidade, expressa em divisões de escala      |
| Li          | Lítio   |
| $L_{mGal}$  | Leitura da aceleração da gravidade, expressa em miliGal                 |
| $\lambda$   | Comprimento de onda   |
| $m$         | Massa   |
| Mg          | Magnésio  |
| Mn          | Manganês  |
| Mo          | Molibdénio  |
| N           | Índice estrutural   |
| Na          | Sódio   |
| Ni          | Níquel  |



|          |  |
|----------|--|
| $\omega$ | Velocidade angular da Terra                              |
| $p$      | Pressão  |
| $P$      | Força peso   |
| P        | Fósforo  |
| Pb       | Chumbo   |
| $\phi$   | Latitude geodésica                                       |
| $r_1$    | Raio interno das zonas da rede de Hammer                 |
| $r_2$    | Raio externo das zonas da rede de Hammer                 |
| $R_e$    | Raio equatorial terrestre                                |
| $R_p$    | Raio polar terrestre                                     |
| $\rho$   | Densidade  |
| $\rho_0$ | Densidade fictícia                                       |
| $\rho_B$ | Densidade de Bouguer ou de redução                       |
| $\rho_w$ | Densidade da água do mar                                 |
| Sb       | Antimónio  |
| Sn       | Estanho  |
| SI       | Sistema Internacional                                    |
| SIG      | Sistemas de Informação Geográfica                        |
| Th       | Tório  |
| TIN      | Triangular Irregular Network                             |
| Tl       | Tálio  |
| U        | Potencial gravítico                                      |
| UA       | Universidade de Aveiro                                   |
| V        | Vanádio  |
| $v$      | Velocidade de rotação                                    |
| W        | Tungsténio   |
| WGS84    | World Geodetic System 1984                               |
| ZCI      | Zona Centro-Ibérica                                      |
| ZCPT     | Zona de Cisalhamento de Porto-Tomar                      |
| ZCPTFA   | Zona de Cisalhamento de Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo |
| ZGTM     | Zona de Galiza-Trás-os-Montes                            |
| ZOM      | Zona de Ossa-Morena                                      |
| Zn       | Zinco  |
| ZSP      | Zona Sul-Portuguesa                                      |



# CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

## 1.1. ÂMBITO DO TRABALHO

O presente relatório constitui a dissertação de Mestrado em Geomateriais e Recursos Geológicos (2º Ciclo, segundo o modelo de Bolonha), oferecido em parceria entre a Universidade de Aveiro (UA) e a Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP).

Nesta dissertação foram realizados diversos trabalhos de campo, nomeadamente o reconhecimento geológico da região e uma campanha geofísica e geoquímica da área de estudo.

A zona de estudo localiza-se entre Albergaria-a-Velha e Sever do Vouga, junto à Faixa de Cisalhamento de Porto-Tomar, a Norte do rio Vouga. Não se encontra publicada a cartografia 1:50 000, numa parte da área de estudo, pelo que o reconhecimento geológico foi feito com base em dados anteriores, recentemente georreferenciados. Estes dados foram implementados em dispositivos móveis com capacidade de posicionamento em tempo real, com o uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), nomeadamente com o uso da aplicação de telemóvel, *QField*. Esta metodologia de trabalho permitiu a cobertura de uma grande área, com uma elevada precisão e, conseqüentemente, a interação do utilizador, em tempo real, com dados previamente adquiridos, referentes a parâmetros litológicos, estruturais e topográficos.

A campanha geofísica e geoquímica é realizada com o intuito de se investigar a possibilidade da continuidade de mineralização filoniana entre as minas do Braçal e a Noroeste das mesmas (minas do Coval da Mó). A bibliografia sobre a continuidade da mineralização é escassa, tendo sido realizados trabalhos mineiros, mas sem sucesso na ligação filoniana entre as duas minas. Com esta campanha pretende-se, também, verificar a relação dos métodos geofísico e geoquímico, com dados das orientações filonianas e com acidentes tectónicos, recentemente georreferenciados.

## 1.2. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

Os principais objetivos do trabalho desenvolvido são os seguintes:

- Fazer o reconhecimento geológico da área, recorrendo à cartografia geológica existente, recentemente georreferenciada;
- Realizar uma campanha geofísica, usando o método gravimétrico;
- Realizar uma campanha geoquímica, recolhendo amostras de solos nas linhas de água existentes.

### 1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos, apresentando-se no presente capítulo, as considerações iniciais relativas ao âmbito do trabalho, aos objetivos fundamentais que se pretendem alcançar, assim como à sua estruturação.

No Capítulo 2 é apresentado o enquadramento geológico e mineiro da área de estudo, baseado em dados bibliográficos, partindo de um contexto mais geral, o Maciço Ibérico, até ao mais detalhado, as litologias aflorantes na região.

O Capítulo 3 diz respeito ao método geofísico utilizado na campanha geofísica, mais concretamente, ao método gravimétrico, descrevendo o equipamento de medição e o funcionamento do mesmo. Apresenta-se, também, a análise dos dados obtidos.

No Capítulo 4 apresenta-se uma descrição do método geoquímico realizado, parâmetros avaliados da recolha de amostras de solos, bem como a análise e interpretação dos resultados obtidos.

Finalmente, no último capítulo, Capítulo 5, apresenta-se uma síntese do trabalho desenvolvido, enunciam-se as principais conclusões e objetivos atingidos com a realização desta dissertação.

## CAPÍTULO 2 - ENQUADRAMENTO

### 2.1. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

A área de estudo situa-se na parte Centro-Norte de Portugal, a Nordeste da cidade de Aveiro, entre Sever do Vouga e Albergaria-a-Velha (Figura 2.1).

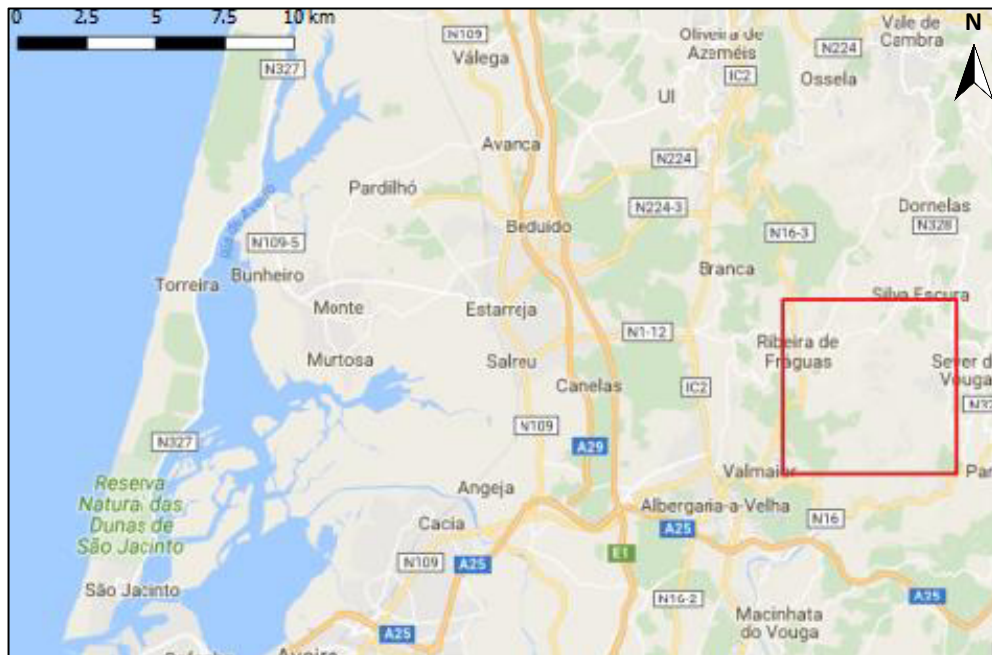


Figura 2.1 - Localização da área de estudo representada por um retângulo vermelho (imagem Google).

A área tem cerca de 42 km<sup>2</sup> e apresenta uma variação topográfica significativa, uma vez que se atinge a altitude de 425 metros no marco geodésico do Redondo e, na parte ocidental encontram-se regiões com altitude de 30 metros. É ocupada por zonas florestais interrompidas, localmente, por ocupação antropogénica.

Do ponto de vista geológico, localiza-se na parte Noroeste do Maciço Ibérico, na Zona de Cisalhamento de Porto-Tomar (ZCPT), a qual é considerada como sendo o limite, no setor Noroeste, entre a Zona de Ossa-Morena (ZOM) e a Zona Centro-Ibérica (ZCI) (Ribeiro *et al.*, 1980). Atendendo a este contexto, procede-se neste capítulo, ao enquadramento no Maciço Ibérico, com especial ênfase na Zona Centro-Ibérica (ZCI) e na Zona de Ossa-Morena (ZOM), delimitado pela Zona de Cisalhamento de Porto-Tomar (ZCPT).

## 2.2. MACIÇO IBÉRICO

O Maciço Ibérico, também conhecido como Maciço Hespérico, constitui a sequência mais completa de afloramentos da Cadeia Varisca europeia (Dallmeyer & Martínez Garcia, 1990). Essa cadeia foi uma cordilheira de grandes dimensões que se formou no final do Paleozóico, em resultado da convergência e da colisão dos continentes Laurussia e Gondwana (Brun & Burg, 1982).

Em 1945, Lotze propôs, com base em critérios estratigráficos, magmáticos, metamórficos e estruturais, a subdivisão do Maciço Ibérico em seis zonas geotectónicas designadas de Nordeste para Sudoeste de: Zona Cantábrica, Zona Astúrico – Ocidental – Leonesa, Zona Galaico – Castelhana, Zona Lusitana Oriental – Alcludiana, Zona de Ossa-Morena e Zona Sul-Portuguesa. Posteriormente, Julivert *et al.* (1974) modificaram esta divisão, unindo a Zona Galaico-Castelhana e a Zona Lusitana Oriental – Alcludiana para formar a Zona Centro-Ibérica. Mais tarde, Farias *et al.* (1987) propuseram que a subzona de Galiza Média e Trás-os-Montes fosse individualizada como Zona da Galiza – Trás-os-Montes (ZGTM) (Figura 2.2).

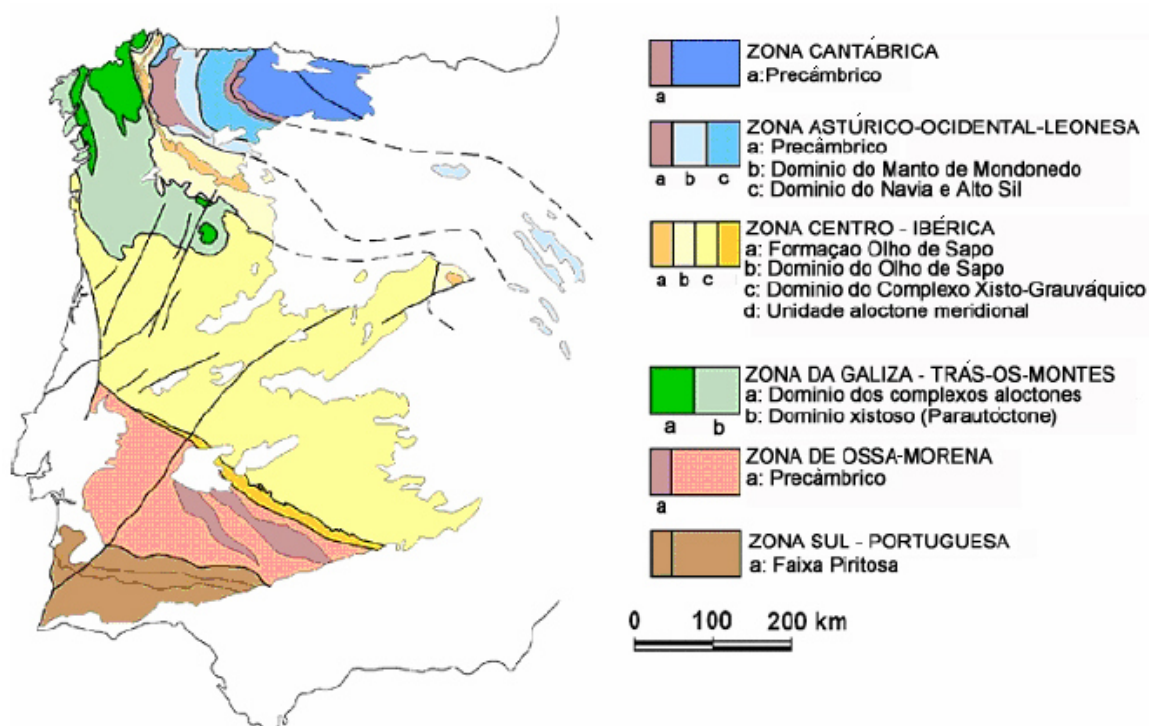


Figura 2.2 - Divisão do Maciço Ibérico em zonas (extraído de Sousa, 2014).

Mais recentemente, Ribeiro *et al.* (2007), propuseram a reorganização do Maciço Ibérico em três terrenos: Terreno Finisterra, Terreno Ibérico e Terreno Sul Português. No setor mais a Noroeste de Portugal, o limite entre os terrenos Finisterra-Ibéria e as zonas geotectónicas Ossa-Morena – Centro-Ibérica é definido por uma importante falha transformante de orientação N-S de movimentação direita – a Zona de Cisalhamento de Porto-Tomar (ZCPT), recentemente

prolongada para Ferreira do Alentejo (ZCPTFA) (Ribeiro *et al.*, 2007; Ribeiro *et al.*, 2013). No setor mais a Sul a separação é feita pela Zona de Cisalhamento de Tomar-Badajoz-Córdoba (ZCTBC).

### 2.2.1. Zonas geotectónicas

Neste subcapítulo, referem-se aspetos gerais de duas das zonas geotectónicas do Maciço Ibérico, da Zona Centro-Ibérica (ZCI) e da Zona de Ossa-Morena (ZOM), que é onde se insere a área de estudo.

#### 2.2.1.1. Zona de Ossa-Morena

A Zona de Ossa-Morena (ZOM) é delimitada, a Norte, pela Zona de Cisalhamento de Porto-Tomar-Badajoz-Córdoba, contactando com a Zona Centro-Ibérica (ZCI), e a Sul (fronteira com a Zona Sul – Portuguesa (ZSP)), pelo cavalgamento de Ferreira-Ficalho (Ribeiro *et al.*, 2013). Na parte Norte, a interpretação dos contactos tectónicos não é consensual: alguns autores atribuem-lhe uma idade Varisca (Burg *et al.*, 1981), outros referem-no como uma sutura orogénica Cadomiana, posteriormente reativada durante a orogenia Varisca (Ribeiro *et al.*, 1990).

Segundo Quesada *et al.* (1990), a evolução pré-Câmbrica da ZOM é subdividida em dois estádios: pré-orogénico e sin-orogénico. O primeiro estádio está representado pela Formação Blastomilitica de Tomar-Badajoz-Córdoba (constituída, predominantemente, por gnaisses, anfibolitos e migmatitos, com forte deformação e metamorfismo de médio a elevado grau) e pela Série Negra (essencialmente formada por metapelitos, mas com intercalações de anfibolitos e de metaliditos). Na evolução Paleozóica, distinguem-se três etapas principais: etapa de *rifting* continental (Câmbrico); etapa de margem passiva (Ordovícico-Devónico inferior) e etapa sin-orogénica (Devónico superior-Pérmico inferior).

No setor Noroeste da ZOM, entre Espinho e Oliveira de Azeméis, a atividade do cisalhamento Porto-Tomar afetou todas as litologias, definindo uma zona de cisalhamento, de orientação N-S – NW-SE, vertical e de movimentação direita (Ribeiro *et al.*, 1980). Foram identificadas duas fases de deformação (Ribeiro *et al.*, 1980; Pereira *et al.*, 1980), as quais correspondem às fases variscas D<sub>1</sub> e D<sub>3</sub> definidas, à escala regional, no Noroeste ibérico (Noronha *et al.*, 1979; Ribeiro *et al.*, 1990; Dias & Ribeiro, 1995). As características destas duas fases de deformação irão ser descritas no subcapítulo seguinte.

### 2.2.1.2. Zona Centro-Ibérica

A Zona Centro-Ibérica (ZCI) localiza-se na parte central do Maciço Ibérico, sendo a zona de maior dimensão. Os limites estão definidos por acidentes tectónicos, a Falha de Vivero, a Norte, e a sua continuação para os sinclinais de Courel e Penalva, a Zona de Cisalhamento de Porto-Tomar, a Oeste (Ribeiro *et al.*, 1979, 1980) e, a Zona de Cisalhamento de Badajoz-Córdoba, a Sul (Ribeiro *et al.*, 1979, 1980).

Do ponto de vista estratigráfico, o aspeto mais característico da ZCI é a predominância de uma potente sequência sedimentar ante-Ordovícica, conhecida como Supergrupo Dúrico-Beirão, que ocupa extensas áreas de afloramento nos territórios português e espanhol. A idade precisa do Supergrupo Dúrico-Beirão não é conhecida, devido à ausência generalizada de microfósseis, contudo, tendo em conta dados de microfósseis, icnofósseis e idades U-Pb em zircões detríticos, admite-se uma idade Proterozóica superior a Câmbrica inferior para esta sequência (Sousa, 2013).

A estruturação da ZCI resultou essencialmente da deformação associada à Orogenia Varisca, estando fracamente representadas as estruturas relacionadas com episódios de deformação mais antigos (Díez Balda *et al.*, 1990). A deformação Varisca é polifásica, sendo reconhecidas três fases principais de deformação dúctil, designadas por D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> e D<sub>3</sub> (Ribeiro *et al.*, 1979). As fases D<sub>1</sub> e D<sub>2</sub> relacionam-se com a etapa colisional do orogéno Varisco, enquanto que a última fase de deformação dúctil, a D<sub>3</sub>, corresponde ao regime espessamento crustal – extensão (Figura 2.3).

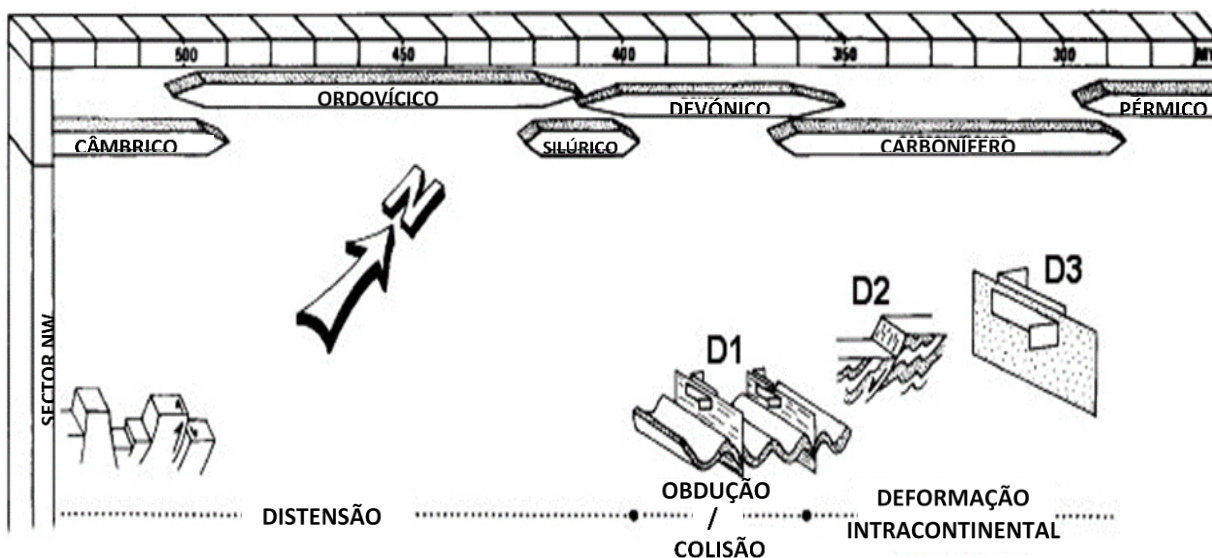


Figura 2.3 - Ilustração dos tipos de estruturas geradas pelas três principais fases de deformação Varisca (D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> e D<sub>3</sub>), no Noroeste peninsular (adaptado de Oliveira, 2014).

A primeira fase de deformação (D<sub>1</sub>) afetou toda a sequência sedimentar pré-carbonífera, provocando a formação de dobras de escala quilométrica, com plano axial sub-vertical e



xistosidade associada ( $S_1$ ), com direção geral NW-SE. As estruturas de segunda fase estão principalmente representadas nas sequências metamórficas de grau médio a alto e relacionam-se com zonas de cisalhamento sub-horizontais onde se gera uma xistosidade ( $S_2$ ) com pouca inclinação (Díez Balda *et al.*, 1990; Valle Aguado *et al.*, 2005). As zonas de cisalhamento transcorrentes de terceira fase produzem dobras de plano axial vertical, por vezes com xistosidade ( $S_3$ ), que redobram as estruturas anteriores nos domínios afetados por estas faixas de deformação (Díez Balda *et al.*, 1990; Valle Aguado *et al.*, 2005).

Durante a fraturação tardi-Varisca, nos últimos estádios da orogenia, desenvolveram-se fraturas segundo dois sistemas conjugados: um sistema direito com direção NNW-SSE a NW-SE e um sistema esquerdo, mais desenvolvido, com direção NNE-SSW a NE-SW (Ribeiro *et al.*, 1979).

O metamorfismo regional está intimamente associado às três fases de deformação dúctil. Em linhas gerais, a história tectono-metamórfica da ZCI caracteriza-se por uma evolução em condições de pressão intermédia (tipo Barroviano) durante a  $D_1$ , que transitam, depois de ser atingido o pico térmico na  $D_2$ , para um regime de baixa pressão durante a terceira fase ( $D_3$ ) (Valle Aguado *et al.*, 2005).

As rochas graníticas afloram numa parte significativa da ZCI. Tendo em conta as relações temporais com a terceira fase de deformação, os granitóides variscos podem ser agrupados em dois conjuntos principais: os granitóides sin- $D_3$  e os granitóides tardi-pós- $D_3$  (Valle Aguado *et al.*, 2005).

### 2.3. FAIXA DE CISALHAMENTO DE PORTO-TOMAR

O bordo Ocidental do Maciço Ibérico está limitado a Este pela ZCI e a Oeste pela Bacia Sedimentar Meso-Cenozóica Lusitaniana. Neste bordo, o limite entre a ZOM e a ZCI faz-se pela faixa de cisalhamento de Porto – Albergaria-a-Velha – Coimbra – Alvaiázere – Tomar, de orientação média NNW-SSE com componente de movimentação direita, constituindo à escala litosférica uma zona de cisalhamento maior inserida, num contexto de interplaca. Esta zona de cisalhamento interseta, na região de Tomar-Abrantes, um outro acidente tectónico, de orientação geral WNW-ESSE e movimento esquerdo, denominado por Faixa de Cisalhamento de Tomar-Badajoz-Córdoba, por sua vez integrado num domínio interplaca (Chaminé, 2000).

A Faixa de Cisalhamento de Porto-Tomar engloba unidades tectonoestratigráficas, de idade Proterozóica média-superior a Paleozóica média-superior, fazendo parte, tradicionalmente, da ZOM do Terreno Autóctone Ibérico inserido na Cadeia Varisca Ibérica. Esta faixa contacta a Oriente com a ZCI (Chaminé *et al.*, 2003).

Ribeiro *et al.* (1995) afirma que a ZCI cavalga a ZOM na região Porto – Albergaria-a-Velha, explicando isto com a presença de um floco tectónico (“*falke tectonic*”) único, em que a ZCI

indenta a ZOM, em regime tangencial durante  $D_1$  e  $D_2$  Variscos e de desligamento direito durante  $D_3$  (zona de cisalhamento de Porto-Tomar). O movimento nesta zona de cisalhamento em  $D_3$ , é compatível com o carreamento para Sul, durante  $D_2$ , da unidade de Carvoeiro-Caldas de S. Jorge, admitindo que o desligamento Porto-Tomar se deita em profundidade mergulhando para Este, logo provocando uma sobreposição da ZCI à ZOM (Ribeiro *et al.*, 1995).

## 2.4. GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

Como referido anteriormente, a área de estudo localiza-se no setor de Espinho – Albergaria-a-Velha – Águeda da Zona de Cisalhamento de Porto-Tomar. Este setor foi alvo de intensa descrição, em termos litoestratigráficos e implicações tectónicas, por parte de Chaminé (2000), onde o autor publicou uma carta geológica 1:100 000 na qual se inclui a área de estudo.

Os Serviços Geológicos de Portugal realizaram três cartas geológicas, uma à escala 1:500 000 (publicada em 1992) e outras duas à escala 1: 50 000 (folha 13-D – Oliveira de Azeméis, publicadas em 1981 e em 2006), porém estas apenas cobrem cerca de metade da área de estudo. Em 2008, Gomes, publicou na sua tese de doutoramento, um mapa geológico na zona de estudo, mas a precisão do mesmo ainda se verifica insuficiente. Oliveira (2014) elaborou um mapa litológico à escala 1:15 000, perto do local de estudo, contudo ainda não abrange a área pretendida.

Severo Gonçalves (1974) criou um mapa geológico, à escala 1:80 000 (Figura 2.4), onde se verificou que a cartografia geológica tem uma maior precisão em relação aos referidos anteriormente e, que abrange na totalidade a área de estudo. Por estes motivos foi esta a cartografia geológica utilizada. Esta foi parcialmente editada e georreferenciada, através dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), para posterior edição e consulta no reconhecimento de campo. Apesar da cartografia apresentar termos litológicos já em desuso, manteve-se a nomenclatura dada pelo autor, sendo feita a correspondência às diferentes unidades litoestratigráficas atuais, sempre que possível, ao longo deste capítulo.

As observações que se seguem ao longo deste capítulo são, meramente, de reconhecimento geológico aquando a passagem ou paragem para recolher amostras geoquímicas ou elaboração de perfis geofísicos, previamente planeados. Foi possível verificar na área de estudo, que a interpretação de Severo Gonçalves (1974) é bastante precisa quer a níveis estruturais, quer a níveis litológicos.

Os afloramentos são analisados à escala macroscópica, sempre referenciados em relação à cartografia de Severo Gonçalves (1974), e acompanhados de suporte fotográfico.



## 2.4.1. Unidades alóctones da Zona de Ossa-Morena

### 2.4.1.1. Unidade de São João-de-Ver

A Unidade de São João-de-Ver corresponde a uma faixa de rochas metassedimentares, com orientação geral N-S a NNW-SSE, que se desenvolve desde a localidade de S. João-de-Ver até próximo à localidade de Vale Maior (Albergaria-a-Velha), que é caracterizada como uma unidade tectonoestratigráfica alóctone da ZOM (Chaminé, 2000).

Esta unidade é constituída por rochas que apresentam um metamorfismo de grau médio (Chaminé *et al.*, 1995; Ribeiro *et al.*, 1995; Chaminé, 2000) e os micaxistos exibem isógradas de granada + biotite + estauroлите + silimanite em Oliveira de Azeméis e biotite + silimanite em Sever do Vouga (Gonçalves, 1984), onde Gonçalves (1984) realçou a presença de estruturas em bola de neve e sombras de pressão na granada, sugerindo uma fase de metamorfismo Pré-Câmbrico anterior, logo à paragénese biotite + estauroлите + silimanite (hercínica).

Os contactos tectónicos são caracterizados por falhas inversas sendo, geralmente, destacados por uma faixa de corpos granitóides deformados e/ou bandas de alteração intensa, com a presença frequente de caixas de falha argilosas muito profundas (“*fault-gouge*”) (Chaminé, 2000).

O contacto Oeste da Unidade de S. João-de-Ver é apresentado ou por corpos granitóides de duas micas Variscos e/ou corpos aplito-pegmatíticos, ou com os xistos micáceos, paragnaisses e migmatitos de carácter arterítico (Severo Gonçalves, 1974), recentemente classificada como Unidade de Lourosa inferior (Chaminé, 2000; Chaminé *et al.*, 1996a, 2003).

O limite do contacto Este, limite de Nadais (a NNE de S. João da Madeira) até Carvoeiro (a SE de Albergaria-a-Velha), sempre no ramo Oeste do megacisalhamento de Porto-Tomar, é feito por quartzitos e em determinados troços o limite desta falha contacta com os xistos ardósíferos (Unidade de Carvoeiro – Caldas de S. Jorge) do Ordovícico ou por aluviões do quaternário (Chaminé, 2000). O contacto é classificado como o ramo mais ocidental do megacisalhamento Porto-Tomar (Chaminé, 2000; Chaminé *et al.*, 1996b, 2003).

A secção mais oriental da Unidade de S. João-de-Ver é alvo de bastante controvérsia entre autores. É possível verificar na cartografia proposta por Gonçalves (1984) que esta secção se prolonga desde as Minas do Braçal (Sever do Vouga) até, pelo menos, à povoação de Talhadas, e que esta unidade se encontra limitada a Oeste pelo Complexo Xisto-Grauváquico, a Este por xistos micáceos, paragnaisses e migmatitos e mais a Sul pelo denominado “Granito de Talhadas”, descrito no subcapítulo 2.4.5. Valle Aguado (1992) apresenta uma cartografia semelhante à de Severo Gonçalves (1974), porém esta divide a secção em “filádios com clorite e biotite”, e em “micaxistos com granada e/ou estauroлите”. No entanto, na cartografia de Pereira *et al.* (1980, 2006) o contacto Este é descrito com a presença de corpos granitóides, como foi mencionado

anteriormente, e também, pelo contacto do Complexo Xisto-Grauváquico, sendo assim discordante com a interpretação de Severo Gonçalves (1974).

A Unidade de S. João-de-Ver caracteriza-se por possuir, essencialmente, duas litologias bem diferenciadas: na base reconhece-se um conjunto de rochas porfiróides que correspondem a metapórfitos blastomiloníticos e graníticos e ainda rochas gnáissicas muito deformadas; no topo, identificam-se micaxistos, por vezes granatíferos, e com intercalações, de metagrauvaques (Chaminé, 2000; Chaminé *et al.*, 2003).

#### 2.4.1.2. Unidades de Albergaria-a-Velha e de Sernada do Vouga

Na região de Albergaria-a-Velha afloram, numa área restrita, rochas metapelíticas de cor negra e de granularidade fina, apresentando um metamorfismo orgânico baixo. Estas rochas metapelíticas negras datadas palinologicamente do Devónico médio-superior e do Carbonífero inferior caracterizam-se, do ponto de vista tectonoestratigráfico, a designada Unidade de Albergaria-a-Velha e a Unidade de Sernada do Vouga, respetivamente (Chaminé *et al.*, 2003). Nestes metapelitos ocorrem alternâncias de níveis psamíticos, de cor cinzenta, e de dimensões milimétricas (Figura 2.5). Existem ainda intercalações de níveis, milimétricos a centimétricos, de lentículas e filonetes de quartzo de exsudação, bem como de rochas carbonatadas. (Chaminé *et al.*, 2000).

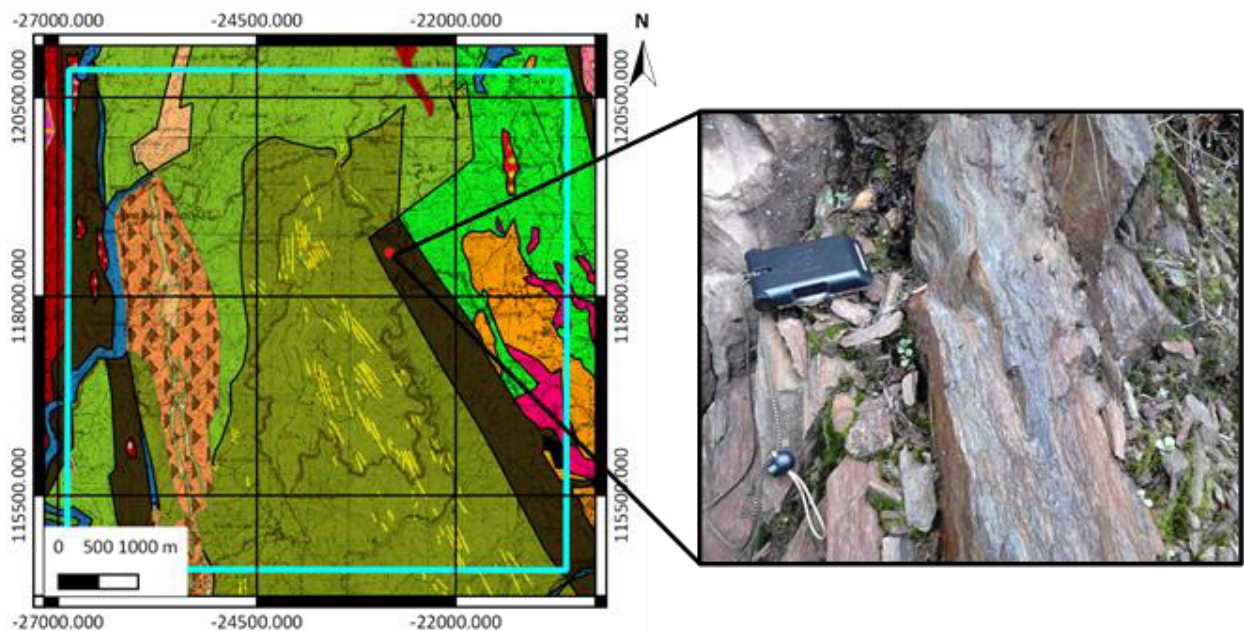


Figura 2.5 - Afloramento de micaxisto, com orientação N155°, sub-vertical.

As rochas metacarbonatadas apresentam-se em níveis compactos de granularidade fina e cor cinzenta acastanhada, podendo em alguma bancadas apresentar uma tonalidade esverdeada

(Chaminé *et al.*, 2000), encontram-se intercaladas com os metapelitos do Devónico médio-superior (Chaminé *et al.*, 2003). As rochas carbonatadas desta natureza desenvolvem-se, em geral, ao longo de contactos tectónicos, preferencialmente em zonas de fratura onde há circulação de fluidos relacionados com processos metassomáticos ou hidrotermais, e foram assinalados em alguns sectores da ZOM da Cadeia Varisca Ibérica (Chaminé, 2000).

## 2.4.2. Unidades para autóctones e autóctones da Zona de Ossa-Morena

### 2.4.2.1. Unidade de Arada

A unidade de Arada corresponde a uma faixa de rochas metassedimentares, com orientação geral NNW-SSE, de idade Proterozóica superior (Chaminé *et al.*, 2003).

Esta unidade constitui o autóctone relativo da ZOM, formada por uma sucessão monótona de filádios negros e esverdeados, com raras e finas intercalações de níveis de metaliditos de cor cinzenta escura. Os filádios têm granularidade fina e neles encontram-se, geralmente, intercalações de filonetes de quartzo de exsudação (Chaminé, 2000; Chaminé *et al.*, 2003). Hespanha (1987) referiu também a existência de finas intercalações psamíticas (gravacóides) no complexo de filádios e xistos, que se encontra metamorfizada na zona da clorite.

A Norte de Vale Maior a Unidade de Arada é carregada pela Unidade de S. João-de-Ver (Chaminé, 2000).

### 2.4.2.2. Unidade de Lourosa

A Unidade de Lourosa é uma unidade para autóctone da ZOM, que corresponde a uma larga faixa de metamorfitos de alto grau metamórfico, com orientação geral NNW-SSE. Os metamorfitos são, nomeadamente, gnaisses granitóides, migmatitos, e micaxistos, por vezes granatíferos e com intercalações de xistos anfibolíticos e de anfibolitos (Chaminé, 2000). Severo Gonçalves (1974) descreveu esta unidade como sendo composta por micaxistos, paragnaisse e migmatitos de carácter arerítico.

A diferenciação litológica marcada pelo predomínio, nesta unidade, de migmatitos e/ou anfibolitos (às vezes com granadas), bem como a sua posição relativa entre as unidades adjacentes, levou à sua subdivisão em duas unidades litodémicas, que foram designadas por Unidade de Lourosa inferior e Unidade de Lourosa superior. O limite desta subdivisão faz-se, grosso modo, a Oeste da antiforma de rochas graníticas de Santa Maria da Feira. Assim, as unidades referidas caracterizam-se por (Chaminé *et al.*, 2003):

- Unidade de Lourosa inferior é constituída por migmatitos, onde se diferenciam corpos lenticulares de ortognaisses biotíticos, que apresentam uma franca blastese de feldspatos e foliação gnáissica, de dimensão quilométrica e orientação geral NW-SE. Em afloramento as rochas migmatíticas, quando não alteradas, apresentam um bandado típico e exibem estruturas variadas (Chaminé, 2000; Chaminé *et al.*, 2003). As rochas desta unidade contêm uma intensa meteorização (Chaminé, 2000).
- Unidade de Lourosa superior é formada por micaxistos biotíticos de cor castanha, por vezes granatíferos, e com níveis de quartzo de exsudação. Em alguns pontos os micaxistos têm uma cor avermelhada e /ou amarelada devida ao seu estado de alteração. Ocasionalmente, estas rochas metassedimentares encontram-se intruídas por gnaisses granitóides, tomando a forma de apófises, cordões, rosários ou lenticulas, chegando mesmo a estar migmatizadas (Chaminé, 2000; Chaminé *et al.*, 2003).

O limite ocidental da Unidade de Lourosa corresponde a uma falha inversa, cavalgante para Oeste (cavalgamento de Lourosa) que põe esta unidade em contacto com as Unidades de Espinho e de Arada. O contacto oriental está salientado, essencialmente, pela presença de granitóides e é feito, em parte, pelo ramo Oeste do carreamento de S. João-de-Ver (Chaminé, 2000; Chaminé *et al.*, 2003).

### 2.4.3. Unidade parautóctone da Zona Centro-Ibérica

#### 2.4.3.1. Unidade de Carvoeiro e de Caldas de S. Jorge

Esta unidade é constituída por uma estreita faixa de quartzito ‘Americano’ e xistos ardosíferos cinzentos, com orientação geral N-S, e que se prolonga desde a localidade de Caldas de S. Jorge até Carvoeiro, sendo distinguidas, do ponto de vista informal, como a base a Unidade do Quartzito ‘Americano’ de Caldas de S. Jorge e, no topo, a Unidade de Carvoeiro (Chaminé, 2000; Chaminé *et al.*, 2004).

A unidade de Carvoeiro e de Caldas de S. Jorge é afetada por cisalhamento de fase D<sub>1</sub> Varisca, que gera uma fábrica planar deitada e estiramento próximo de N-S. A deformação concentra-se num carreamento basal que provoca a sobreposição ao autóctone da ZCI, mas diminui para cima na direção das formações xistentas da Unidade de Carvoeiro (Ribeiro *et al.*, 1995).

##### 2.4.3.1.1. Unidade do Quartzito ‘Americano’ de Caldas de S. Jorge

Dada a sua ampla distribuição na ZCI, e pela uniformidade das suas características litológicas, estes afloramentos quartzíticos representam um importante nível cartográfico de

referência nas sequências de idade Ordovícica. A idade Ordovícica Inferior (Arenigiano) destas litologias é sugerida por correlação com a Formação de Santa Justa observada no anticlinal de Valongo, na qual foi encontrada uma associação de icnofósseis característicos do Arenigiano. Contudo, embora as características destes quartzitos se assemelhem às dos quartzitos da Formação de Santa Justa, não foram encontrados neste sector quaisquer elementos de natureza paleontológica (Chaminé, 2000). Severo Gonçalves (1974) coloca os quartzitos como uma formação interestratificada no CXG, em virtude das características estruturais, da ausência de evidência de descontinuidades ou discordâncias, e da ausência de fósseis.

Esta unidade cartografada por Severo Gonçalves (1974) é descrita como quartzitos, liditos e xistos argilosos, sendo que Chaminé (2000) afirma que os quartzitos apresentam no geral uma tonalidade clara, com raras intercalações xistentas, e ocorrem, habitualmente próximo ao contacto com os xistos ardosíferos.

Existem dois alinhamentos quartzíticos, entre Caldas de S. Jorge e Carvoeiro (Albergaria-a-Velha), que correspondem ao traço cartográfico do dobramento regional. Logo, o alinhamento quartzítico ocidental prolonga-se desde Caldas de S. Jorge até Gavião (Albergaria-a-Velha); e o alinhamento oriental estende-se desde Caldas de S. Jorge (Serra de Estose, próximo do Penedo do Ferro) até Carvoeiro (Albergaria-a-Velha) (Chaminé, 2000).

O alinhamento oriental contacta a Oeste com os xistos ardosíferos acinzentados e do lado Este com o Complexo Xisto-Grauváquico (CXG). Já o alinhamento ocidental destes quartzitos contacta tectonicamente, a Oeste, com as unidades da ZOM, e a Este, os quartzitos dão lugar, de forma gradual, a xistos ardosíferos acinzentados escuros, surgindo, por vezes, intercalações quartzíticas e xistentas no contacto entre as duas litologias (Chaminé, 2000).

No reconhecimento de campo efetuado verificou-se que os quartzitos aflorantes, localizados mais a Sul da área de estudo, aparentam ter uma textura mais brechóide do que os a Norte, o que é parcialmente corroborado pela existência da pedra de brechas na zona Sul dos mesmos, sendo necessário um estudo mais detalhado sobre esta secção para se estudar a sua diferenciação.

Através da análise da cartografia de Severo Gonçalves (1974) e também a de Valle Aguado (1992), verifica-se que a litologia “grauvaques e xistos grauvacóides”, não contacta em toda a sua extensão com os quartzitos referidos anteriormente, tal como sugerido e ilustrado na cartografia mais recente de Pereira *et al.* (2006). O reconhecimento de campo permitiu confirmar as observações de Severo Gonçalves (1974) e Valle Aguado (1992), uma vez que os “grauvaques e xistos gravacóides” contactam, em grande parte, com a litologia designada pelo primeiro autor de “filádios e xistos cloríticos”, sendo esta litologia reclassificada, parcialmente, como Unidade de Carvoeiro (Chaminé, 2000).



#### 2.4.3.1.2. Unidade de Carvoeiro

O quartzito 'Americano' contacta em aparente continuidade estratigráfica, com xistos de baixo grau metamórfico. Os xistos ardosíferos apresentam, geralmente, cor acinzentada escura a negra, mas por vezes, podem apresentar tonalidade mais clara que é devida à ocorrência de finas intercalações siltíticas (Chaminé, 2000; Chaminé et al., 2004). De registar na região do Carvoeiro (antigas pedreiras de Carvoeiro) a ocorrência no seio de filonitos negros de nódulos, decimétricos a centimétricos, de galenite o que indicia uma circulação de fluidos ao longo da faixa de cisalhamento, provavelmente relacionados com o "Filão Metalífero das Beiras", pois já Chaminé (2000) refere que C. Ribeiro (1860) menciona a existência de vários filões quartzosos mineralizados na região (Chaminé, 2000). Através do reconhecimento de campo foi possível encontrar filões quartzosos nesta unidade com mineralizações de pirite (Figura 2.6).

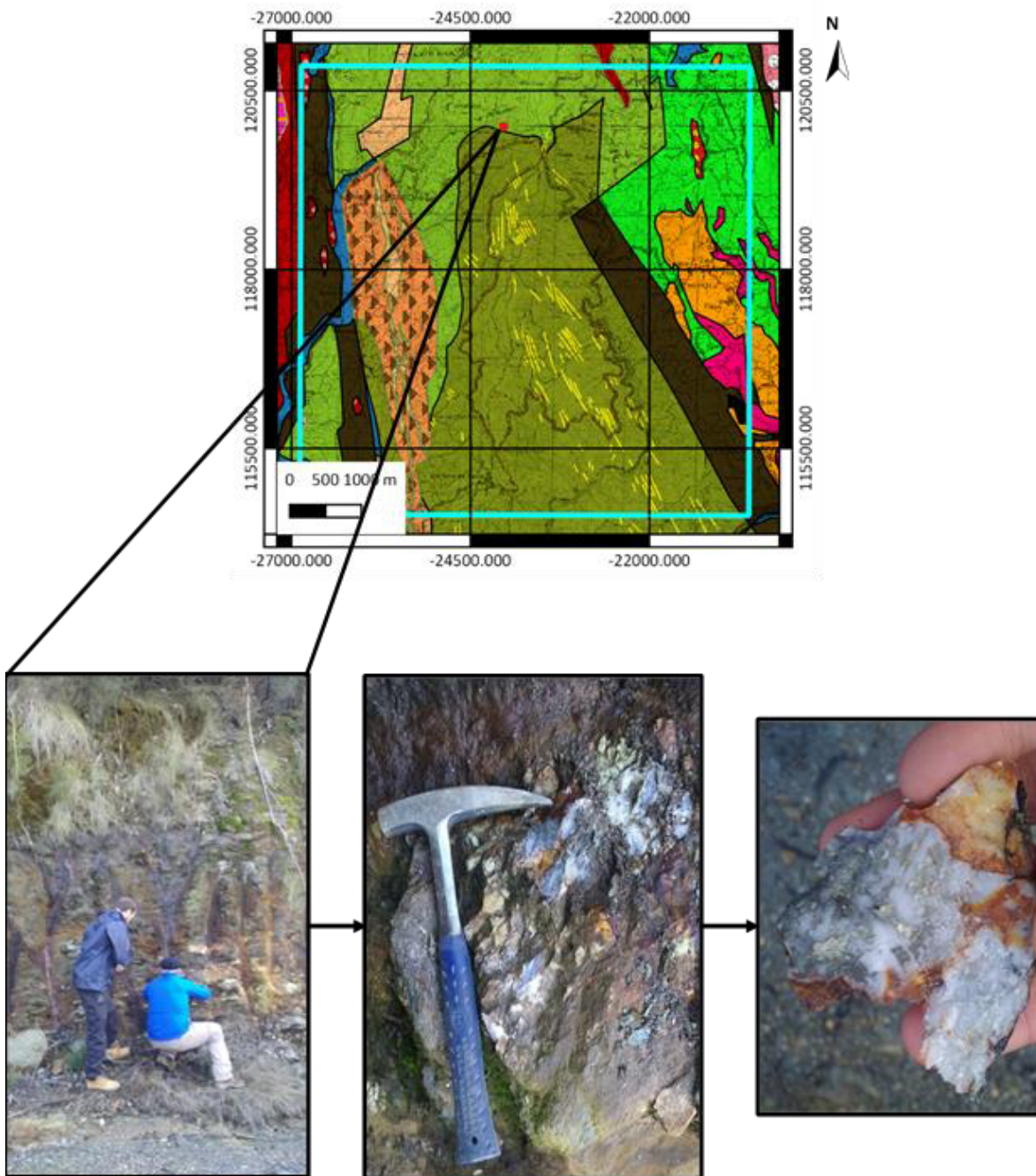


Figura 2.6 - Afloramento de xistos ardósíferos com filões de quartzo, com bastante oxidação visível e pirite.

Os xistos da Unidade de Carvoeiro compreendem uma extensão considerável de afloramentos que ocorrem entre dois alinhamentos quartzíticos, tendo sido incluídos nos “xistos das Beiras” ou “Complexo Xisto-Grauváquico” (CXG) (Chaminé *et al.*, 2004). Porém, observa-se na caracterização dos mesmos, nos trabalhos de Severo Gonçalves (1974) e Valle Aguado (1992), que esta unidade corresponde a “filádios e xistos cloríticos”.

Através do reconhecimento geológico de campo, foi possível verificar uma transição desta unidade, designada por “filádios e xistos cloríticos”, para “grauvaques e xistos grauvacóides”.

Esta transição é facilmente detetada na estrada de ligação entre Ribeira de Fráguas e Silva Escura, sendo visível grande deformação da unidade “filádios e xistos cloríticos” (Figura 2.7). É de realçar a existência de várias falhas e movimentos entre os diferentes níveis litológicos, nos afloramentos.

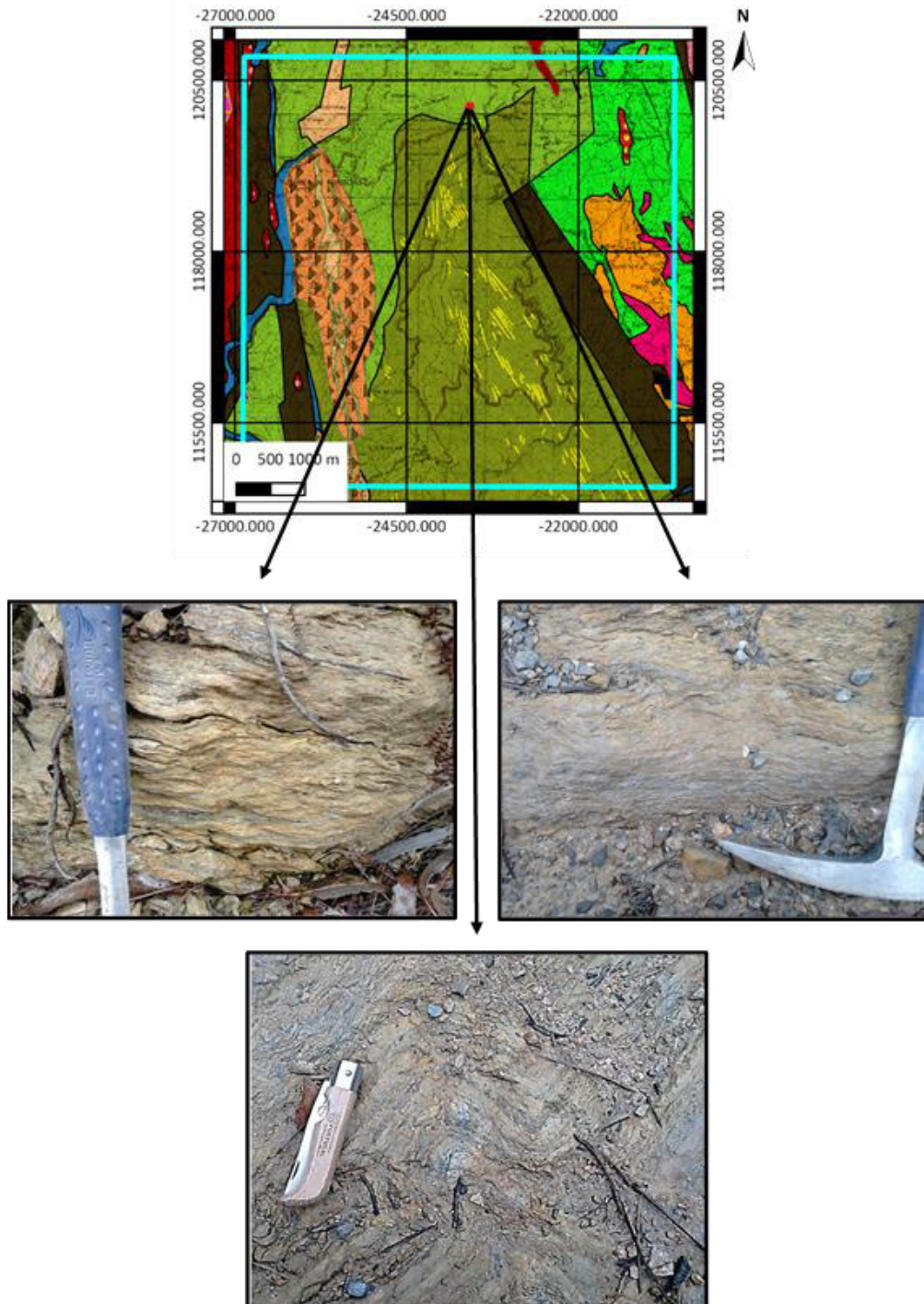


Figura 2.7 - Visível deformação da litologia designada por Severo Gonçalves (1974) de "filádios e xistos cloríticos".

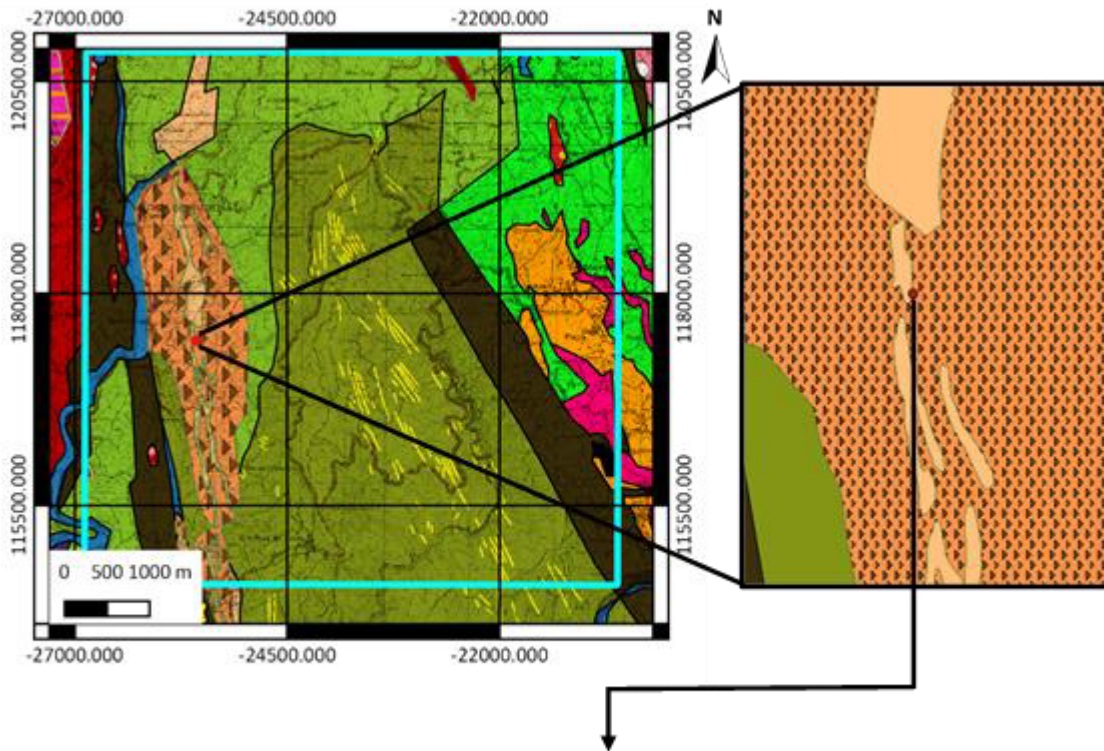


Figura 2.8 - (A) Falha observada, também reconhecida na cartografia, sendo assumida pela mudança de direção do afloramento e mesmo no estado de meteorização da litologia, surgindo quartzofilito (em (B)) e filito (em(C)).

Severo Gonçalves (1974) e Valle Aguado (1992) ilustram nas suas cartografias uma diferenciação estrutural e litológica do CXG. A partir do reconhecimento geológico de campo verifica-se correta a transição dos grauvaques para filádios, como sugerido por Severo Gonçalves (1974). Este autor admitiu, também, a existência de uma transição dos filádios para quartzofilitos a Este de Ribeira de Fráguas, passando por Gavião, até ao Rio Vouga (Figura 2.8), onde foi possível observar um elevado grau de alteração desta litologia na aproximação de níveis mais grauvacóides (Figura 2.9).

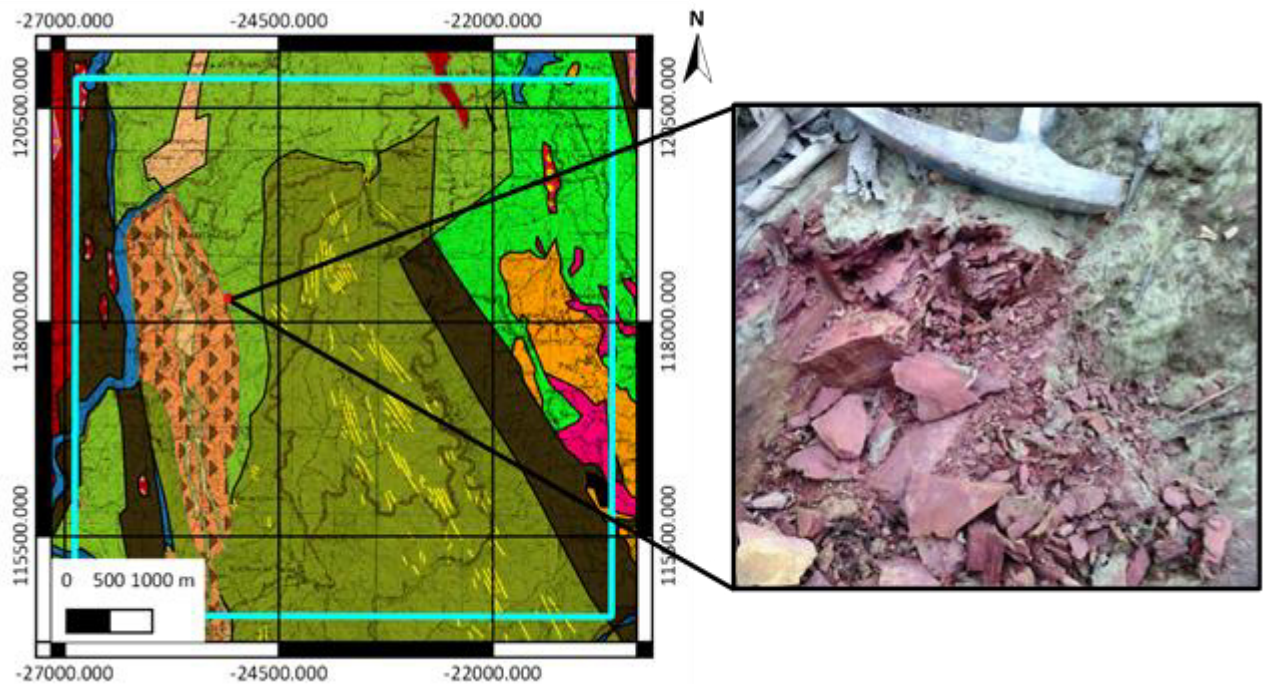


Figura 2.9 - Aumento do grau de alteração na aproximação de níveis mais grauvacóides.

#### 2.4.4. Supergrupo Dúrico-Beirão: Grupo das Beiras

O Complexo Xisto-Grauváquico (CXG) e, atualmente, redefinido como Supergrupo Dúrico-Beirão por Silva *et al.* (1988) aflora exclusivamente no autóctone da Zona Centro-Ibérica (ZCI). Este Supergrupo Dúrico-Beirão distribui-se por três sub-bacias correspondentes às sequências dos grupos das Beiras, do Douro e de Arda-Marofa (Silva, 2005).

O Grupo das Beiras é descrito como intercalações centimétricas de filitos e metagrauvaques típicas de uma sequência turbidítica, considerando este grupo constituído apenas pelas formações de Malpica do Tejo (membros inferior, superior e indiferenciada) e de Rosmanihal ( fácies distal e proximal). Esta sucessão aflora nos extremos Sul-Sudoeste e Oeste-Noroeste do autóctone da ZCI, confinando com a sutura contígua à ZOM (Silva, 2005).

Na área de estudo foram referenciadas bancadas conglomeráticas e quartzíticas. Os xistos e metagrauvaques são de grão fino a médio e têm matriz quartzo-micácea abundante constituída

por clastos quartzo-feldspáticos e raros elementos líticos (Severo Gonçalves, 1974; Pereira *et al.*, 1980; Valle Aguado, 1992, Chaminé, 2000). As bancadas conglomeráticas são frequentes na região Norte estudada e ausentes a Sul (Valle Aguado, 1992).

O Complexo Xisto-Grauváquico é descrito, na área de estudo, como Grupo das Beiras Indiferenciado (Severo Gonçalves, 1974; Pereira *et al.*, 1980, 2006; Valle Aguado, 1992; Chaminé, 2000; Ribeiro *et al.*, 2013). Através do reconhecimento de campo realizado, foi possível verificar a direção predominante das litologias (NW-SE), tal como na cartografia de Severo Gonçalves (1974) e no domínio 4 de Valle Aguado (1992); e também foi possível observar vários filões de quartzo, com espessura centimétrica a decimétrica, tal como verificado na cartografia de Severo Gonçalves (1974) (Figura 2.10).

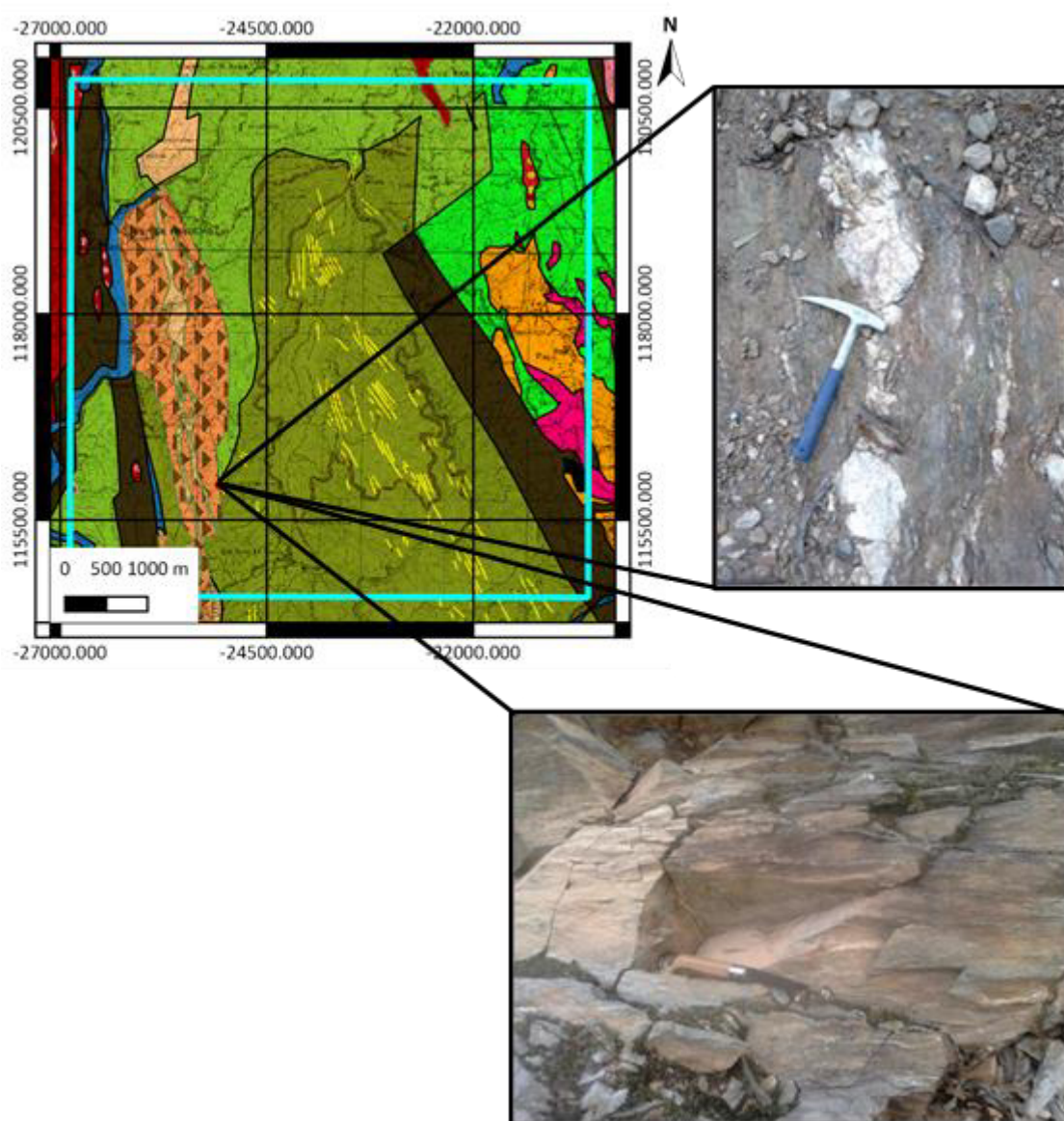


Figura 2.10 - Típico aspeto do CXG aflorante na área de estudo (fotografia de baixo), intersectado por filões de quartzo estéril (fotografia de cima).

A separação do CXG proposta por Severo Gonçalves (1974) e Valle Aguado (1992) é baseada numa divisão litológica e estrutural, estando este último critério associado a uma inflexão das trajetórias da xistosidade e ao alinhamento das exploração mineiras que se encontram abandonadas desde o Braçal-Malhada, Coval da Mó, Telhadela – Palhal, sendo assim o limite uma linha N-S a Oeste do Complexo Mineiro do Braçal e inflete, acompanhando a xistosidade E-W sub-horizontal (Almeida, 1993). A compartimentação do CXG na área de estudo foi descrita por Almeida (1993) na seguinte maneira:

- Compartimento Central BGM (baixo grau metamórfico) com deformação geral: mais a Norte, apresentando uma deformação generalizada: filitos, xistos cloríticos, com finas intercalações grauvacóides e quartzitos interestratificados, onde Severo Gonçalves (1974) descreve estas litologias como dobradas isoclinalmente para nascente.
- Deformação fundamentalmente  $S_1$ : encontrando-se esta mais a Sul e descrita como grauvaques e xistos grauvacóides, apresentando filões de quartzo estéreis.

#### 2.4.5. Granitóides

As formações metassedimentares da área de estudo contactam, maioritariamente, com corpos granitóides precoces e/ou ante-hercínicos, sendo também descritos corpos sintectónicos devido à sua proximidade.

##### 2.4.5.1. Granitóides precoces e/ou ante-hercínicos

Os granitóides deste grupo dispõem-se espacialmente ao longo da denominada “Faixa Blastomilonítica de Oliveira de Azeméis” e foi-lhes mesmo atribuída a designação de “Complexo granítico da faixa blastomilonítica de Oliveira de Azeméis” (Chaminé, 2000).

As principais manchas dos granitóides precoces e/ou ante-hercínicos observadas no setor Espinho – Albergaria-a-Velha são formadas por vários complexos de rochas granitóides constituídos fundamentalmente por granitos gnaíssicos, por ortognaisses e por gnaisses-migmatíticos, de orientação variável de N-S a NW-SE, e ocupando o núcleo de uma sinforma cujo eixo se orienta na direção NW-SE (Chaminé, 2000).

Pereira *et al.* (1980) descrevem os corpos granitóides como sendo constituídos por granitos e granodioritos gnaíssicos de grão médio com duas micas, essencialmente moscovíticos, apresentando algumas zonas blastese de feldspatos.

A Norte, da área de estudo existem corpos granitóides hercínico-precoces de gnaisses albitico-moscovíticos com diferentes graus de blastese, sendo esse um dos critérios usado para os distinguir, bem como, a presença de estruturas oceladas ou dobradas (Pereira *et al.*, 1980).

Entre Oliveira de Azeméis e Vale Maior (Albergaria-a-Velha) existem gnaisses de grão fino e metapórfiros com forte deformação (Figura 2.11), de origem hercínica-precoca (Pereira *et al.*, 1980).

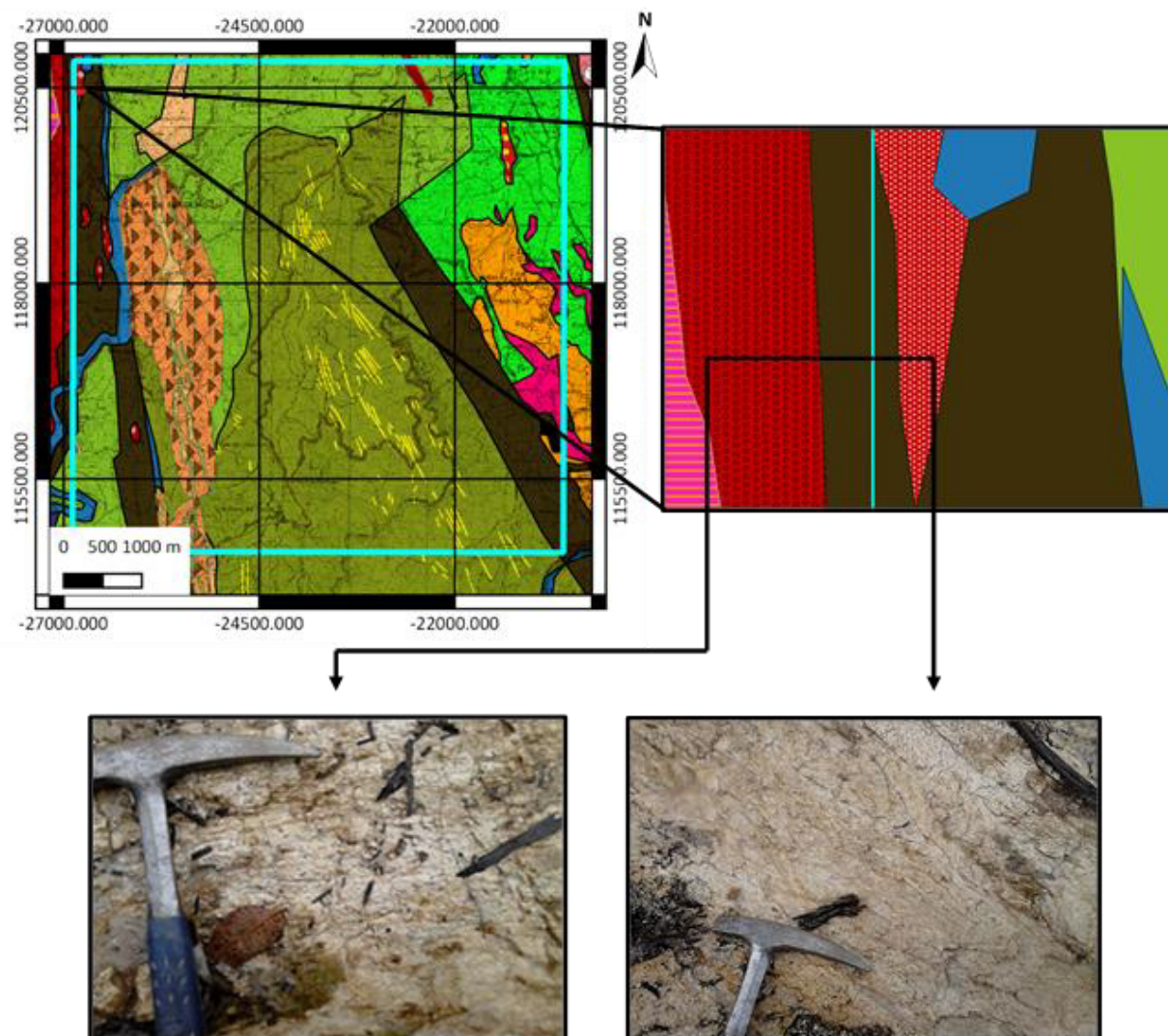


Figura 2.11 - Afloramento de gnaisses de grão fino.

A Sul, verifica-se um aumento das zonas de blastese feldspática, a ocorrência de inclusões de micaxisto com estruturas oceladas e, por fim, uma passagem gradual para gnaisses ocelados (Pereira *et al.*, 1980).



As associações minerais mais comuns são o quartzo, a plagioclase, a biotite, a moscovite, a microclina pertítica; os principais minerais acessórios são o zircão, a apatite, a fibrolite, a esfena e óxidos de ferro (Chaminé, 2000).

#### 2.4.5.2. Granitóides sin-tectónicos

No setor Espinho – Albergaria-a-Velha os granitóides sintectónicos estão instalados próximo ao limite da faixa de cisalhamento da ZOM/ZCI e segundo o eixo da antiforma de Oliveira de Azeméis-Santa Maria da Feira. A maioria destes granitóides incluem-se no grupo dos “granitos sin-orogénicos de duas micas” e são sin a tardi-fase D<sub>3</sub> varisca (Chaminé, 2000). No geral, formam na região maciços compósitos que ocupam os núcleos de antiformas da fase D<sub>3</sub> Varisca intimamente relacionados com o metamorfismo regional e com o desenvolvimento de megacisalhamentos dúcteis. São granitos de duas micas, de grão médio a grosseiro, por vezes porfiroide, exibindo normalmente deformação expressa por foliação contemporânea da fase D<sub>3</sub> Varisca (Chaminé, 2000).

Os granitos sin-tectónicos da região são constituídos, do ponto de vista petrográfico, pela seguinte associação mineralógica essencial: plagioclase (albite-oligoclase), microclina pertítica, quartzo, biotite e moscovite, e acessoriamente por clorite, fibrolite, zircão, apatite, esfena, rútilo e óxidos de ferro (Chaminé, 2000).

## 2.5. ENQUADRAMENTO MINEIRO

As mineralizações existentes na área de estudo encontram-se relacionadas com o “Grande Filão Metalífero das Beiras”, sendo esta a nomenclatura utilizada para designar um conjunto de mineralizações que ocorrem numa orientação geral N-S, com cerca de 10 km de largura, de S. João da Madeira até Coimbra (aproximadamente).

A faixa metalífera situa-se entre os alinhamentos tectónicos de Oliveira de Azeméis – Albergaria-a-Velha (Maciço de Oliveira de Azeméis) e de Vale de Cambra – Senhoraia – Paradela (Gnaisses Albítico-Moscovíticos do mesmo maciço). Os filões de quartzo que suportam as mineralizações parecem relacionar-se com o maciço de Oliveira de Azeméis, enquadrando-se geograficamente no interior das ocorrências ocidentais e orientais dos granitóides e, tipicamente da faixa blastomilonítica (Gonçalves, 1984).

Na área de estudo incluem-se as minas do Braçal, Malhada, Coval da Mó e do Palhal. Tendo em conta a interpretação e análise bibliográfica de Almeida (1993), Gonçalves (1984) e Hespanha (1987), foi possível sugerir uma localização dos diferentes filões explorados (Figura 2.12). Nas

minas do Palhal e Braçal-Malhada efetuava-se a exploração de galena (mineral composto de sulfureto de chumbo).

O complexo mineiro Braçal-Malhada foi alvo de intensa descrição por Almeida (1993), onde descreveu a história e ciclos das minas, recolhendo dados antigos dos “Serviços de Fomento Mineiro”, de autores como Carlos Ribeiro (1857), Schiappa d’Azevedo (1858), M. Corrêa de Mello (1900), Gregório Rôlla (1909). Não sendo estes dados consultados para a realização deste trabalho, irá ter-se em conta a interpretação de Almeida (1993), visto ser fundamental a descrição deste complexo mineiro.

Almeida (1993) refere que a zona do Braçal está marcada desde a época dos Romanos pela lavra dos filões de chumbo e prata que ocorrem irregularmente na região. Este mesmo autor descreve os relatórios iniciais da existência de dois campos de exploração (Braçal e Malhada), sendo que entre 1900 e 1917, a Companhia Mineira e Metalúrgica do Braçal efetuou explorações em W. Braçal, situado a poente do marco geodésico do Redondo e, ligou os trabalhos do Coval da Mó aos da Malhada. O declínio deste ciclo de exploração deu-se no início da Primeira Guerra Mundial, devido à falta de mão-de-obra e à dificuldade na obtenção de matérias-primas. A lavra mineira recuperou nova dinâmica após a Segunda Guerra Mundial, explorando a maior profundidade no Coval da Mó, Malhada e Braçal; este último ciclo terminou os anos setenta.

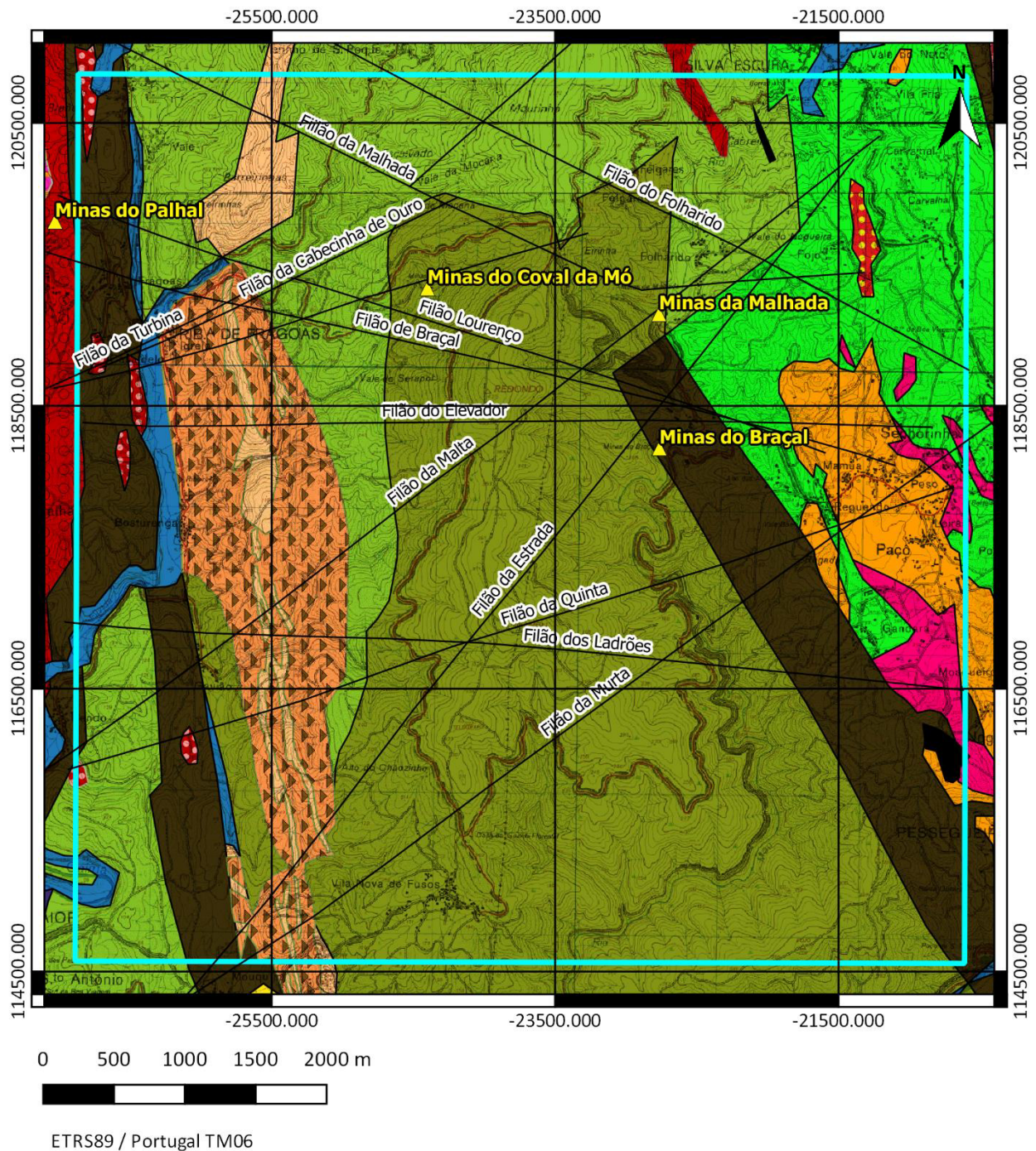


Figura 2.12 - Localização dos diferentes filões explorados nas diversas minas existentes.

Do trabalho de Almeida (1993) ressalta que o filão não é uma estrutura contínua, sendo pelo contrário, constituído por fragmentos de rocha encaixante aglutinados por um cimento argilo-ferruginoso com pirite e, que a rocha encaixante está muito fraturada. A mineralização é muito irregular, de modo que, implantada ao longo das “fendas ou fraturas” principais, muda frequentemente tanto de orientação, em relação ao Norte magnético, de E-W para NW-SE, como na inclinação de Norte para Sul. Em termos de possança eficaz de minério também não existe

regularidade, atingindo por vezes 6 e 7 metros, para logo desaparecer, como é o caso do prolongamento do filão do Braçal para Oeste, onde a argila passa a ser o único constituinte. Em termos da estrutura e forma dos jazigos, as fraturas principais muitas vezes dividem-se em ramos paralelos que voltam a juntar-se confluentes com os acidentes tectónicos principais ocorrem “betas ou vénulas” que provavelmente corresponderão a fraturas distensivas ou cisalhamentos conjugados de natureza frágil que estão mineralizadas pela galena (Almeida, 1993).

A mineralização existente é classificada como sendo do tipo Cu-Pb-Zn com Au e Ag associados, sendo que os últimos são subprodutos pouco significativos. A associação mineral presente é bastante simples e consiste em galena, esfalerite, pirite, calcopirite, marcassite, dolomite, quartzo, siderite, anquerite, calcite e minerais de alteração supergénica como a anglesite. A galena, por vezes argentífera, era o principal mineral explorado nestes jazigos. A dolomite, principal mineral da ganga, é contemporânea da galena na fase principal de mineralização (Marques de Sá e Noronha, 2012).

O jazigo do Braçal apresenta semelhanças com outros jazigos hidrotermais filonianos de Pb-Zn, como o de Freiberg na Alemanha ou o de Coeur d’Aléne nos Estados Unidos da América (Marques de Sá e Noronha, 2012).

## CAPÍTULO 3 - PROSPECÇÃO GRAVIMÉTRICA

### 3.1. INTRODUÇÃO

O método gravimétrico mede as variações no campo gravitacional da Terra. O campo gravitacional terrestre sofre pequenas variações devido às diferenças de densidade das formações geológicas aflorantes ou situadas abaixo da superfície. Tal como nos métodos magnético, radiométrico e algumas técnicas do método elétrico, o método gravimétrico utiliza uma fonte natural e, a par com o método magnético é um método potencial (Telford *et al.*, 1990).

Embora o método seja reconhecido como método de prospeção gravimétrica, de facto as medições registadas referem-se às variações da aceleração devidas à gravidade (Reynolds, 1997).

Os equipamentos utilizados para registar as medidas do campo gravítico designam-se por gravímetros.

A grandeza das variações do campo gravítico varia de acordo com a densidade, as dimensões e a localização em profundidade das estruturas geológicas. Na realidade as diferenças do campo induzido por esses corpos são muito pequenas, da ordem dos  $10^{-6}$  a  $10^{-8}$  do valor total do campo gravítico, pelo que é necessário que os gravímetros possuam uma elevada sensibilidade. Essas pequenas variações são posteriormente interpretadas em termos de estruturas geológicas (Parasnis, 1997), nomeadamente quanto à sua localização, dimensão e natureza, em sintonia com a informação geológica e tectónica disponível.

Embora, atualmente, este método requeira localização topográfica com elevada precisão, uma das vantagens é que a cotas dos pontos de medição e altimetria envolvente são, nos dias de hoje, atenuadas com a aplicação dos sistemas de posicionamento global (GPS diferencial) e com o desenvolvimento da cartografia digital, particularmente dos modelos digitais de terreno (Reynolds, 1997).

Outro aspeto positivo do método gravimétrico prende-se com o desenvolvimento de suportes informáticos específicos que efetuam as correções e as modelações gravimétricas, permitindo dessa forma a obtenção de informação quantitativa (e não apenas qualitativa, como a que era decorrente dos mapas das anomalias de Bouguer regional e residual) e a consequente determinação das profundidades e dimensões das estruturas geológicas (Reynolds, 1997).

### 3.2. PRINCÍPIOS TEÓRICOS

A base teórica do método de prospeção gravimétrica assenta na Lei da Gravitação de Newton, ou Lei da Gravitação Universal, que postula que a força de atração,  $F$ , entre duas massas

$m_1$  e  $m_2$ , de dimensões pequenas relativamente à distância  $r$  que as separa, é dada pela equação (Reynolds, 1997):

$$F = \frac{G \times m_1 \times m_2}{r^2} \quad (3.1)$$

na qual  $G$  é a constante da gravitação universal. No sistema internacional (SI) tem um valor aproximado de  $6.6726 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$  (Dentith *et al.*, 2014).

Se se suspender um objeto numa câmara de vácuo (para evitar complicações associadas à resistência do ar) e, em seguida, soltá-lo para que caia livremente, ele será atraído para a Terra, de acordo com a Lei da Gravitação Universal. A velocidade do objeto varia de zero, quando é suspenso, e aumenta à medida que cai, isto é, acelera. Esta é a aceleração devida à gravidade e pode ser obtida a partir da equação anterior (3.1). Considere um objeto pequeno, com massa  $m$ , localizado na superfície da Terra. Se a massa da Terra for  $M$  e o seu raio médio  $R$ , inserindo na equação anterior, tem-se (Dentith *et al.*, 2014):

$$F = \frac{G \times M}{R^2} \times m = g \times m \quad (3.2)$$

ou seja, a força relaciona-se com a massa através de uma aceleração, e o termo:

$$g = \frac{G \times M}{R^2} \quad (3.3)$$

é conhecido como aceleração da gravidade, ou simplesmente gravidade. Esta foi medida pela primeira vez por Galileu e o seu valor médio, à superfície terrestre, é de  $980 \text{ cm/s}^2$  (Reynolds, 1997).

Teoricamente, a aceleração devida à gravidade devia ser constante. Mas, na realidade, varia de lugar para lugar, porque a Terra tem a forma de uma esfera achatada (como uma laranja), gira, tem um relevo superficial irregular e uma distribuição de massa variável (especialmente próximo da superfície) (Reynolds, 1997). De facto, a forma da Terra resulta do balanço entre as acelerações da gravidade e centrífuga, que provocam um ligeiro achatamento nos polos. Matematicamente, tal forma poderia traduzir-se através de um elipsóide de revolução (Figura 3.1) (Reynolds, 1997).

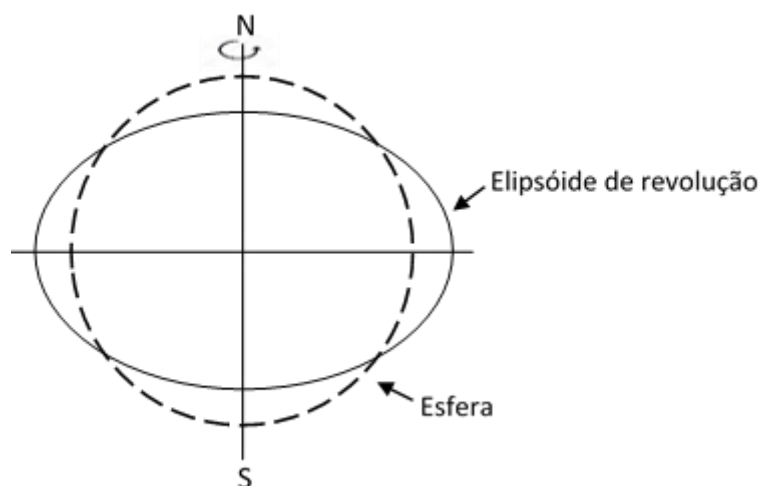


Figura 3.1 - Esquema ilustrativo da diferença entre uma esfera e um elipsóide de revolução (adaptado de Reynolds, 1997).

O campo gravítico pode definir-se em termos de potencial gravítico. O potencial gravítico,  $U$ , é definido como o trabalho gerado pela força da gravidade para mover uma massa unitária desde o infinito até uma posição final e expressa-se, matematicamente, através da equação (Reynolds, 1997):

$$U = \frac{G \times m}{r} \quad (3.4)$$

onde  $G$  é a constante de gravitação universal,  $m$  a massa do corpo e  $r$  a distância entre a posição inicial e final desse corpo. O potencial gravítico para o corpo situado na superfície terrestre, só depende da distância entre a posição que ocupa e o centro da Terra. O lugar geométrico dos pontos com o mesmo potencial designa-se por superfície equipotencial, sendo essa superfície normal às linhas de campo gravítico (Figura 3.2) (Dentith *et al.*, 2014).

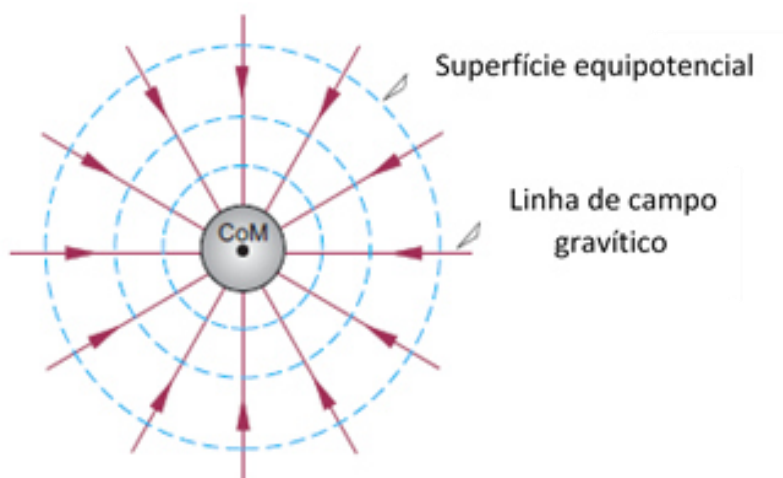


Figura 3.2 - Linhas de campo gravítico e superfície equipotencial (adaptado de Dentith *et al.*, 2014).

Se imaginarmos a superfície dos oceanos isenta dos efeitos produzidos pelos ventos e pelas marés, estaremos perante uma superfície horizontal, perpendicular à direção da gravidade em qualquer ponto considerado. A tal superfície chamaríamos geóide e representaria uma superfície sobre a qual o campo gravítico teria um valor constante, ou seja, constituiria uma superfície equipotencial. No entanto, a distribuição irregular das massas, principalmente aquelas próximas da superfície terrestre, provocam deformações do geóide que afastam a sua configuração daquela idealmente traduzida matematicamente por um elipsóide (Figura 3.3 (A) e (B)). As deformações locais do geóide, com pequena amplitude, estão relacionadas com estruturas de pequena dimensão, geralmente localizadas próximo da superfície, enquanto as deformações com amplitude grande refletem a existência de estruturas profundas e com dimensões à escala regional (Reynolds, 1997).

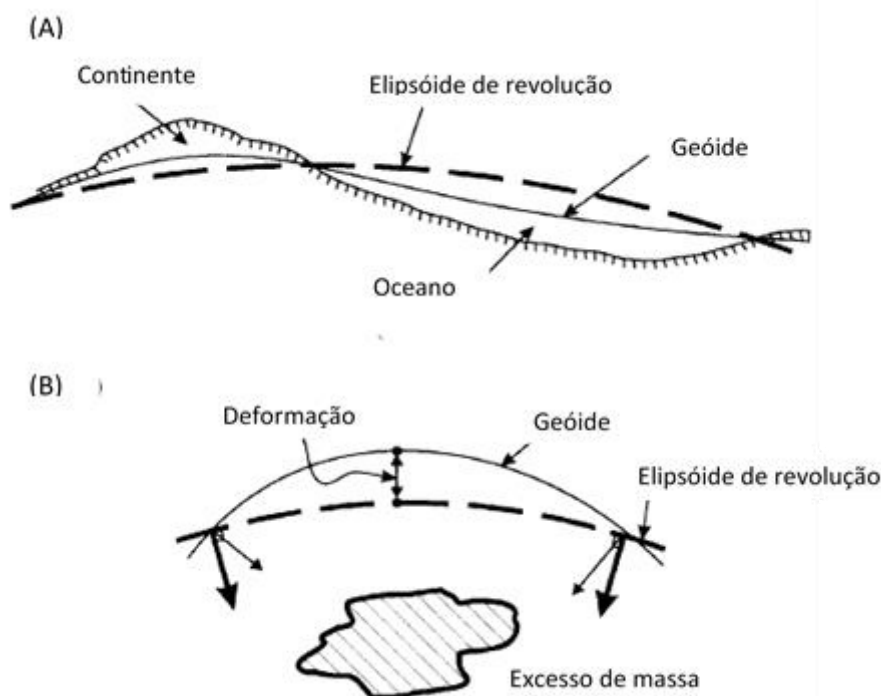


Figura 3.3 - Deformações do geóide - (A) deformações de grande amplitude, à escala continental e (B) de efeitos localizados devido a excessos de massa subsuperficiais (adaptado de Reynolds, 1997).

### 3.3. UNIDADES

A primeira medição da aceleração da gravidade foi efetuada por Galileu. O seu valor médio, à superfície terrestre, é de  $980 \text{ cm/s}^2$ . Em honra a Galileu, a unidade do sistema Centímetro, Grama, Segundo (CGS) para a aceleração da gravidade designa-se por Gal ( $1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2$ ). As variações do valor da gravidade, provocadas por variação da densidade de estruturas subsuperficiais, são da ordem dos  $100 \mu\text{m/s}^2$ . Esta unidade ( $1 \mu\text{m/s}^2$ ) foi adotada pelo sistema internacional (S.I.) como unidade para a aceleração da gravidade e é mais frequentemente

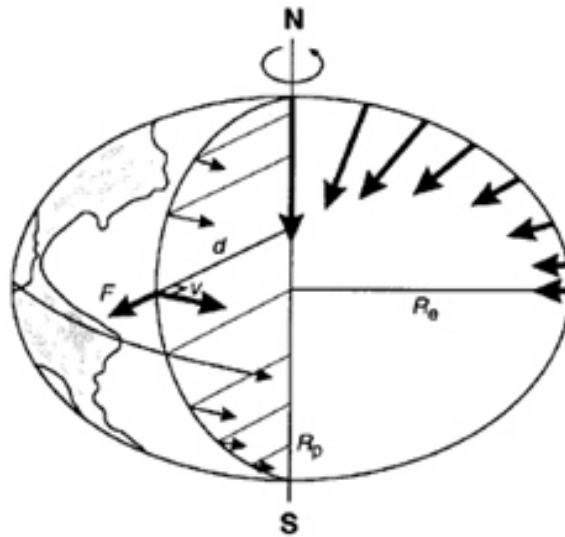


referida como unidade de gravidade (gu). No entanto, a unidade de gravidade não foi universalmente adotada continuando a usar-se as unidades do sistema CGS, em particular as subunidades miliGal (mGal) e microGal ( $\mu$ Gal), que se relacionam com a unidade de gravidade através da equação (Reynolds, 1997):

$$1 \text{ mGal} = 10^{-3} \text{ Gal} = 10^{-3} \text{ cm/s}^2 = 10 \text{ gu} \quad (3.5)$$

### 3.4. VARIAÇÃO DA GRAVIDADE COM A LATITUDE

O valor da aceleração da gravidade varia ao longo da superfície terrestre. Um dos fatores que a afeta diz respeito à forma da Terra. Como o raio polar é menor do que o raio equatorial, os pontos localizados nos polos estão mais próximos do centro de massa da Terra (logo  $R$  é menor) e, conseqüentemente, o valor da aceleração da gravidade nos polos é maior do que no equador (Figura 3.4).



$$\text{Força centrífuga } F = m \frac{v^2}{d}$$

← Gravidade (não considerando o efeito do movimento de rotação)

$R_e$  – Raio equatorial

$R_p$  – Raio polar

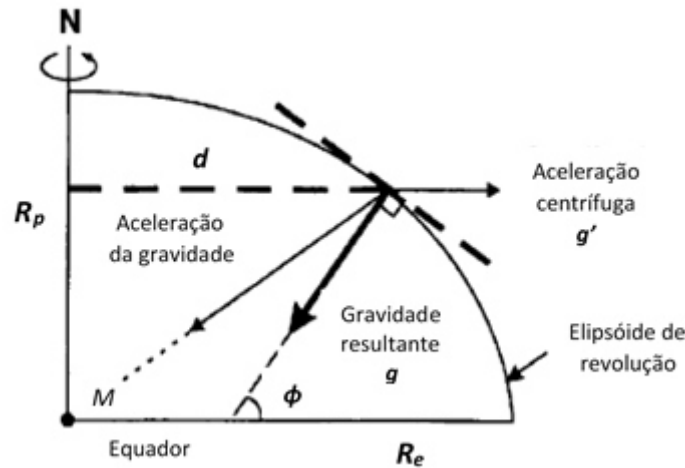
$v$  – velocidade de rotação

$d$  – distância ao eixo de rotação

$m$  – massa

Figura 3.4 - Esquema representativo da aceleração centrífuga e da variação da aceleração da gravidade com a latitude (adaptado de Reynolds, 1997).

Outro fator que afeta a aceleração da gravidade é a aceleração centrífuga devida ao movimento de rotação da Terra. Esta aceleração é proporcional à velocidade de rotação, sendo por isso maior no equador e, diminui em direção aos polos, onde se anula. A aceleração centrífuga diminui o valor da aceleração da gravidade (Figura 3.5) (Reynolds, 1997).



$R_p$  – raio polar

$d$  – distância ao eixo de rotação

$\phi$  - latitude geodésica

$R_e$  – raio equatorial

$M$  – centro de massa

Figura 3.5 - Resultante das acelerações centrífuga e da gravidade (Reynolds, 1997).

Assim, a gravidade resultante é maior nos polos do que no equador e varia de forma sistemática com a latitude, através da relação:

$$g_{\phi} = g_0 \times (1 + \alpha \times \sin^2 \phi - \beta \times \sin^2 2\phi) \quad (3.6)$$

onde  $g_{\phi}$  representa a aceleração da gravidade a uma dada latitude geodésica  $\phi$ ,  $g_0$  representa a aceleração da gravidade ao nível médio dos oceanos e  $\alpha$  e  $\beta$  são constantes que dependem, respetivamente, do coeficiente de achatamento do elipsóide e da velocidade de rotação da Terra (Reynolds, 1997).

Existem, atualmente, várias determinações para os parâmetros  $g_{\phi}$ ,  $\alpha$  e  $\beta$ , originando várias formas para a equação geral (equação 3.6). Destas, destaca-se a equação 3.7, recomendada pela IAG (International Association of Geodesy), com base no Sistema Geodésico de Referência de 1967 (Reynolds, 1997):

$$g_{\phi} = 978031,846 \times (1 + 0,0053024 \times \sin^2 \phi - 0,0000059 \times \sin^2 2\phi) \quad (3.7)$$

Outra das equações utilizadas é a equação 3.8, adotada posteriormente à equação 3.7, pela IAG, em 1980:

$$g_{\phi} = 978032,7 \times \left( 1 + 0,0052790414 \times \sin^2\phi + 0,0000232718 \times \sin^4\phi + 0,0000001262 \times \sin^6\phi \right) \quad (3.8)$$

Mais recentemente obteve-se a equação 3.9 (seguinte), a partir do elipsóide de referência WGS 84 (*World Geodetic System 1984*):

$$g_{\phi} = 978032,53359 \times \frac{(1 + 0,00193185265241 \times \sin^2\phi)}{\sqrt{1 - 0,0066943799014 \times \sin^2\phi}} \quad (3.9)$$

Neste caso, as constantes da equação têm em conta os valores da massa da atmosfera, obrigando à introdução de uma correção  $\delta$  (correção atmosférica da gravidade), função da altitude  $h$  do ponto para o qual se pretende determinar o valor da gravidade, que assume os valores:

$$\delta = 0,87 \times e^{-0,118 \times \left[ \left( \frac{h}{1000} \right)^{1,047} \right]} \quad \text{para } h \geq 0 \text{ m}$$

$$\delta = 0,87 \quad \text{para } h < 0 \text{ m.}$$

### 3.5. MEDIÇÕES DA GRAVIDADE E EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO

A determinação da gravidade pode ser feita em termos absolutos ou relativos. A determinação absoluta requer procedimentos experimentais muito cuidadosos e, geralmente, é efetuada sob condições laboratoriais, com períodos de observação longos. A determinação de valores relativos da gravidade, ou seja, as diferenças entre os valores da gravidade em locais diferentes, é mais simples e constitui o procedimento geralmente utilizado em prospeção gravimétrica. No entanto, se necessário, os valores relativos podem transformar-se em valores absolutos, tomando como referência uma das estações da rede IGSN 71 (*International Gravity Standardisation Network 1971*) (Reynolds, 1997).

Os gravímetros podem ser genericamente classificados em estáveis e instáveis, embora se possa considerar um outro tipo, que devido ao seu funcionamento é considerado como dinâmico.

Os gravímetros estáveis podem ser descritos, de forma simplificada, como uma balança extremamente sensível, constituída por uma massa, uma mola e um ponto de apoio devido à atuação da força da gravidade, gera-se um deslocamento muito pequeno que é amplificado por dispositivos óticos, mecânicos ou eletrônicos (Reynolds, 1997).

Os gravímetros instáveis baseiam-se no princípio de funcionamento dos pêndulos de período longo, em que a força gravítica, que atua sobre a massa do gravímetro, é medida pela

força que é necessário aplicar para que essa massa retome a sua posição de equilíbrio (Figura 3.6 (A), (B) e (C)) (Reynolds, 1997).

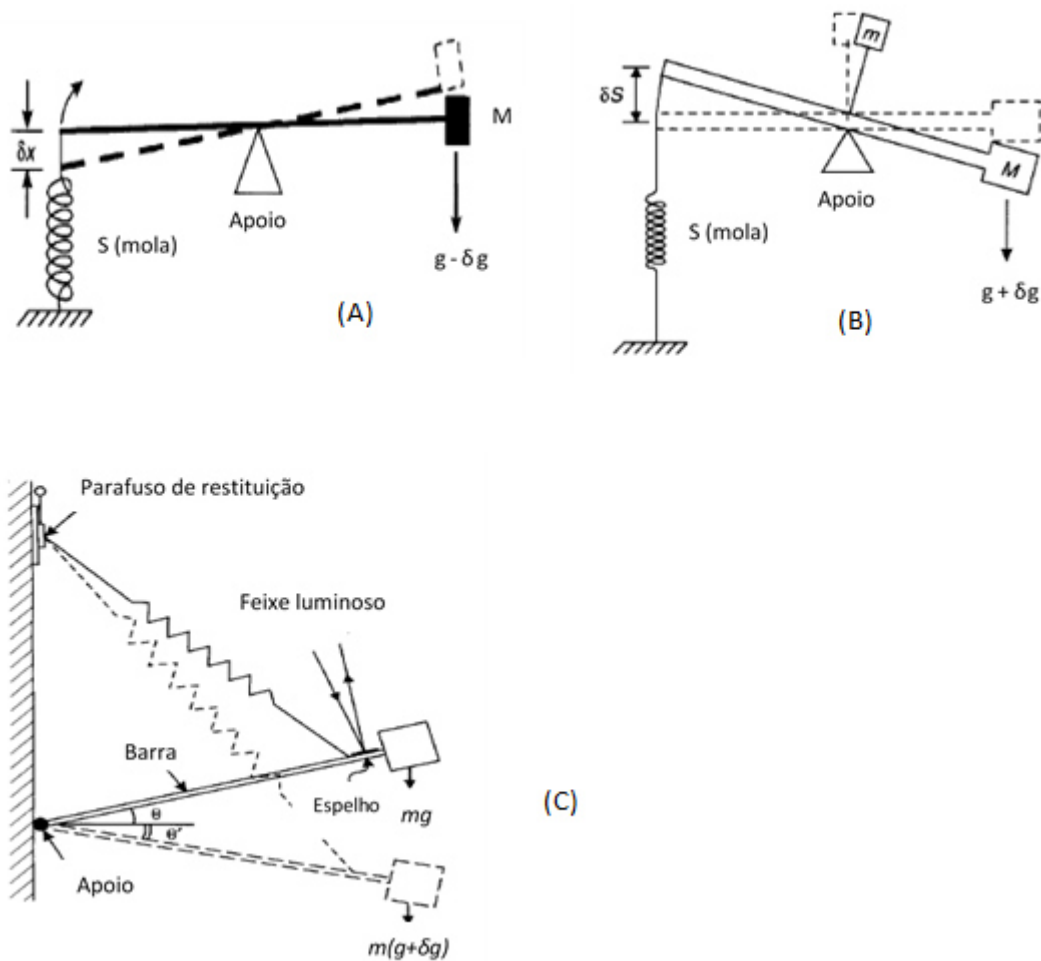


Figura 3.6 - Esquemas de funcionamento de gravímetros (A) estável, (B) instável tipo Thyssen e (C) instável tipo LaCoste e Romberg (adaptado de Reynolds, 1997).

Por motivos de estabilidade, rapidez de leitura, sensibilidade e mobilidade dos equipamentos, hoje em dia só se utilizam gravímetros instáveis.

No trabalho que se apresenta utilizou-se um gravímetro LaCoste e Romberg, modelo G, com o número de série 991. Os componentes deste gravímetro são metálicos e, conseqüentemente, sujeitos a contração e dilatação térmicas passíveis de introduzirem erros nas leituras. Para evitar estes fenômenos, os componentes encontram-se encerrados hermicamente e funcionam a uma temperatura constante de cerca de  $57,3 \pm 0,002$  °C. Este gravímetro possui uma sensibilidade muito elevada, geralmente da ordem dos 0,01 mGal, e as leituras obtêm-se através da força aplicada na mola para restituir a massa à sua posição inicial, atuando sobre o

parafuso e restituição do gravímetro. Este parafuso é longo, permitindo a sua utilização à escala planetária sem que para tal seja necessário efetuar grandes ajustes.

### 3.6. PROCEDIMENTO DE CAMPO

Na prospeção gravimétrica, as medidas são, geralmente, relativas registando-se as diferenças entre os valores das medidas de uma estação de referência e as medidas das estações gravimétricas restantes.

As estações gravimétricas são previamente selecionadas, de forma a cobrirem toda a área de prospeção. O seu posicionamento pode obedecer a uma malha regular ou irregular, com espaçamento dependente da dimensão das estruturas que se pretende estudar. Definida a malha de amostragem, procede-se à sua implantação no campo, através de estacas ou outras marcas, neste trabalho utilizaram-se caricas, que foram presas com pregos. Em função da existência de estruturas antrópicas, poderá ser necessário proceder ao reajustamento das posições pré-determinadas.

Terminada a implantação das caricas, função das suas posições, dos acessos disponíveis e da dimensão da área de estudo, selecionam-se uma ou várias estações base, relativamente às quais se propagam os circuitos de medição. Estes circuitos iniciam-se e terminam sempre na mesma estação base, de modo a determinar o erro do fecho e, conseqüentemente, efetuar a correção de deriva instrumental. A duração desses ciclos é, habitualmente, inferior a uma ou duas horas (Reynolds, 1997).

### 3.7. CORREÇÕES

Antes que os resultados da prospeção gravimétrica possam ser interpretados, é necessário corrigi-los relativamente a todas as variações do campo gravítico terrestre, que não resultem das diferenças de densidade das estruturas geológicas a estudar. Este processo é conhecido como redução da gravidade, ou redução ao geóide, já que os dados obtidos na campanha são corrigidos relativamente a um referencial comum, normalmente o nível médio das águas do mar (Reynolds, 1997).

As correções geralmente efetuadas são a correção lunissolar, de deriva, de altitude, de estaca-tripé, de latitude, de Eötvös, de Bouguer, topográfica e a correção devida à presença de estruturas antrópicas. Em circunstâncias particulares poderá aplicar-se, ainda, a correção de isostasia.

A soma algébrica de todas as correções com o valor lido no gravímetro, de acordo com a equação 10, corresponde à anomalia de Bouguer:

$$g_B = g_{obs} \pm \Delta g_{LS} \pm \Delta g_D \pm \Delta g_{Lat} \pm \Delta g_{Eot} + (\pm \Delta g_{Alt} + \Delta g_{ET}) - \Delta g_B + \Delta g_T - g_t \quad (3.10)$$

onde,  $g_B$  representa a anomalia de Bouguer,  $g_{obs}$  o valor medido no campo,  $\Delta g_{LS}$  a correção lunissolar,  $\Delta g_D$  a correção de deriva,  $\Delta g_{Lat}$  a correção de latitude,  $\Delta g_{Eot}$  a correção de Eötvös,  $\Delta g_{Alt}$  a correção de altitude,  $\Delta g_{ET}$  a correção de estaca-tripé,  $\Delta g_B$  a correção de Bouguer,  $\Delta g_T$  a correção topográfica e  $g_t$  o valor teórico da gravidade.

### 3.7.1. Correção lunissolar ou de maré ( $\Delta g_{LS}$ )

A correção lunissolar ou de maré é uma correção que se aplica aos valores medidos nas estações gravimétricas para compensar e corrigir a componente do valor de atração gravitacional provocadas pelo Sol e pela Lua. Esta variação temporal periódica é dependente da posição do Sol e da Lua em relação à Terra. A correção de maré é uma função complexa, que apresenta valores máximos/mínimos com um intervalo de tempo de, aproximadamente, 12 horas. Pode ser considerada uma função complexa porque os ciclos de variação, que provocam os máximos e mínimos nesta função tem períodos de 12 horas, 24 horas, 14 dias e de 6 meses (as variações correspondentes a esses períodos de tempo correspondem aos ciclos das marés oceânicas, às fases da lua e, finalmente, ao solstício da verão e inverno) (Dentith *et al.*, 2014).

Esta correção é feita a partir dos valores da hora, do dia e do ano para o qual se pretende fazer a correção, bem como a latitude e longitude do ponto de leitura. O programa calcula então o valor da correção lunissolar ao longo do dia estipulado, ao introduzir nos valores medidos.

O valor da gravidade lido numa estação gravimétrica sofre variações com o tempo, devido ao efeito de atração gravitacional do Sol e da Lua. Este efeito, associado aos movimentos orbitais destes astros, depende das posições relativas do Sol, da Lua e da Terra, e apresenta uma variação temporal periódica, com ciclos de doze e vinte e quatro horas, sobrepostos a um ciclo relacionado com o mês lunar (Milsom, 2003; Reynolds, 1997; Dentith *et al.*, 2014). De facto, as variações máximas ocorrem nas fases de Lua Nova e Lua Cheia, quando a Terra, a Lua e o Sol se encontram alinhados, com variações que podem atingir 0,05 mGal por hora e amplitude máxima que pode atingir cerca de 0,3 mGal (Reynolds, 1997). O seu período mínimo é cerca de doze horas.

Se o gravímetro a utilizar apresentar uma deriva instrumental relativamente elevada, os ciclos de medida deverão ser programados com duração muito inferior às doze horas correspondentes ao período mínimo das variações gravitacionais. Dessa forma, os efeitos destas variações podem ser removidos conjuntamente com a correção de deriva instrumental. Nessas circunstâncias, os circuitos de medida a adotar deverão ter duração inferior a duas horas (Telford

et al., 1990). Por oposição, se o gravímetro a utilizar apresentar uma deriva instrumental pequena, os ciclos de medida podem ser diários (leituras na base efetuadas apenas no início e no final do dia), correspondendo a um ciclo completo.

Nessas circunstâncias pode ser necessário efetuar a correção lunissolar isoladamente, antes da correção de deriva (Figura 3.7), de forma a garantir a linearidade da variação dos erros de deriva instrumental (Reynolds, 1997).

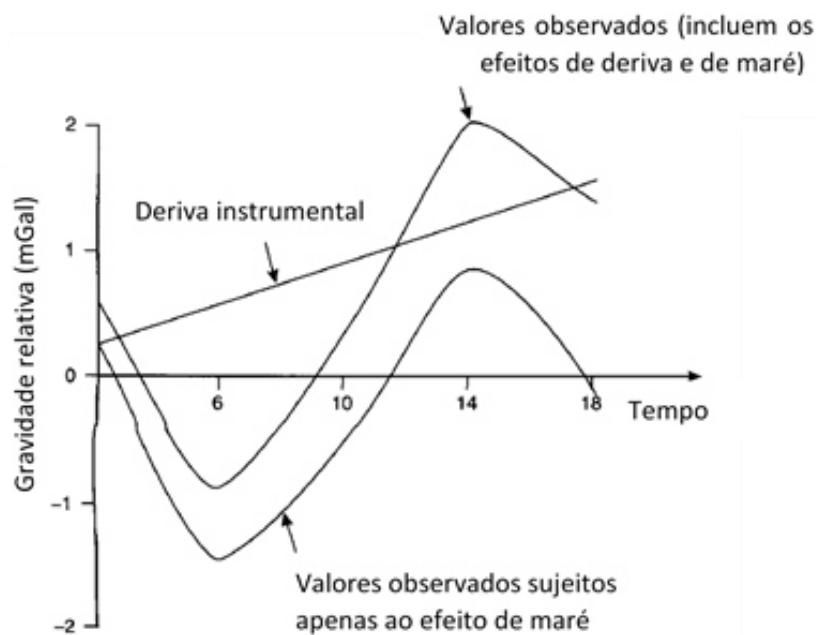


Figura 3.7 - Representação esquemática dos efeitos de deriva instrumental e lunissolar sobre as leituras gravimétricas efetuadas numa estação base (adaptado de Reynolds, 1997).

### 3.7.2. Correção de deriva ( $\Delta g_D$ )

A deriva instrumental deve-se, fundamentalmente, a dois fatores: ao relaxamento dos componentes mecânicos e à dilatação ou contração térmica dos seus componentes, particularmente dos elementos metálicos. De facto, as molas, ao longo do tempo, sofrem fenómenos de relaxação que afetam as leituras.

Atualmente, os gravímetros são constituídos por caixas estanques, seladas em vácuo, cuja temperatura interior, superior à temperatura atmosférica, é mantida constante (no caso do gravímetro utilizado neste trabalho, a temperatura de funcionamento é de 57,3 °C). Estas características permitem minimizar (não eliminar) os efeitos provocados pelas variações da temperatura atmosférica. As resistências e o termóstato responsáveis pela manutenção da temperatura são, geralmente, alimentados por baterias, que em condições de funcionamento deficiente podem provocar variações da temperatura de funcionamento, induzindo contração e dilatação dos componentes do gravímetro (Fett, 1990).

Em condições normais de funcionamento, a variação do campo gravítico por deriva instrumental tem um comportamento linear ao longo do tempo (Figura 3.8), porém esta linearidade pode ser afetada pela atração lunissolar.

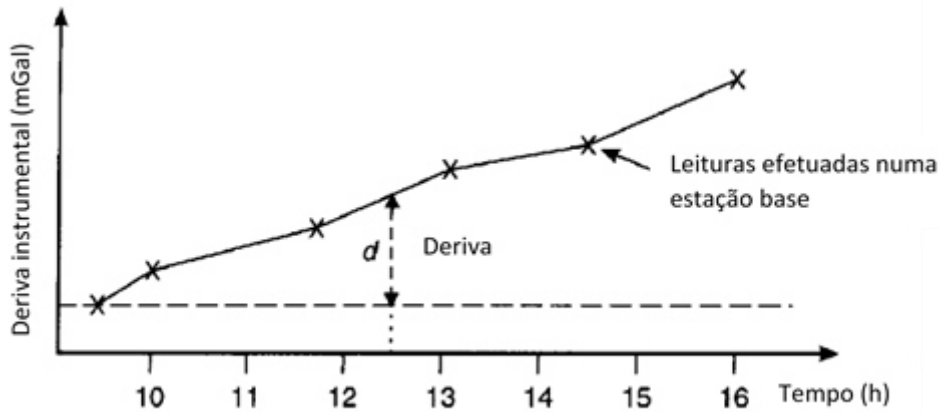


Figura 3.8 - Curva de deriva instrumental de um gravímetro, criada a partir das leituras repetidas numa estação base (Reynolds, 1997).

A remoção dos erros devidos à deriva instrumental pode fazer-se adotando pontos de medição fixos (bases gravimétricas), nos quais se repetem as medições ao longo do dia, desde que sejam conhecidos os instantes em que foram efetuadas. Estas medições iniciam e terminam os ciclos de leitura. O intervalo de tempo entre as medições efetuadas nas bases gravimétricas é função da deriva do equipamento e, geralmente, é inferior a duas horas.

Dependendo das dimensões da área de trabalho e das condições de circulação no seu interior, poderá ser difícil executar ciclos de leitura com a duração adequada (relativamente a uma base primária (principal)), obrigando à adoção de uma rede de bases gravimétricas secundárias. Nestas circunstâncias, a correção de deriva é feita primeiramente para as bases gravimétricas secundárias e só depois para a base gravimétrica principal.

### 3.7.3. Correção de altitude ( $\Delta g_{Alt}$ )

O campo gravítico varia de forma inversamente proporcional ao quadrado da distância ao centro de massa da Terra (equação 3.3, página 28). Esse facto obriga a efetuar correções, tendo em conta as diferenças entre a altitude dos pontos de leitura e a altitude da superfície de referência, geralmente tomada como o nível médio das águas do mar. Ao ignorar o efeito devido ao substrato rochoso situado abaixo do ponto de leitura (situado à superfície terrestre), a correção de altitude representa, em analogia, a correção que se efetuariaria sobre um ponto cuja leitura tivesse sido tomada a bordo de um balão de ar quente, relativamente à superfície de



referência (não considerando o efeito da massa de ar entre a superfície de referência e o ponto de medida). Compreende-se, por isso, que esta correção seja também conhecida por “correção de ar-livre” (Reynolds, 1997) (Figura 3.9).

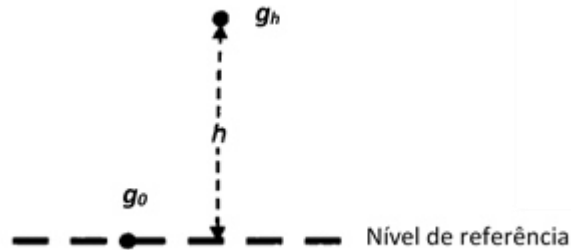


Figura 3.9 - Esquema representativo da correção de altitude (Reynolds, 1997).

Partindo da equação 3.3. (assumindo que a Terra possui forma esférica e que a sua massa está concentrada no seu centro de massa), a gravidade ao nível do mar, muitas vezes tomada como superfície de referência, será dada pela expressão:

$$g_0 = \frac{G \times M}{R^2} \quad (3.11)$$

É possível demonstrar que o seu valor ( $g_h$ ) à altitude  $h$ , acima da superfície de referência, desprezando as potências de  $h/R$  com expoente superior a um, será dado pela equação (Reynolds, 1997):

$$g_h = g_0 \times \frac{R^2}{(R + h)^2} \approx g_0 \times \left(1 - \frac{2 \times h}{R}\right) \quad (3.12)$$

onde  $R$  representa o raio da Terra. Nestas circunstâncias, a diferença entre as leituras será dada por:

$$g_h - g_0 = g_0 \times \left(1 - \frac{2 \times h}{R}\right) - g_0 = g_0 \times \left(\frac{-2 \times h}{R}\right) = -\frac{2 \times h}{R} \times g_0 \quad (3.13)$$

Ou seja, a gravidade decresce com o aumento da altitude, o que implica que a correção a aplicar, de sinal contrário, será dada por:

$$\Delta g_{Alt} = \frac{2 \times h}{R} \times g_0 \quad (3.14)$$

substituindo  $g_0$  e  $R$  pelos seus valores médios, obtêm-se os valores:

$$\Delta g_{Alt} = \begin{cases} 0,3083 \times h & \text{mGal, no equador} \\ 0,3088 \times h & \text{mGal, nos pólos} \end{cases}$$

com  $h$  expresso em metros. Tendo em conta que a forma da Terra é um esferóide achatado e não uma esfera, o valor normalmente aceite para a correção de altitude, para as nossas latitudes, é dado pela equação:

$$\Delta g_{Alt} = 0,3086 \times h \quad (3.15)$$

onde  $h$  representa a diferença entre as altitudes do ponto de medição e da superfície de referência, em metros.

Atualmente, os gravímetros possuem precisões em torno de 0,01 mGal, o que implica que, para se fazer uso dessa precisão, as altitudes dos pontos de medida deverão ser conhecidas com uma precisão  $h = \frac{0,01}{0,3086} = 0,0324$  m, ou seja, com um erro máximo de três centímetros.

#### 3.7.4. Correção estaca-tripé ( $\Delta g_{ET}$ )

Sempre que os gravímetros são estacionados sobre bases, de forma a facilitar o seu nivelamento nos pontos de leitura, aumenta-se artificialmente a altitude do ponto de medida. Assim, se substituirmos  $h$  pela altura da base ( $h_b$ ) na equação anterior (3.15), teremos a correção de estaca-tripé dada pela equação (Lourenço, 2006):

$$\Delta g_{ET} = 0,3086 \times h_b \quad (3.16)$$

Este valor é adicionado a todas as leituras efetuadas ou, alternativamente, incorpora-se na correção de altitude, aumentando a altitude dos pontos de medida no valor correspondente à altura da base.

#### 3.7.5. Correção de latitude ( $\Delta g_{Lat}$ )

A gravidade varia com a latitude, devido à forma não esférica da Terra e à diminuição da velocidade angular à sua superfície, desde o equador em direção aos polos, onde se anula.

Para calcular a correção de latitude, em cada ponto de leitura, utiliza-se a equação:

$$\Delta g_{Lat} = 9,780318 (1 + 0,0053024 \sin^2 \phi - 0,0000059 \sin^2 2\phi) [m/s^2] \quad (3.17)$$

onde  $\phi$  representa a latitude do ponto de leitura.

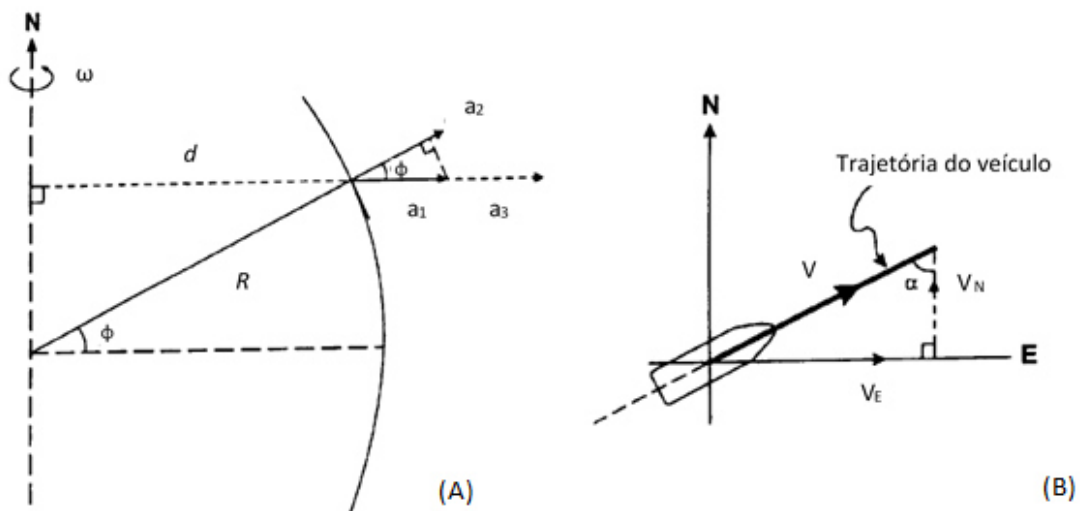
Esta correção deve subtrair-se às leituras obtidas para os pontos situados a latitude superior à do ponto de referência e, por oposição, adicionar-se se os pontos de leitura se situam a latitudes inferiores, desde que tanto o ponto de referência como os pontos de leitura se localizem no mesmo hemisfério. Para os gravímetros com precisão em torno de 0,01 mGal, a

latitude dos pontos de medida necessita de ser conhecida com uma margem de erro até dez metros (Reynolds, 1997).

### 3.7.6. Correção de Eötvös ( $\Delta g_{Eot}$ )

No caso dos gravímetros a bordo de veículos em movimento (navios ou aeronaves), as leituras são afetadas pela componente vertical da aceleração de Coriolis que, por sua vez, depende da velocidade e da direção em que se verifica o movimento. Ou seja, o movimento do veículo que integra o gravímetro induz um erro nas medições, obrigando à introdução de uma correção (Reynolds, 1997).

A correção de Eötvös engloba duas componentes: uma relativa à aceleração centrífuga associada ao movimento do veículo à superfície terrestre e a outra referente à variação da aceleração centrífuga resultante do movimento do veículo relativamente ao eixo de rotação da Terra (Figura 3.10).



$\omega$  – velocidade angular da Terra

$\phi$  - latitude

R – raio da Terra

d – distância ao eixo de rotação da Terra

$a_1$  – aceleração centrífuga

$a_2$  – aceleração centrífuga, devido ao movimento do veículo, segundo a direção N-S

$a_3$  – variação da aceleração centrífuga resultante do movimento do veículo

$\alpha$  – rumo do veículo

$V_E$  – velocidade resultante do veículo, segundo a direção E-W

$V_N$  – velocidade resultante do veículo, segundo a direção N-S

Figura 3.10 - Esquema ilustrativo das componentes que contribuem para a correção de Eötvös: (A) corte segundo um plano que contém o eixo de rotação da Terra e (B) em projeção (adaptado de Reynolds, 1997).

Relativamente à segunda componente, um objeto estacionário, colocado na superfície terrestre, movimenta-se à mesma velocidade que a Terra, nesse ponto, em torno do eixo de rotação, segundo a direção Este-Oeste.

Se esse mesmo objeto se movimentar em direção a Este, a sua velocidade relativa é aumentada (obrigando à introdução de uma correção com sinal negativo), enquanto ao movimentar-se em direção a Oeste sofrerá uma diminuição (obrigando à introdução de uma correção com sinal positivo) da sua velocidade relativa (Reynolds, 1997).

Esta correção pode ser calculada através da equação:

$$\Delta g_{Eot} = 7,503 \times V \times \sin \alpha \times \cos \phi + 0,004154 \times V^2 \quad (3.18)$$

expressa em mGal, onde  $V$  representa a velocidade do veículo, expressa em nós (unidade utilizada para expressar a velocidade dos veículos que habitualmente transportam os gravímetros – navios e aeronaves),  $\alpha$  representa o rumo do veículo (direção da trajetória do veículo, relativamente ao Norte geográfico) e  $\phi$  a latitude do ponto de medida.

### 3.7.7. Correção de Bouguer ( $\Delta g_B$ )

As correções anteriores não tomaram em linha de conta o efeito gravitacional das rochas existentes entre as altitudes do ponto de leitura e da superfície de referência (geralmente assume-se coincidente com o nível médio das águas do mar).

Supondo que o ponto de leitura se situa numa camada horizontal, com extensão infinita, espessura  $h$  e densidade uniforme  $\rho$ , pode-se determinar a correção de Bouguer através da seguinte equação (Dentith *et al.*, 2014):

$$\Delta g_B = 2 \times \pi \times G \times \rho \times h \quad (3.19)$$

Substituindo os valores de  $\pi$  e  $G$ , a equação anterior reescreve-se na forma (Dentith *et al.*, 2014):

$$\Delta g_B = 0,04192 \times \rho \times h [mGal] \quad (3.20)$$

onde  $\rho$  representa a densidade de Bouguer, expressa em  $g/cm^3$  e  $h$  a diferença entre as altitudes do ponto de medida e da superfície de referência, expressa em metros.

Na superfície terrestre, a correção de Bouguer subtrai-se à leitura observada para remover o efeito de atração gravitacional das rochas localizadas entre o ponto de leitura e a superfície de referência. No entanto, para leituras efetuadas à superfície do mar, a correção de Bouguer é positiva devido à ausência de rochas entre a superfície e o fundo marinho, a correção é

equivalente à substituição da camada de água por uma espessura equivalente de rocha, com uma densidade determinada,  $\rho_R$ , segundo a expressão (Reynolds, 1997):

$$\Delta g_B = 0,04192 \times (\rho_R - \rho_w) \times h_w [mGal] \quad (3.21)$$

onde  $\rho_w$  representa a densidade da água do mar, em  $g/cm^3$ , e  $h_w$  a profundidade da coluna de água, em metros.

Das equações anteriores constata-se a necessidade de conhecer corretamente as densidades dos materiais, visto que pequenas variações dos seus valores provocam a introdução de erros elevados nas correções.

### 3.7.7.1. Densidade

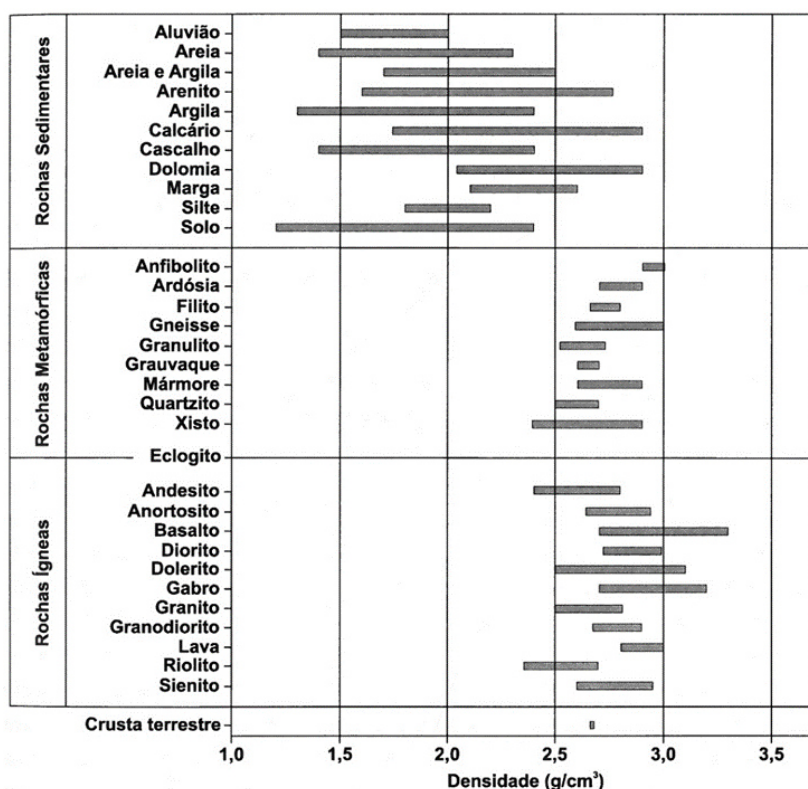
Ao efetuar as correções e a modelação dos dados de gravimetria é necessário considerar os valores de densidade, seja ela a densidade de Bouguer ou a densidade dos materiais geológicos. A densidade de Bouguer, também conhecida por densidade de redução, designa a densidade que será utilizada para calcular as correções de Bouguer e topográfica, enquanto a densidade dos materiais geológicos se refere aos valores com que se fará a modelação dos dados.

A densidade é definida como a massa por unidade de volume. As anomalias gravimétricas resultam do contraste entre a densidade de uma dada estrutura geológica e a densidade das estruturas envolventes. Para uma dada estrutura com densidade  $\rho_1$ , envolvida por materiais com densidade  $\rho_2$ , o contraste será dado por (Telford *et al.*, 1990):

$$\Delta\rho = \rho_1 - \rho_2 \quad (3.22)$$

O sinal do contraste das densidades determina o sinal da anomalia gravimétrica. A maioria das rochas apresenta densidades que variam entre 1,6 e 3,2  $g/cm^3$  (Tabela 3.1) e os seus valores dependem de vários fatores (Telford *et al.*, 1990).

Tabela 3.1 - Densidade de algumas rochas (Lourenço, 2006).



No caso das rochas sedimentares, a densidade é afetada pela composição, cimentação, idade, profundidade a que se encontram, processos tectónicos, porosidade e pelo tipo de fluidos que preenche os poros, conforme consta da Tabela 3.2. Os sedimentos que permanecem em profundidade durante um longo período de tempo, acabam por consolidar e litificar, o que resulta num decréscimo da porosidade e, conseqüentemente, num aumento da densidade (Reynolds, 1997).

Tabela 3.2 - O efeito de diferentes fatores físicos sobre a densidade das rochas sedimentares (Reynolds, 1997).

| Fator                         | Varição aproximada da densidade (%) |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| Composição                    | 35                                  |
| Cimentação                    | 10                                  |
| Idade e profundidade          | 25                                  |
| Processos tectónicos          | 10                                  |
| Porosidade e fluído dos poros | 10                                  |

No caso particular dos arenitos e dos calcários, o aumento de densidade ocorre devido ao preenchimento da porosidade por cimento natural. Nos xistos argilosos e argilas o processo dominante é a compactação e, posteriormente, a recristalização noutros minerais com densidades superiores (Reynolds, 1997).

As rochas ígneas são, geralmente, mais densas do que as rochas sedimentares. Neste tipo de rochas a densidade aumenta à medida que o conteúdo em sílica diminui, o que faz com que

as rochas ultrabásicas sejam mais densas do que as rochas básicas e estas mais densas que as ácidas. De modo semelhante, as rochas plutônicas apresentam geralmente densidades superiores às das rochas extrusivas (Reynolds, 1997).

A maioria das rochas metamórficas e ígneas possui uma porosidade muito pequena. Nesses casos, a composição é o fator principal para a variação das suas densidades. A densidade das rochas metamórficas tende a aumentar com a diminuição da acidez e com a intensificação do grau de metamorfismo (Lourenço, 2006). No entanto, a densidade das rochas metamórficas varia de forma mais errática do que as rochas sedimentares ou ígneas e pode variar consideravelmente em pequenas distâncias (Reynolds, 1997).

#### 3.7.7.1.1. Cálculo da densidade de Bouguer

A densidade pode ser determinada por medições diretas sobre amostras de rochas. Para o efeito, deve efetuar-se a colheita de um grupo de amostras representativo (em número, tipologia e dimensão de cada amostra), de acordo com a cartografia geológica disponível. As determinações podem ser feitas sujeitando essas amostras às pesagens ao ar e imersas em água, típicas dos métodos tradicionais, ou por métodos mais recentes, como os ultra-sons. No entanto, os métodos tradicionais, em particular determinam valores com uma grande dispersão, o que faz com que diferentes tipos de rochas possam assumir densidades idênticas. Outro inconveniente deste tipo de determinações prende-se com a dificuldade em assegurar que o grupo de amostras recolhido à superfície seja representativo dos tipos de rochas que compõem as estruturas em profundidade. Esta dificuldade pode ser ultrapassada recorrendo a determinações sobre as amostras recolhidas em profundidade (testemunhos de furos de sondagens ou amostras colhidas em trabalhos mineiros subterrâneos). Nesse caso deve ter-se em conta a descompressão que as amostras sofrem. Alternativamente, pode determinar-se a densidade *in situ*, no interior de furos de sondagem, a várias profundidades, usando gravímetros particularmente desenhados para o efeito, ou utilizando um gravímetro comum no interior de minas ou túneis. Um outro método, que permite a determinação das densidades *in situ*, consiste no emprego de diagrfias *gamma-gama* em furos de sondagem. O registo obtido neste método é contínuo e caracteriza a densidade dos materiais adjacentes ao furo de sondagem (Lowrie, 2007).

Quando as rochas cuja densidade se pretende medir não afloram à superfície, nem se dispõe da possibilidade de colher amostras em profundidade, pode recorrer-se à relação entre a velocidade de propagação das ondas sísmicas (P e S) e a densidade dos materiais por elas atravessados (Lowrie, 2007).

Na tentativa de ultrapassar as dificuldades e os custos inerentes a alguns dos métodos anteriormente apresentados, foram sugeridos vários métodos de campo, como é o caso do

método de Nettleton e do método de Parasnis, que irão ser apresentados nos subcapítulos seguintes. Irei descrever, também, o método utilizado no laboratório para determinar a densidade das rochas de campo (método da balança de Jolly).

#### **3.7.7.1.2. Método de Nettleton**

Nettleton propôs um método gráfico para determinação da densidade, baseado no facto que os dados gravimétricos, após correção, não deverão mostrar qualquer correlação com a topografia, já que os seus efeitos terão sido removidos ao longo do processo de redução a que foram submetidos. Na prática, este método tem por base várias determinações, segundo um perfil que atravesse um relevo topográfico com alguma importância, na ausência de anomalias.

Efetuada as correções de Bouguer e topográfica para vários valores da densidade, obtêm-se várias curvas para a anomalia de Bouguer representativas das densidades utilizadas no seu cálculo (Figura 3.11).

Comparando essas curvas com o perfil topográfico, seleciona-se a densidade que apresentar menor correlação. Para o exemplo da figura, a densidade mais apropriada assumiria valores em torno de  $2,3 \text{ g/cm}^3$ .



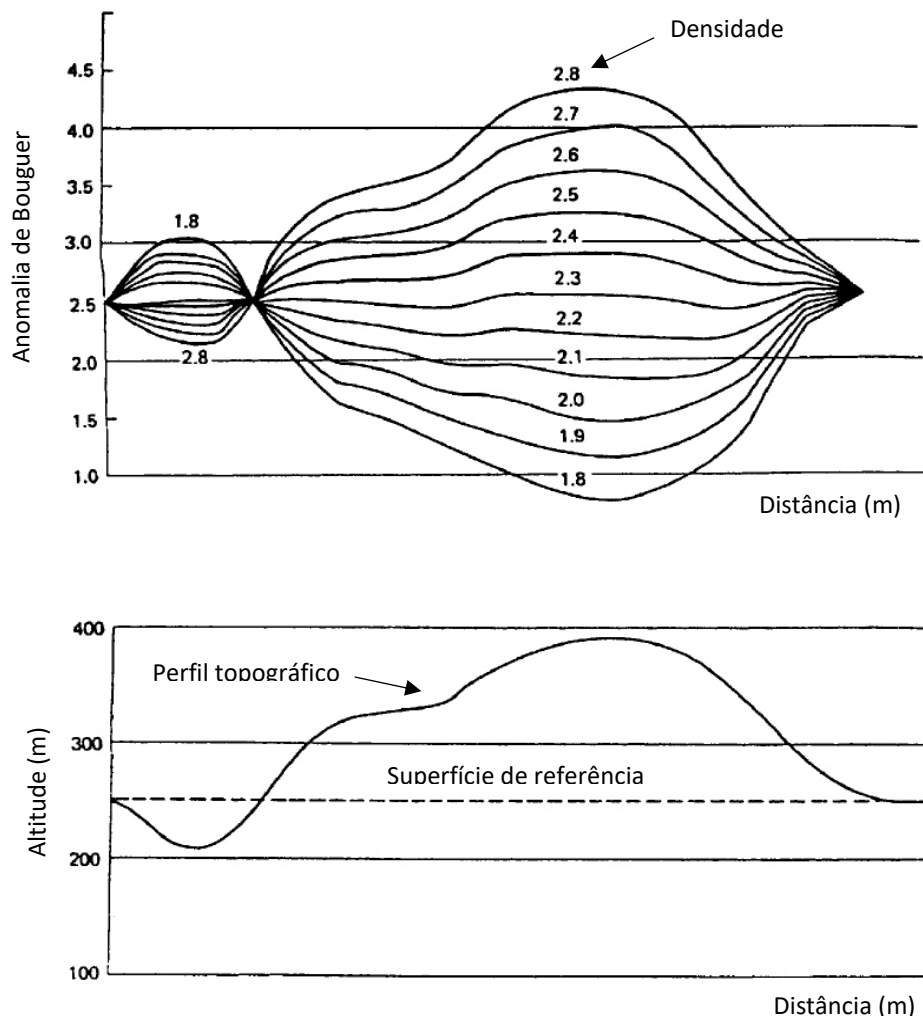


Figura 3.11 - Método de Nettleton para a determinação da densidade de Bouguer, por correlação da anomalia de Bouguer com a topografia (adaptado de Reynolds, 1997).

Este método determina a densidade média dos materiais que formam o relevo topográfico e é bastante expedito, já que não requer a execução de sondagens ou poços. No entanto, se o relevo que serviu de base à determinação for composto por materiais diferentes daqueles que constituem a globalidade da área estudada, então a densidade determinada não será a mais correta. É o caso, por exemplo, de relevos topográficos associados a camadas inclinadas, com contraste de densidades significativo entre camadas. Outro inconveniente deste método reside na dificuldade em comparar as curvas da anomalia de Bouguer com perfis topográficos aplanados (Lowrie, 2007).

Rimbert *et al.* (1987) propuseram uma generalização do método de Nettleton que permite determinar as variações da densidade de Bouguer ao longo de toda a área estudada. Neste método, a topografia sofre uma regularização de modo a criar-se uma superfície imediatamente

abaixo dos pontos de leitura com menor elevação. Essa superfície recebe a designação de topografia regional. A densidade entre a superfície topográfica regional e a superfície topográfica real é considerada constante em torno de cada ponto de leitura. A densidade abaixo da superfície topográfica regional é assumida como sendo constante ao longo de toda a área estudada. As variações de densidade acima da superfície topográfica regional podem ser analisadas do ponto de vista estatístico e/ou projetadas sob a forma de mapa, permitindo a sua correlação com os mapas geológicos (Reynolds, 1997).

Um dos principais problemas relacionados com os métodos de determinação gráfica da densidade prende-se com o facto de uma pequena diferença no declive da reta, que melhor se ajusta aos dados, pode originar uma grande variação da densidade de Bouguer, o que faz com que estes métodos sejam particularmente desadequados perante situações em que os materiais geológicos envolvidos apresentem pequenas variações de densidade entre si. Uma forma de ultrapassar esse inconveniente pode conseguir-se por aplicação da transformação ao método de Nettleton proposta por Jung, em 1953. Este autor transpõe o método de Nettleton para linguagem matemática, por aplicação da equação:

$$d_B = d_0 + \frac{\sum_{i=1}^n [(g_i - \bar{g}) \times (h_i - \bar{h})]}{2 \times \pi \times G \times \sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2} \quad (3.23)$$

onde  $d_B$  representa a densidade de Bouguer,  $g_i$  o valor da anomalia de Bouguer (relativa) para cada um dos pontos de leitura do perfil,  $\bar{g}$  o respetivo valor médio,  $h_i$  a altitude de cada um dos pontos de leitura do perfil e  $\bar{h}$  o valor médio respetivo. A variável  $d_0$  corresponde à densidade utilizada (nas determinações de  $g_i$ ) para anular a expressão:

$$c. c. = \frac{\sum_{i=1}^n [(g_i - \bar{g}) \times (h_i - \bar{h})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (g_i - \bar{g})^2 \times \sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2}} \quad (3.24)$$

Este coeficiente de correlação ( $c.c.$ ) entre os valores da anomalia de Bouguer e altitude dos pontos de leitura, pode traduzir-se de forma gráfica, facilitando a aproximação do intervalo de valores da densidade a aplicar na equação 3.23 ( $d_B$ ). Com este método, a densidade de Bouguer pode ser determinada com uma precisão superior a uma casa decimal (Reynolds, 1997).

### 3.7.7.1.3. Método de Parasnis

Outro método analítico, é o método de Parasnis, proposto por Parasnis em 1952, que permite o cálculo da densidade de Bouguer com bastante precisão, com base na equação da anomalia de Bouguer (equação 3.10), reescrevendo-se de modo a assumir a equação de uma reta ( $y = mx + b$ ):

$$g_B - (g_{Obs} \pm \Delta g_{LS} \pm \Delta g_D) = (\Delta g_B^* + \Delta g_T^*) \times d_B + (\pm \Delta g_{Alt} \pm \Delta g_{Lat} + \Delta g_{ET}) \quad (3.25)$$

na qual  $\Delta g_B^*$  e  $\Delta g_T^*$  correspondem aos valores das correções de Bouguer e topográfica, colocando a densidade de Bouguer como um fator em evidência.

#### 3.7.7.1.4. Método da balança de Jolly (laboratório)

A balança de Jolly foi inventada em 1864 pelo físico alemão Philipp Johann Gustav von Jolly. Trata-se de um dispositivo que utiliza o equilíbrio entre a força restauradora numa balança de mola e o peso de um corpo de prova imerso num fluido, para determinar a densidade de materiais. Esta balança baseia-se no princípio de Arquimedes e na Lei de Hooke.

Consideremos um corpo de prova preso a uma mola helicoidal e um recipiente com um líquido (geralmente, água), de acordo com a Figura 3.12.

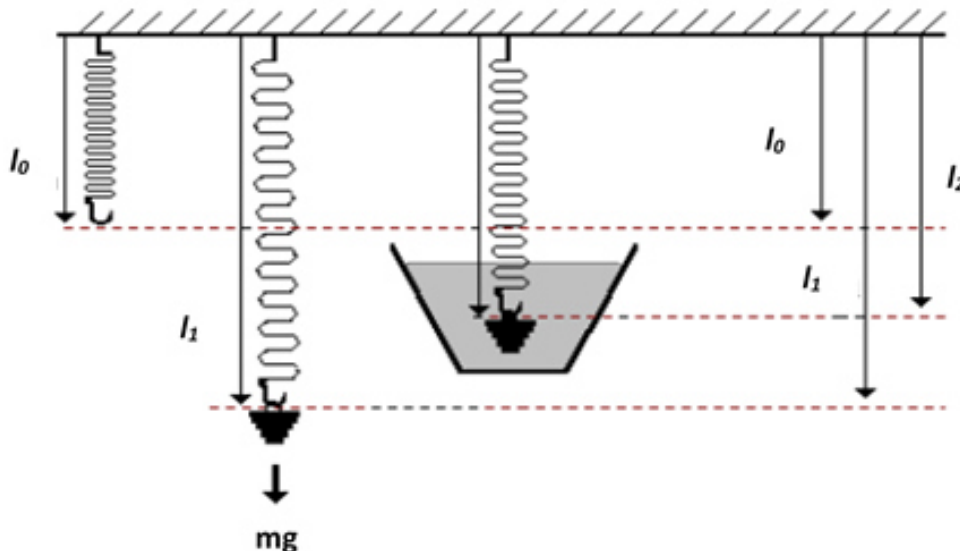


Figura 3.12 - Representação esquemática do funcionamento de uma balança de Jolly.

O comprimento inicial da mola é  $l_0$ . Colocando o corpo de prova “imerso” na atmosfera preso na mola, vai existir uma distensão da mola, provocando assim uma força do corpo de prova, igual ao seu peso, sobre a mola, fazendo com que o comprimento da mola seja  $l_1$ . Agora, ao colocar o corpo de prova imerso no fluido, dentro do recipiente, este vai exercer uma força igual ao seu peso aparente, fazendo com que o comprimento da mola seja  $l_2$ .

O peso aparente é a força resultante da soma vetorial da força peso do corpo de prova sobre a mola e da pressão exercida pelo líquido sobre o corpo de prova. A pressão pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$p = \rho_{fl} \times g \times V \quad (3.26)$$

sendo  $\rho_{fl}$  a densidade do fluido,  $g$  a aceleração da gravidade e  $V$  o volume de líquido deslocado pelo corpo de prova.

Considerando que a força peso,  $P$ , age sobre a mola de cima para baixo e a pressão,  $p$ , age de baixo para cima, o peso aparente  $P'$  é escrito como:

$$P' = P - p \Leftrightarrow (m') \times g = (m \times g) - (\rho_{fl} \times g \times V) \quad (3.22)$$

onde  $m$  é a massa real e  $m'$  a massa aparente do corpo de prova. Reescrevendo a equação anterior tem-se:

$$V = \frac{m - m'}{\rho_{fl}} \quad (3.23)$$

A densidade absoluta do corpo de prova ( $\rho_s$ ) pode ser escrita como:

$$\rho_s = \frac{m}{V} \Leftrightarrow \rho_s = \frac{m}{\left(\frac{m - m'}{\rho_{fl}}\right)} \quad (3.24)$$

A densidade relativa do corpo de prova e do líquido é dada pela seguinte expressão:

$$\frac{\rho_s}{\rho_{fl}} = \left(\frac{m}{m - m'}\right) \quad (3.30)$$

Aplicando a Lei de Hooke, tendo em conta o comprimento da mola ao medir o peso real e o peso aparente do corpo de prova, de acordo com a Figura 3.12, tem-se:

$$P = mg \Rightarrow P = k(l_1 - l_0) \quad (3.31)$$

$$P' = m'g \Rightarrow P' = k(l_2 - l_0)$$

onde  $k$  é a constante elástica da mola. Dividindo a expressão do peso real ( $P$ ) pela do peso aparente ( $P'$ ), obtém-se a seguinte relação:

$$\frac{l_1 - l_0}{l_2 - l_0} = \frac{m}{m'} \Rightarrow \frac{m}{l_1 - l_0} = \frac{m'}{l_2 - l_0} \quad (3.32)$$

Esta relação fornece um resultado intuitivo, isto é, que as deformações da mola são proporcionais às massas  $m$  e  $m'$ . Aplicando este resultado à equação 3.30, obtém-se a seguinte expressão (Filho, 2010):

$$\frac{\rho_s}{\rho_{fl}} = \left(\frac{l_1 - l_0}{l_1 - l_2}\right) \quad (3.33)$$

### 3.7.8. Correção topográfica ( $\Delta g_T$ )

As irregularidades da superfície topográfica em torno do ponto de medida influenciam as medidas gravimétricas. Esta influencia é diretamente proporcional à massa e inversamente proporcional ao quadrado da distância. As montanhas (excesso de massa), acima do ponto de medida (Figura 3.13), exercem, sobre o gravímetro, uma força no sentido de baixo para cima, enquanto que os vales (deficiência de massa), abaixo do ponto de medida, não exercem a força que seria devida ao material, caso estivessem preenchidos. Assim, qualquer destes relevos topográficos afeta as medidas no mesmo sentido, pelo que a correção topográfica é sempre adicionada à leitura do ponto de medida (Reynolds, 1997).

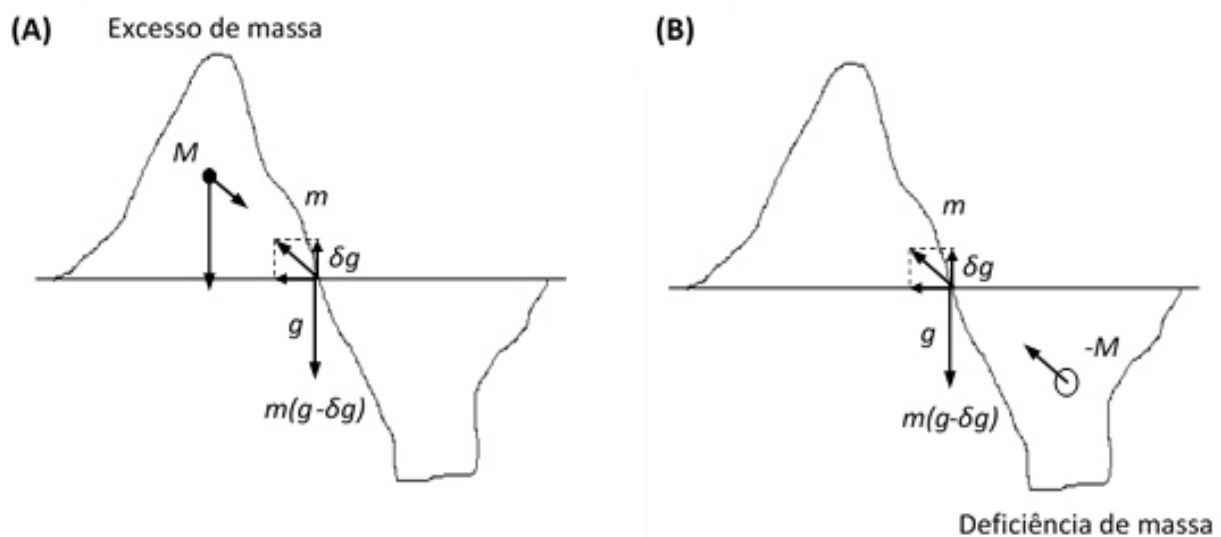


Figura 3.13 - Esquema ilustrativo do efeito das irregularidades topográficas sobre as medidas gravimétricas (Lourenço, 2006).

Esta correção complementa as correções de altitude e de Bouguer, uma vez que, a correção de altitude só tem em conta a altitude do ponto de medida e a correção de Bouguer só considera a densidade das rochas.

Existem vários métodos para calcular as correções topográficas. Todos os métodos requerem um conhecimento detalhado do relevo nas proximidades do ponto de medida. A caracterização das zonas mais distantes pode ser feita com recurso a mapas topográficos.

O procedimento geral considera a divisão da área em sectores prismáticos (Figura 3.14) cuja altitude média é comparada com a do ponto de medida. A recolha destes dados pode ser feita através da sobreposição de uma folha transparente sobre os mapas topográficos, na qual se desenham os diferentes sectores, centrados com o ponto de medida. O esquema mais comum usa círculos concêntricos e linhas radiais, desenhando zonas circulares divididas em sectores, cujas áreas aumentam com a distância ao ponto de medida (Lowrie, 2007).

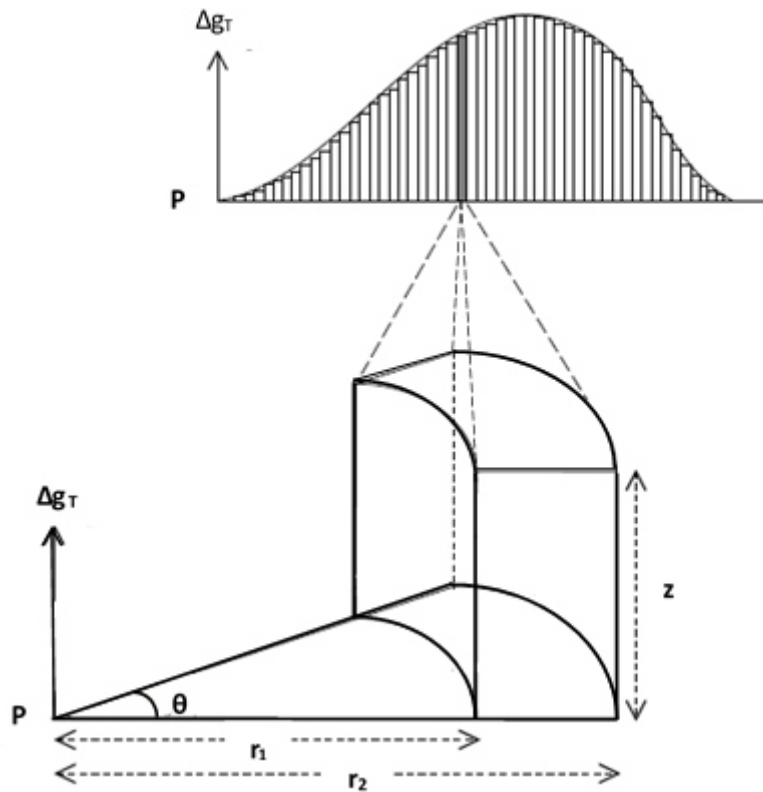


Figura 3.14 - Significado físico das variáveis da equação aplicada na determinação da correção topográfica (adaptado de Lowrie, 2007).

O efeito de cada sector,  $\Delta g'_T$ , é calculado através da seguinte equação:

$$\Delta g'_T = \theta \times G \times \rho_0 \times \left( r_2 - r_1 + \sqrt{r_1^2 + z^2} - \sqrt{r_2^2 + z^2} \right) \quad (3.34)$$

onde  $\theta$  é o ângulo de abertura de cada um dos sectores, em radianos ( $\theta = 2 \times \frac{\pi}{N}$ , com N o número de sectores da zona),  $\rho_0$  é uma densidade fictícia para a qual se vai determinar a correção topográfica ( $\text{g/cm}^3$ ),  $G$  representa a constante de gravitação universal,  $r_1$  e  $r_2$  representam, respetivamente, os raios interno e externo de cada sector (ou zona, em metros) e  $z$  corresponde ao valor absoluto da diferença entre a altitude média do sector e altitude do ponto de medida, em metros (Lowrie, 2007).

A correção topográfica,  $\Delta g_T$ , corresponde ao somatório das contribuições dos diversos sectores, conforme a equação:

$$\Delta g_T \frac{(\sum \Delta g'_T) \times \rho_B}{\rho_e} \quad (3.35)$$

onde  $\rho_B$  é a densidade de Bouguer ( $\text{g/cm}^3$ ), que será calculada numa fase posterior, e  $\rho_e$  é a densidade para a qual foi feita a correção de cada um dos sectores ( $\text{g/cm}^3$ ).

Um dos métodos mais conhecidos, de entre os que usam o esquema acima descrito, consiste na rede de Hammer (Figura 3.15). Esta rede considera vários circuitos concêntricos, denominados de A a M, divididos em sectores (Reynolds, 1997). O ponto A corresponde ao ponto de medida para o qual se pretende calcular a correção topográfica. A divisão dos circuitos concêntricos (zonas) em sectores é feita de acordo com os elementos da tabela 1 onde constam os ângulos de abertura de cada um dos sectores.

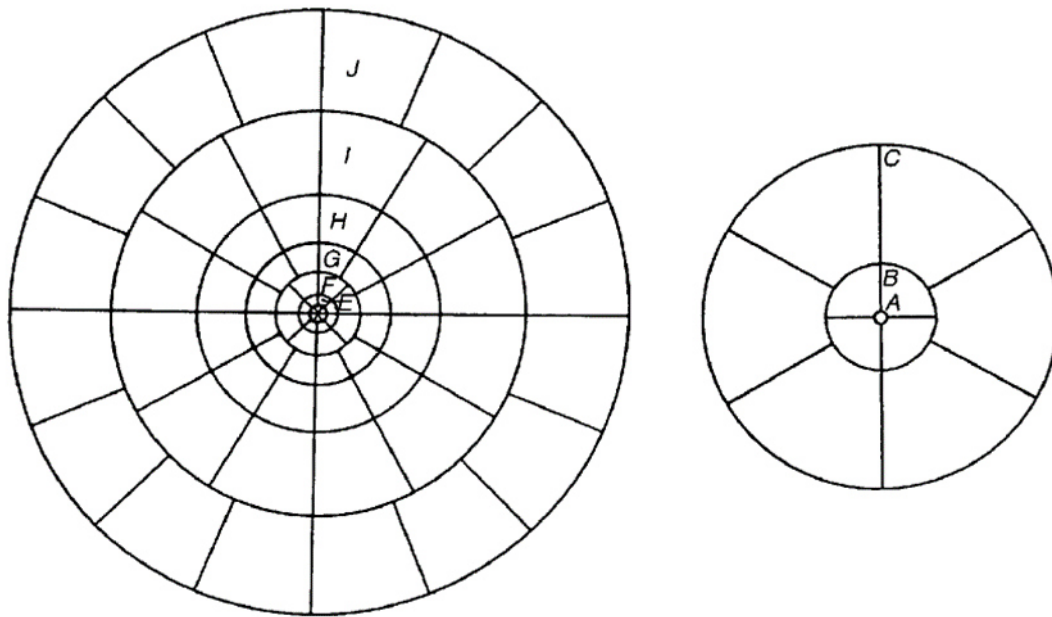


Figura 3.15 - Representação esquemática da rede de Hammer (Reynolds, 1997).

Tabela 3.3 - Rede de Hammer: designação das zonas, raio interno ( $r_1$ ) e raio externo ( $r_2$ ) e número de sectores por zona (Lourenço, 2006).

| Zona | $r_1$ (m) | $r_2$ (m) | Nº de sectores | Zona | $r_1$ (m) | $r_2$ (m) | Nº de sectores |
|------|-----------|-----------|----------------|------|-----------|-----------|----------------|
| B    | 2         | 16,6      | 4              | H    | 1529,4    | 2614,4    | 12             |
| C    | 16,6      | 53,3      | 6              | I    | 2614,4    | 4468,8    | 12             |
| D    | 53,3      | 170,1     | 6              | J    | 4468,8    | 6652,2    | 16             |
| E    | 170,1     | 390,1     | 8              | K    | 6652,2    | 9902,5    | 16             |
| F    | 390,1     | 894,8     | 8              | L    | 9902,5    | 14740,9   | 16             |
| G    | 894,8     | 1529,4    | 12             | M    | 14740,9   | 21943,3   | 16             |

Para facilitar a correção topográfica é possível determinar as correções parciais de cada um dos sectores, função da diferença entre a altitude média do sector e a altitude do ponto de leitura (em módulo), assumindo um dado valor para a densidade (Tabela 3.4).

Atualmente, os meios informáticos disponíveis permitem a programação de folhas de cálculo de forma a obter as correções sem recurso ao uso deste tipo de tabelas.

Tabela 3.4 - Correções topográficas para as zonas B a M, assumindo uma densidade de 2,0 g/cm<sup>3</sup> (Lourenço, 2006).

| Zona            | B     | C   | D   | E    | F    | G    | H  | I   | J   | K   | L   | M   |
|-----------------|-------|-----|-----|------|------|------|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Nº de sectores  | 4     | 6   | 6   | 8    | 8    | 12   | 12 | 12  | 16  | 16  | 16  | 16  |
| Correção [mGal] | Z (m) |     |     |      |      |      |    |     |     |     |     |     |
| 0,001           | 0,5   | 1,9 | 3,3 | 7,6  | 11,5 | 24,9 | 32 | 42  | 72  | 88  | 101 | 125 |
| 0,002           | 0,7   | 2,6 | 4,7 | 10,7 | 16,3 | 35,1 | 46 | 60  | 101 | 124 | 148 | 182 |
| 0,003           | 0,8   | 3,2 | 5,8 | 13,1 | 19,9 | 43,1 | 56 | 74  | 125 | 153 | 186 | 225 |
| 0,004           | 1     | 3,8 | 6,7 | 15,2 | 23   | 49,8 | 65 | 85  | 144 | 176 | 213 | 262 |
| 0,005           | 1,1   | 4,2 | 7,5 | 17   | 25,7 | 55,6 | 73 | 95  | 161 | 197 | 239 | 291 |
| 0,006           | 1,2   | 4,6 | 8,2 | 18,6 | 28,2 | 60,9 | 80 | 104 | 176 | 216 | 261 | 319 |
| 0,007           | 1,3   | 5   | 8,9 | 20,1 | 30,4 | 65,8 | 86 | 112 | 191 | 233 | 282 | 346 |

Outros métodos propõe a representação da topografia envolvente ao ponto de medida por métodos diferentes:

- Bott, em 1959, aplicou um quadrado com uma malha de 40 km de lado, dividido em sectores cuja dimensão é menor na área mais próxima do ponto de medida, resultando num método de aplicação mais simples e com precisão idêntica à de Hammer (Lourenço, 2006);
- Ketelaar, em 1976, propõe a caracterização da topografia com base em sectores com a forma de prismas de secção quadrada, com lado  $D$  e limitados superiormente por uma superfície com inclinação  $\alpha$ . A correção topográfica resultaria da soma das contribuições de cada um dos prismas (Lourenço, 2006);
- Mais recentemente, com o aparecimento da cartografia digital e a vulgarização dos modelos digitais de terreno, surgiram outras metodologias que, no fundamental, mantêm a base teórica do método de Hammer (Lourenço, 2006).

No entanto, independentemente do método, deve ter-se em conta a adequação da escala, função da distância do sector ao ponto de medida. Idealmente, para a zona B, a informação topográfica deveria obter-se por nivelamento topográfico, para as zonas C, D, E e F, a topografia deveria caracterizar-se com base em cartografia às escalas 1:2 000 a 1:5 000, para as zonas intermédias G, H e I, com base nas escalas 1:5 000 a 1:10 000, enquanto que as zonas mais externas, J, K, L e M, deveria caracterizar-se com base nas escalas 1:25 000 a 1:50 000 (Lourenço, 2006).

### 3.7.9. Correção de isostasia

Além dos fatores descritos, a anomalia de Bouguer pode sofrer o efeito de variações do campo gravítico à escala global, devidas a grandes estruturas a nível planetário. A anomalia de Bouguer média em áreas oceânicas é, geralmente, positiva, enquanto em áreas montanhosas é,



geralmente, negativa e sobre planícies, localizadas a baixa altitude, apresenta valores baixos, positivos ou negativos. Estes efeitos indicam que as rochas sob oceanos são mais densas do que o normal, enquanto as rochas que constituem as cadeias montanhosas, incluindo as suas “raízes”, são menos densas (Reynolds, 1997).

Estas variações sistemáticas, de grande escala, são explicadas com base nas teorias de Pratt e de Airy. Para Pratt, a densidade das rochas sob as montanhas seria menor do que a densidade prevista a partir dos afloramentos, sugerindo que a certa profundidade existiria uma superfície equipotencial, que designou por “superfície de compensação”, de modo a que a pressão exercida pelas rochas localizadas acima dessa superfície fosse a mesma em todos os pontos. Essa superfície de compensação localizar-se-ia a uma profundidade comparável à da descontinuidade de Mohorovicic. Airy apresentou um modelo que considera a crosta como rígida, com densidade de  $2,7 \text{ g/cm}^3$ , flutuante sobre as camadas do manto, com densidade de  $3,3 \text{ g/cm}^3$ . As cadeias montanhosas possuiriam “raízes” profundas, enquanto sob os oceanos a crosta seria pouco espessa (Reynolds, 1997).

Estas teorias foram posteriormente desenvolvidas por Hayford (Modelo de Pratt-Hayford) e Heiskanen (Modelo de Airy-Heiskanen). Nestes modelos a crosta, menos densa, flutua sobre o manto, mais denso. Este sistema encontra-se em equilíbrio hidrostático e as compensações isostáticas locais resultam da aplicação do princípio de Arquimedes. Assume-se que a crosta, em condições normais, ao nível do mar (regiões com altitude nula), possui uma espessura entre trinta e trinta e cinco quilómetro e as zonas com “raízes” mais profundas, abaixo do nível do mar, têm uma profundidade proporcional às elevações topográficas acima desse nível (as “raízes” são proporcionais às elevações). Nessas circunstâncias a topografia estaria completamente compensada (Figura 3.16 (A)). No entanto, a compensação isostática, geralmente, não ocorre de forma completa, já que a geodinâmica da Terra origina movimentos verticais da crosta e o consequente desequilíbrio da compensação isostática.

As cadeias de montanhas, ao serem sujeitas a erosão, sofrem uma diminuição da sua altitude. Nessas condições o relevo encontra-se sobrecompensado por “raízes” mais profundas do que a sua topografia justificaria (Figura 3.16 (B)). Desenvolvem-se, então, forças que provocam o erguimento vertical do relevo das zonas montanhosas. O cenário oposto também é possível. Quando as “raízes” são demasiado pequenas, relativamente às elevações, diz-se que estas se encontram isostaticamente subcompensadas (Figura 3.16 (C)). Esta situação ocorre, por exemplo, quando as forças tectónicas carregam blocos da crosta sobre outros blocos. Nestes casos o equilíbrio é adquirido através de subsidência (Lowrie, 2007).

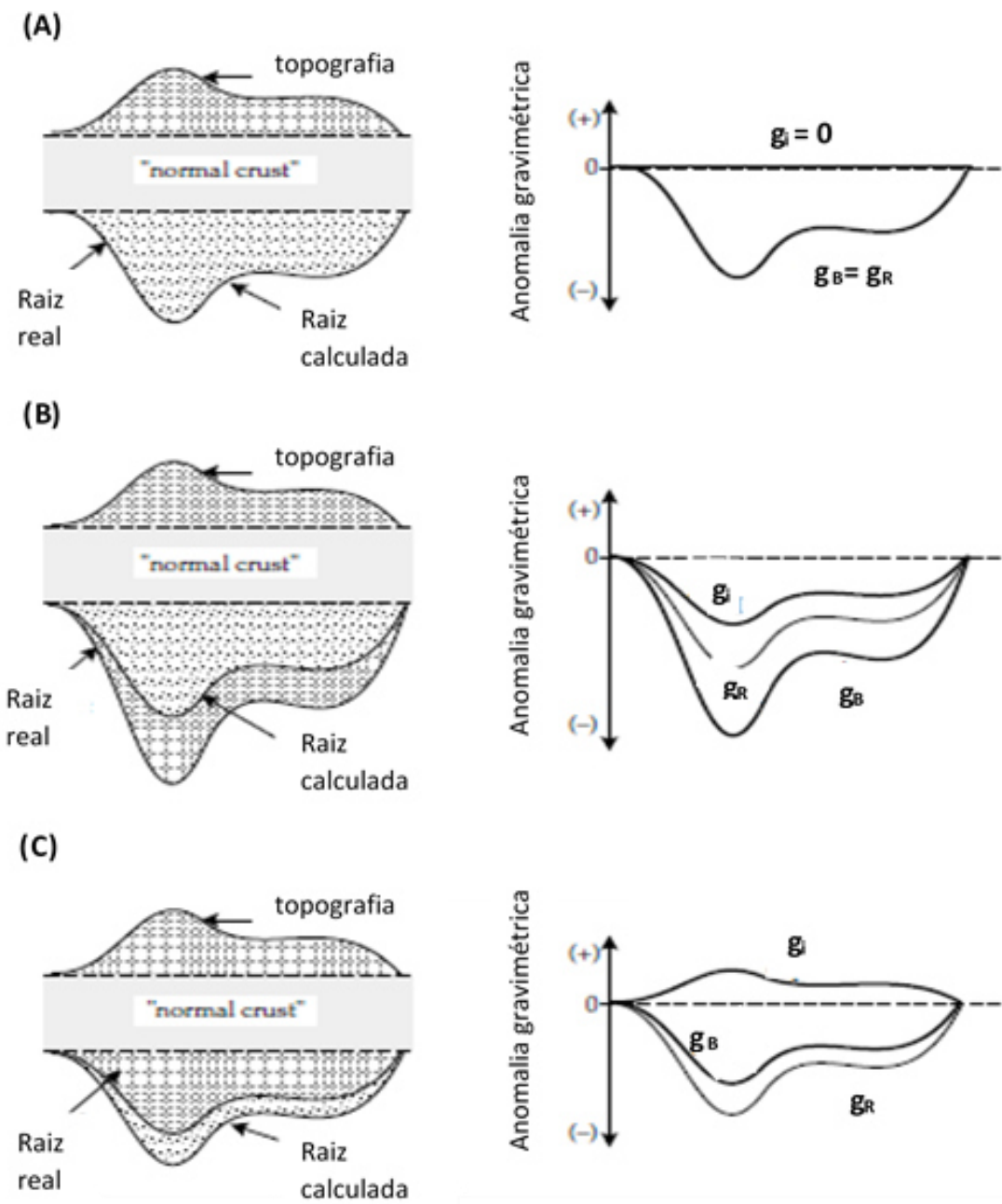


Figura 3.16 - A anomalia isostática segundo os modelos de Pratt-Hayford e Airy-Heiskanen:  $g_i$  - anomalia isostática,  $g_B$  - anomalia de Bouguer,  $g_R$  - anomalia da raiz calculada, a partir da topografia, para as compensações isostáticas (A) completa, (B) sobrevalorizada e (C) subvalorizada (Lowrie, 2007).

A aplicação da correção de isostasia só faz sentido se a campanha de prospeção gravimétrica se desenvolver ao longo de uma área muito extensa, onde se verifiquem os fenómenos anteriormente descritos (Telford *et al.*, 1990). Essa correção poderá ser feita calculando o gradiente regional da variação do campo gravítico para a área em que se desenvolva a campanha.

### 3.8. MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE PROFUNDIDADES

#### 3.8.1. Desconvolução de Euler

O método de desconvolução de Euler permite obter uma estimativa das profundidades das anomalias. Este método mapeia espacialmente as fontes anómalas de campo potencial e baseia-se na equação de homogeneidade de Euler.

A equação de Euler representa a força ( $f$ ) do campo potencial num ponto ( $x, y, z$ ) no espaço, devido a uma fonte localizada ( $x_0, y_0, z_0$ ), em termos das derivadas de primeira ordem ( $\partial f/\partial x$ , etc.) do campo, da seguinte forma:

$$(x - x_0) \frac{\partial f}{\partial x} + (y - y_0) \frac{\partial f}{\partial y} + (z - z_0) \frac{\partial f}{\partial z} = N(B - f) \quad (3.36)$$

que inclui uma componente regional ( $B$ ).

Esta equação relaciona o campo potencial e os seus gradientes horizontal e vertical com a localização das fontes, com grau de homogeneidade ( $N$ ). Este grau é denominado por índice estrutural e representa a taxa de decaimento da anomalia com a distância entre a fonte e o campo de medida, sendo um indicador referente à forma geométrica da fonte anómala. Os índices foram derivados para diferentes tipos de fontes e, estão num intervalo que vai de 0 até 3 (para 0, a equação precisa de ser um pouco modificada).

Tabela 3.5 - Índices estruturais ( $N$ ) existentes para cada forma geométrica da fonte anómala, para os campos gravimétrico e magnético.

| Índice estrutural ( $N$ ) | Forma geométrica da fonte anómala |                                 |
|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
|                           | Campo gravimétrico                | Campo magnético                 |
| 0                         | Dique ou soleira                  | Contacto                        |
| 1                         | Cilindro horizontal ou vertical   | Dique ou soleira                |
| 2                         | Esfera                            | Cilindro horizontal ou vertical |
| 3                         | -                                 | Esfera                          |

A posição da fonte ( $x_0, y_0, z_0$ ) e o campo regional são obtidos através da resolução da equação de Euler. Se  $N$  for muito baixo, a estimativa da profundidade ( $z_0$ ) será muito superficial e, se  $N$  for muito alto, a profundidade será superestimada.

### 3.9. INTERPRETAÇÃO DE ANOMALIAS GRAVIMÉTRICAS

Os mapas da anomalia de Bouguer mostram as diferenças da componente horizontal da aceleração da gravidade, provocadas por variações horizontais (laterais) da densidade, uma vez que, estando os dados reduzidos a uma superfície de referência, as variações da densidade

puramente verticais produzem o mesmo efeito em qualquer ponto da área estudada e, conseqüentemente, não induzem anomalias. A representação das anomalias é afetada pelas dimensões, pela profundidade e pelo contraste de densidades entre a estrutura anómala e o encaixante (Lowrie, 2007). A extensão horizontal da anomalia relaciona-se com a profundidade da estrutura. Estruturas de grandes dimensões, profundas, originam anomalias extensas, de pouca amplitude, enquanto estruturas de pequenas dimensões, subsuperficiais, originam anomalias localizadas e abruptas (pronunciadas). Geralmente, os mapas de anomalia de Bouguer resultam da sobreposição de várias anomalias. Aquelas com grande comprimento de onda, devidas ao contraste de densidade a grande profundidade, são designadas anomalias regionais. Estas anomalias são importantes para a compreensão das estruturas de grande escala (montanhas, *rifts* e zonas de subducção). As anomalias com comprimento de onda pequeno, originadas por contraste de densidade a pouca profundidade, são designadas anomalias residuais e podem relacionar-se com estruturas com interesse comercial (filões, massas minerais e falhas, entre outras) (Lowrie, 2007). A separação das anomalias regional e residual é, por isso, importante.

### 3.9.1. Separação das anomalias regional e residual

Esta separação pode ser baseada em perfis gravimétricos ou pode envolver a análise da distribuição das anomalias de um mapa. As técnicas utilizadas variam desde a análise visual, mais simples, até à aplicação de métodos matemáticos mais complexos.

#### 3.9.1.1. Métodos empíricos

O método mais simples, para a obtenção da anomalia regional, consiste em ajustar visualmente a anomalia de grande comprimento de onda, através de curvas, sobre perfis gravimétricos perpendiculares à anomalia efetuada (Figura 3.17 (B)).

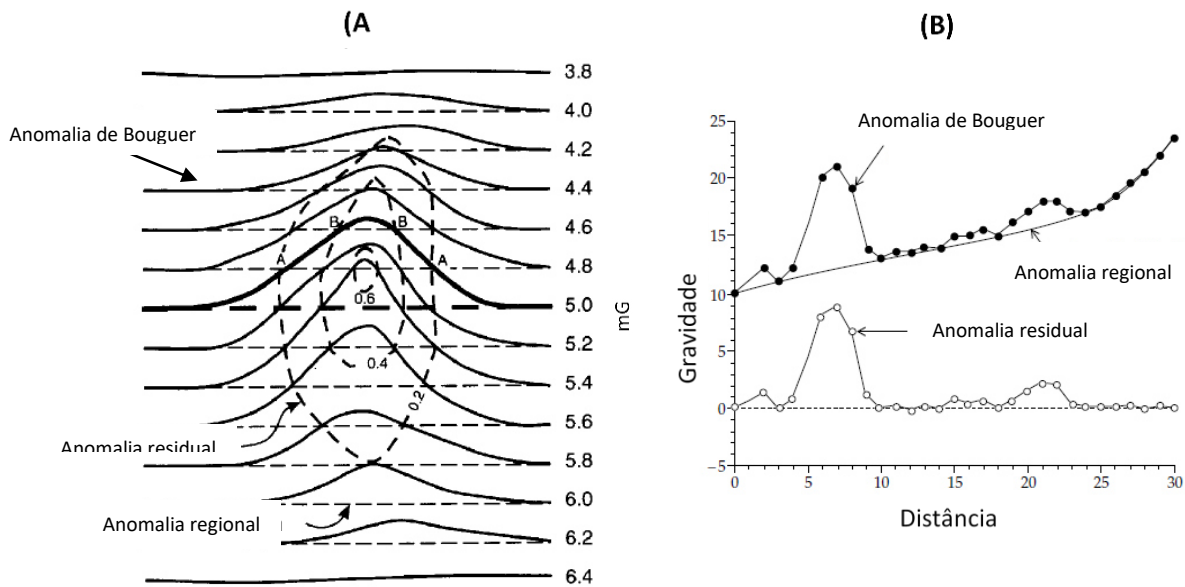


Figura 3.17 - Separação das anomalias regional e residual em (A) mapas e em (B) perfis, por ajustamento visual de curvas (adaptado de Reynolds, 1997 e de Lowrie, 2007).

O valor da anomalia regional, obtido a partir da curva, é subtraído ponto a ponto à anomalia de Bouguer. Este método concede grande liberdade ao operador, permitindo que o sinal da anomalia se adeque à sua interpretação, ajustando a curva para os valores mais baixos, ou mais altos, da anomalia de Bouguer. Por tal facto, é também um método pouco rigoroso e subjetivo (Lowrie, 2007).

Esta mesma técnica pode ser adaptada à análise de mapas da anomalia de Bouguer. Na figura 3.17 (A), calcularam-se os valores da anomalia residual para os pontos de intersecção das isolinhas da anomalia de Bouguer com as isolinhas da anomalia regional (anomalia residual = anomalia de Bouguer – anomalia regional). Por esses pontos traçam-se, posteriormente, as isolinhas da anomalia residual. Para situações mais complexas, pode optar-se pelo estabelecimento de uma quadrícula regular, para que nos nós, se calculem os valores da anomalia de Bouguer e da anomalia regional. Fazendo a subtração nó a nó, obtêm-se os valores da anomalia residual para o nó respetivo. A partir desses mesmos valores podem então traçar-se as isolinhas do mapa da anomalia residual (Lowrie, 2007).

Nos casos em que a anomalia regional é de tal modo irregular que não se detete de imediato a sua tendência, ou quando existem várias anomalias regionais sobrepostas, pode optar-se por fazer a separação das anomalias de forma progressiva. Numa primeira abordagem remove-se a anomalia regional mais óbvia. À anomalia resultante é retirada uma anomalia regional de segunda ordem e assim sucessivamente. À semelhança dos perfis, também na análise de mapas, a experiência e a habilidade do operador são fatores importantes.

### 3.9.1.2. Métodos matemáticos

Nos métodos matemáticos incluem-se o ajustamento polinomial, as técnicas de análise de séries temporais e a análise das segundas derivadas.

#### 3.9.1.2.1. Ajustamento polinomial

Como alternativa aos métodos de análise visual pode proceder-se ao ajuste da tendência regional através de uma reta ou de uma curva polinomial (Figura 30), cuja equação geral se pode escrever na forma:

$$g_R = \sum_{i=0}^n (g_i \times x^i) \quad (3.257)$$

onde  $x$  representa a distância à origem do perfil e  $g_i$  os coeficientes que serão ajustados pelo método dos mínimos quadrados.

No entanto, este método também necessita de ser aplicado com algum cuidado. De facto, quanto maior for o grau do polinómio, melhor se ajustará aos valores da anomalia de Bouguer. No caso limite ter-se-á um polinómio cujo grau será igual ao número de observações menos um. Nessas circunstâncias a curva ajusta-se perfeitamente a todos os pontos, mas a anomalia regional por ela representada não terá significado geológico. Por isso, é importante a decisão do operador no que se refere à escolha do grau do polinómio. Geralmente escolhe-se o de menor grau, de entre aqueles que aparentam representar a tendência regional. Além deste aspeto, a curva deve passar pela média dos valores da anomalia de Bouguer, de modo a que a anomalia residual seja igualmente repartida, positiva e negativamente, o que faz com que cada anomalia residual seja ladeada por anomalias de sinal contrário (Figura 3.18 (B) e (C)) (Lowrie, 2007).

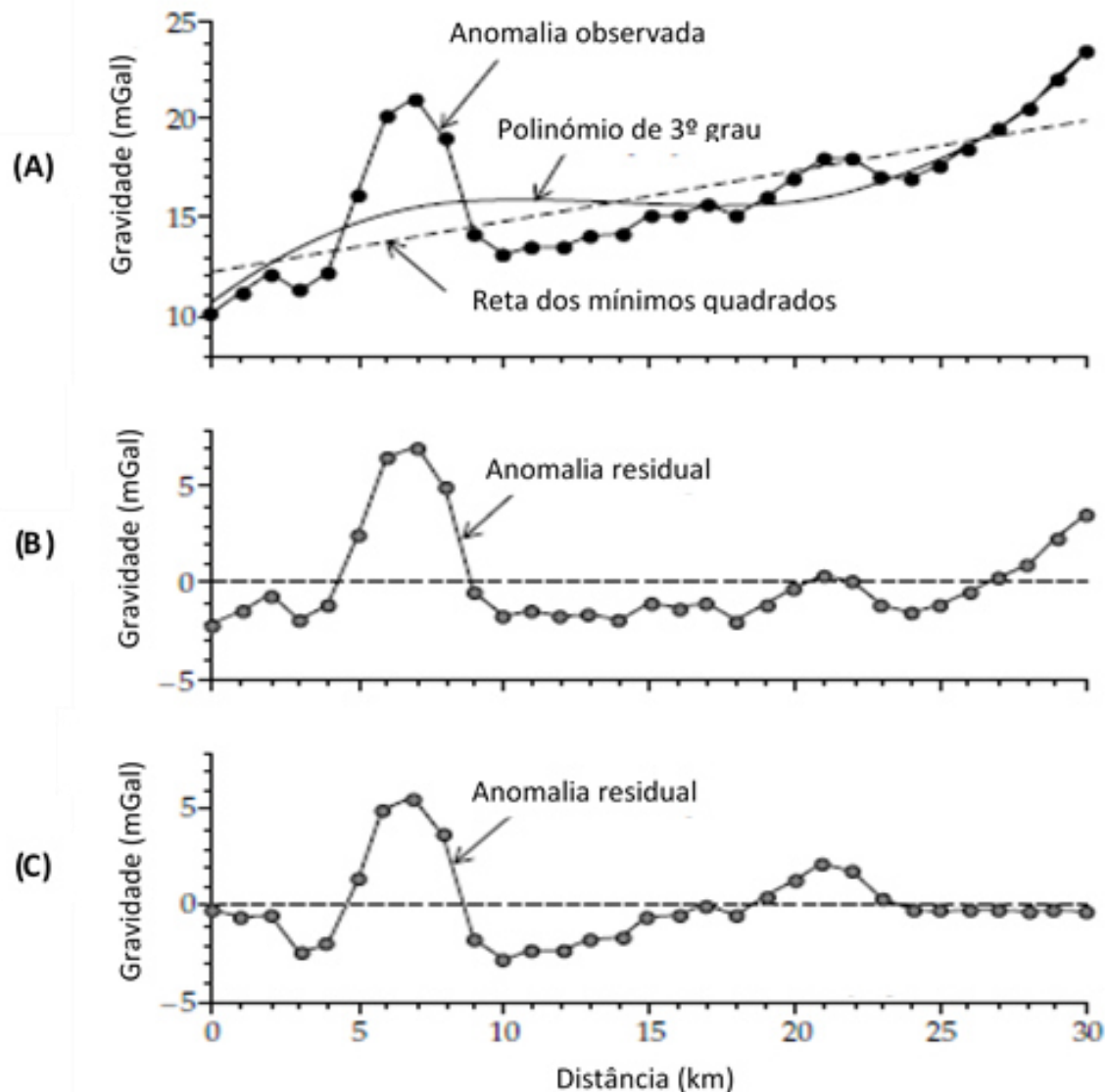


Figura 3.18 - Ajustamento da anomalia regional através de uma curva polinomial, determinada pelo método dos mínimos quadrado: (A) ajustamento linear e por polinómio do terceiro grau, (B) anomalia residual obtidas por ajustamento linear (reta) e (C) anomalia residual obtida por ajustamento de um polinómio de terceiro grau (Lowrie, 2007).

O ajustamento de polinómios também pode aplicar-se a mapas. Nesse caso assume-se que a anomalia regional pode ser representada por uma superfície polinomial de baixo grau, em função das coordenadas representadas no mapa. No caso mais simples, é expressa por um polinómio de primeiro grau (plano de tendência). Para representar variações do gradiente é necessário aplicar polinómios de grau superior (Lowrie, 2007).

Para o caso de um polinómio de grau dois, a anomalia regional seria representada por uma equação do tipo:

$$g_R = g_0 + g_{x1}x + g_{y1}y + g_{x2}x^2 + g_{y2}y^2 + g_{xy}xy \quad (3.268)$$

onde  $x$  e  $y$  se referem às coordenadas das posições representadas no mapa e  $g_0, g_{x1}, \dots, g_{xy}$  representam os coeficientes que serão determinados pelo método dos mínimos quadrados.

Finalmente, a anomalia residual obtém-se por subtração da anomalia regional à anomalia de Bouguer (Lowrie, 2007).

### 3.9.1.2.2. Análise de Fourier

As técnicas de análise de séries temporais também se podem aplicar na análise da gravidade ao longo de perfis, fazendo variar a anomalia gravimétrica com a posição ao longo do perfil. Nessas circunstâncias,  $k = 2 \times \frac{\pi}{\lambda}$  corresponde à frequência de uma série temporal, onde  $\lambda$  é um comprimento de onda da anomalia, duplo da sua amplitude. Assumindo que a sua variação é periódica, a função que traduz a anomalia pode ser expressa como uma sobreposição de funções harmónicas simples. Cada função harmónica é uma função seno ou cosseno, cujo argumento é um múltiplo de  $k$ :

$$g_R = \sum_{n=1}^N \left( a_n \times \cos\left(\frac{2 \times n \times \pi \times x}{\lambda}\right) + b_n \times \sin\left(\frac{2 \times n \times \pi \times x}{\lambda}\right) \right) \quad (3.279)$$

Esta expressão é designada como série de Fourier, onde  $n$ , em princípio, pode assumir valores tão grandes quanto necessário, de modo a descrever adequadamente a anomalia regional e  $a_n$  e  $b_n$  são funções que assumem o papel de coeficientes de ponderação. Estas funções podem expressar-se pelas equações:

$$a_n = \frac{2}{\lambda} \int_0^{\lambda} g_R \times \cos\left(\frac{2 \times n \times \pi \times x}{\lambda}\right) dx \quad (3.40)$$

$$b_n = \frac{2}{\lambda} \int_0^{\lambda} g_R \times \sin\left(\frac{2 \times n \times \pi \times x}{\lambda}\right) dx \quad (3.41)$$

Para um mapa, a variação bidimensional da anomalia pode ser expressa de modo semelhante, recorrendo a séries duplas de Fourier, agora expressas como funções de  $x$  e  $y$ :

$$g_R = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M (a_{nm} \times C_n \times C_m^* + b_m \times C_n \times S_m^* + c_{nm} \times S_n \times C_m^* + d_{nm} \times S_n \times S_m^*) \quad (3.42)$$

onde

$$C_n = \cos\left(\frac{2 \times n \times \pi \times x}{\lambda}\right)$$

$$S_n = \sin\left(\frac{2 \times n \times \pi \times x}{\lambda}\right)$$

$$C_m^* = \cos\left(\frac{2 \times m \times \pi \times y}{\lambda}\right)$$

$$S_m^* = \sin\left(\frac{2 \times m \times \pi \times y}{\lambda}\right)$$



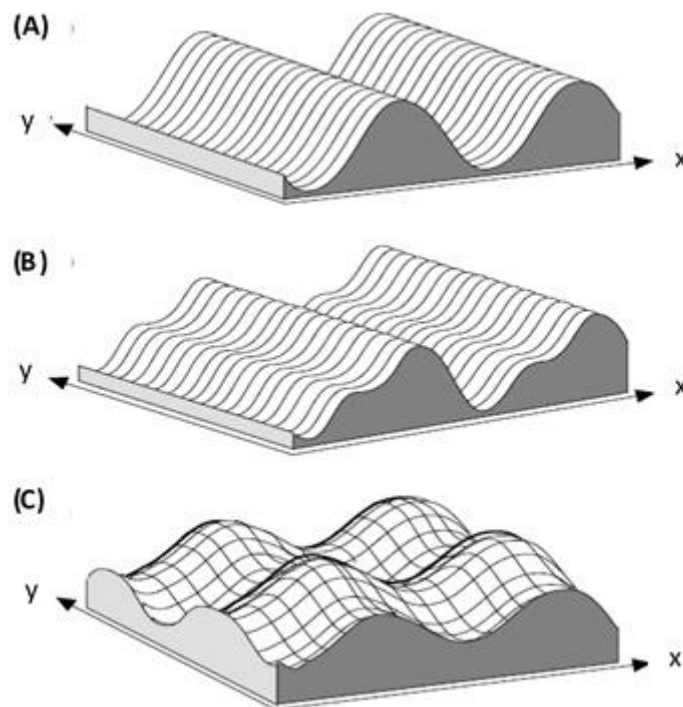


Figura 3.19 - Variação bidimensional da anomalia gravimétrica usando séries duplas de Fourier: (A) harmônicas simples a direção x, (B) harmônicas duplas na direção x e (C) harmônicas simples sobrepostas nas direções de x e y (Lowrie, 2007).

Tal como na aplicação a perfis, a série dupla de Fourier é análoga à soma de funções sinusoidais ponderadas, o que do ponto vista gráfica poderia traduzir-se sob a forma de ondulações do plano x-y (Figura 3.19), onde cada ondulação possui um peso que traduz a sua importância relativa (Lowrie, 2007).

No entanto, muitas vezes, a variação das anomalias gravimétricas não se faz, de um ponto para o outro, de forma periódica ou harmónica. Nesses casos as séries de Fourier podem ser substituídas por um integral de Fourier, que consiste num conjunto contínuo de frequências capaz de representar funções não periódicas, recorrendo a números complexos. Tal como nas séries de Fourier, também os integrais de Fourier podem ser aplicados tanto à análise das anomalias gravimétricas ao longo de perfis, como à análise de anomalias em mapas. O tratamento matemático, complexo, inclui a aplicação de filtros que são funções espaciais das coordenadas x e y. Estes filtros podem ser escolhidos de modo a eliminar comprimentos de ondas específicos. Por exemplo, um filtro do tipo passa-baixo, deixa passar os comprimentos de onda longos, a que correspondem números de onda baixos (Figura 3.20) (Lowrie, 2007).

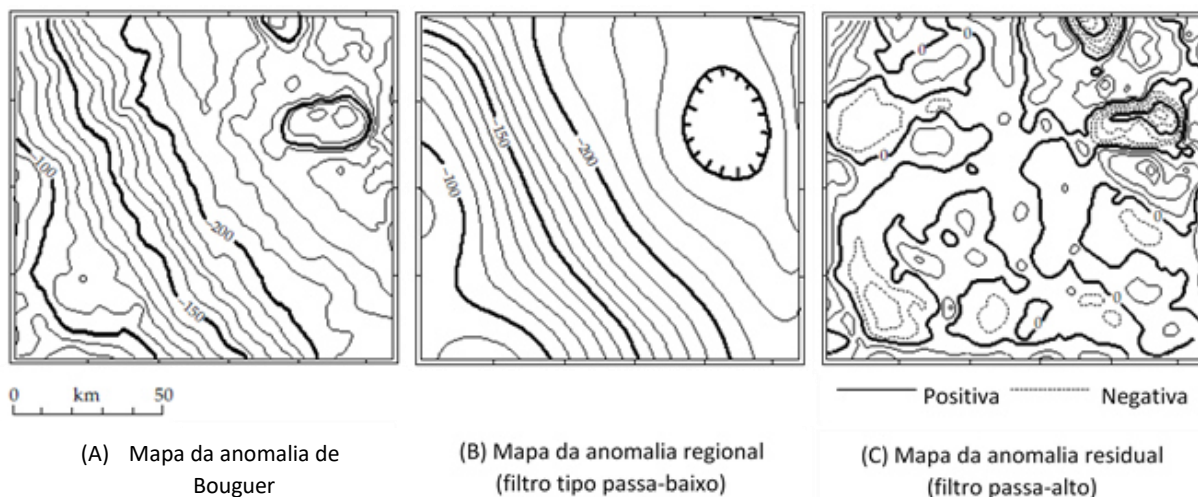


Figura 3.20 - Aplicação de filtros para a obtenção de mapas de anomalias: (A) mapa da anomalia de Bouguer, (B) mapa da anomalia regional obtido por aplicação de filtros tipo passa-baixo e (C) mapa da anomalia residual obtido por aplicação de filtros passa-alto (adaptado de Lowrie, 2007).

### 3.9.1.2.3. Segundas derivadas

Outro dos problemas inerente à interpretação dos mapas da anomalia de Bouguer é a dificuldade em distinguir entre os efeitos devidos a estruturas subsuperficiais e os efeitos devidos a estruturas profundas. Esta separação pode ser feita através do método das segundas derivadas. A primeira derivada permite caracterizar as anomalias devidas a estruturas mais profundas, por oposição às anomalias de pequena dimensão, geradas por estruturas menores, localizadas mais superficialmente, caracterizadas pela segunda derivada (Reynolds, 1997).

A equação que permite a determinação analítica da segunda derivada obtém-se usando alguns círculos concêntricos, geralmente três. A cada um destes círculos atribui-se um peso, através de uma constante. No seu geral, pode escrever-se sob a forma:

$$\frac{\partial^2 g}{\partial z^2} = \frac{k}{s^2} \times \left( k_0 \times g_0 + \sum_{i=1}^n k_i \times \bar{g}_i \right) \quad (3.43)$$

onde  $g_0$  representa o valor da anomalia de Bouguer do ponto de leitura para o qual se pretende determinar a segunda derivada,  $\bar{g}_i$  representa os valores médios nos sucessivos círculos,  $k_i$  os coeficientes ponderados,  $k$  um fator numérico e  $s$  o espaçamento entre pontos de leitura. Os raios dos círculos são escolhidos em funções da dimensão da malha de amostragem, assumindo geralmente os valores  $s$ ,  $s \times \sqrt{2}$  e  $s \times \sqrt{5}$ . Para estes valores, a equação anterior pode simplificar-se, escrevendo-se na forma:

$$\frac{\partial^2 g}{\partial z^2} = \frac{2}{s^2} \times (3 \times g_0 - 4 + \bar{g}_1 + \bar{g}_2) \quad (3.44)$$

### 3.10. MODELAÇÃO DE ANOMALIAS GRAVIMÉTRICAS

Após a remoção dos efeitos regionais, a anomalia gravimétrica residual deve ser interpretada em termos de anomalias na distribuição das densidades. Esta interpretação é ambígua, já que qualquer anomalia pode ter várias origens, isto é, embora uma qualquer anomalia possa ser calculada de forma inequívoca, haverá sempre um número infinito de estruturas que lhe poderá dar origem. Daí ser importante que na sua interpretação se reduza a ambiguidade, caracterizando a estrutura do ponto de vista geológico tão exaustivamente quanto possível, através da observação dos seus afloramentos, de sondagens, sanjas, minas, ou outras, bem como através da interpretação com outras técnicas de prospeção geofísica (Reynolds, 1997).

Os métodos utilizados na interpretação da anomalia de Bouguer são enquadráveis em duas metodologias. Nos métodos diretos a interpretação resulta da análise dos dados originais. Nos métodos indiretos (ou de inversão) criam-se modelos teóricos (tão próximo quanto possível do modelo real apresentado), a partir dos quais se calculam as anomalias gravimétricas correspondentes, com recurso a aplicações informáticas. Comparando as anomalias assim geradas com as anomalias de campo, faz-se variar o modelo teórico de modo a aproximar o mais possível as anomalias calculadas com as originais. O modelo correspondente ao melhor ajuste das anomalias é tomado como o modelo correspondente às anomalias originais (Reynolds, 1997).

### 3.11. PROCESSAMENTO DOS DADOS E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

A campanha de prospeção gravimétrica foi realizada na área de estudo, de modo a cobrir esta, apesar dos acessos serem, muitas vezes, complicados, conseguiu-se cobrir a área (Figura 3.21). Não se planearam pontos de leitura na zona dos gnaisses e dos granitos, uma vez que os dados antigos descrevem que não existem filões com mineralização nessa região.

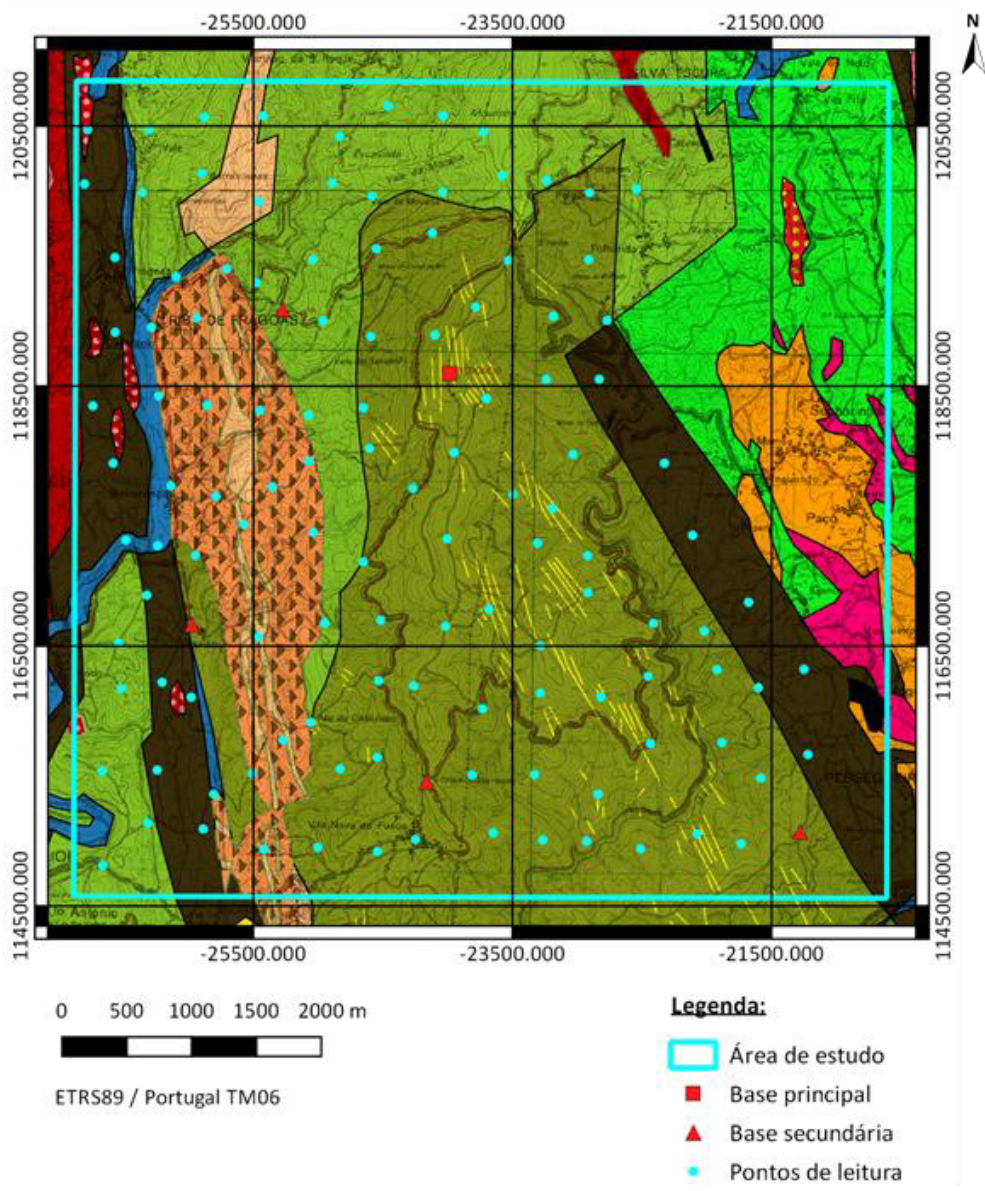


Figura 3.21 - Localização dos pontos de leitura e das bases da prospeção gravimétrica.

No total registaram-se 125 pontos de leitura distribuídos segundo uma malha irregular, com espaçamento variável em torno de 371 metros. A sua distribuição espacial foi principalmente condicionada pelos caminhos de acesso.

As estações foram previamente projetadas sobre uma base topográfica. Com base nessa projeção procedeu-se à planificação da campanha, nomeadamente no que respeita à definição dos ciclos de medição e posicionamento das respetivas estações base. Para tal, foram consideradas todas as informações relativas à geologia de superfície, vias de acesso existentes e número de leituras programado para cada ciclo. Inicialmente previram-se três estações base, mas no decurso da campanha, verificou-se que eram necessárias mais duas estações base, devido à dificuldade em aceder às existentes de forma rápida, provocado pela falta de vias de acesso.

No total efetuaram-se vinte e nove ciclos de medição, com uma duração média de 108 minutos, ao longo de dez dias de campo.

As medições foram efetuadas com um gravímetro da marca LaCoste e Romberg, modelo G, com o número de série 991. Este equipamento efetua leituras em divisões de escala próprias, que se transformam em miliGal, de acordo com os parâmetros das tabelas de calibração fornecidos pelo construtor (LaCoste, 1991), e possui uma precisão de 0,01 mGal.

Em cada ponto de medição realizaram-se quatro leituras para as quais se registaram os instantes de tempo respetivos.

O registo da posição do ponto de leitura foi feito usando *Differential Global Positioning System* (DGPS). Infelizmente, nem sempre o número e a geometria dos satélites disponíveis na constelação GPS, em cada instante, permitiu a referenciação das posições de leitura com a exatidão desejada, obrigando a tempos de estacionamento mais longo.

A medição atribuída a cada ponto de leitura resulta da média das quatro leituras, assumida para o instante médio. As medições assim resultantes enquandram-se entre 3600 e 3756 divisões de escala, pelo que a sua transformação em miliGal, de acordo com as tabelas fornecidas pelo construtor, foram efetuadas através das equações:

$$L_{mGal} = 3689,73 + (L_{DE} - 3600) \times 1,02797 \quad (3.45)$$

$$L_{mGal} = 3792,53 + (L_{DE} - 3700) \times 1,02812 \quad (3.46)$$

onde  $L_{mGal}$  representa a medição expressa em miliGal e  $L_{DE}$  a medição efetuada em divisões de escala.

As medições realizadas, acompanhadas das coordenadas e das correções efetuadas constam nos Anexos 1 e 2.

### 3.11.1. Correção e redução dos dados

#### 3.11.1.1. Correção lunissolar

Os dados de campo foram inicialmente sujeitos à correção lunissolar, para o efeito utilizou-se o programa *Tidal Corrections Computation*, versão 1.0. Este programa permite calcular as componentes de correção relativas às marés oceânicas, para qualquer local do planeta e qualquer período de tempo. As variáveis de entrada são:

- A latitude, longitude e altitude do ponto de medição;

- O período de tempo para o qual se pretende efetuar as correções expresso em termos do dia, mês, ano, hora e minuto.

#### 3.11.1.2. Correção de deriva

Depois de ter sido feita a correção lunissolar seguiu-se a correção de deriva instrumental. Inicialmente, corrigiu-se a deriva instrumental para cada um dos ciclos de medição, relativamente às bases secundárias. Após esta correção procedeu-se à redução das leituras relativamente à base gravimétrica principal. A base principal adotada (que durante os trabalhos se designou por base quatro) localiza-se numa posição central de fácil acesso.

#### 3.11.1.3. Correção de altitude

A correção de altitude tomou como superfície de referência o nível médio das águas do mar. De acordo com a equação 3.15. corrigiu-se a altitude, para cada ponto de medição.

#### 3.11.1.4. Correção estaca-tripé

O gravímetro foi colocado sobre o prato de nivelamento, não tendo sido utilizada qualquer base, estaca ou tripé. Por isso, embora o prato estivesse a diferentes distâncias do solo na execução das medidas, as variações são muito pequenas.

#### 3.11.1.5. Correção de latitude

A latitude foi corrigida a partir da equação 3.17, para cada ponto de medição. Uma vez que a equação dá os valores em  $[m/s^2]$ , tem-se que multiplicar por  $10^5$  para se transformar os dados em  $[mGal]$ .

#### 3.11.1.6. Correção de Eötvös

A correção de Eötvös não se aplica a este caso de estudo, uma vez que todas as medições foram obtidas com o gravímetro estacionado.

#### 3.11.1.7. Correção de Bouguer

A densidade de Bouguer foi calculada através de três métodos distintos: o método de Nettleton, o método de Parasnis e o método da balança de Jolly.

A densidade de Bouguer foi determinada de acordo com o método proposto por Nettleton, através das equações 3.23. e 3.24. Obteve-se uma densidade aproximada de 2,30 g/cm<sup>3</sup> (Figura 3.22).

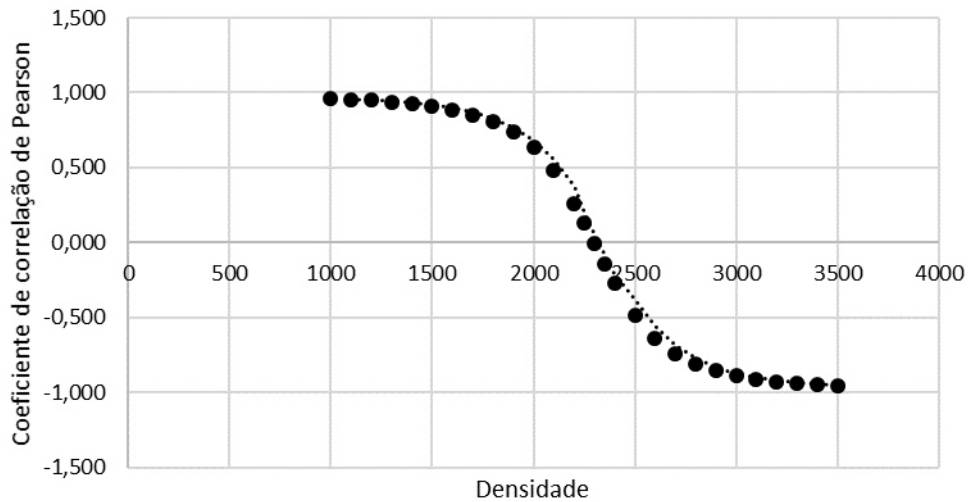


Figura 3.22 - Representação gráfica do método de Nettleton.

Através do método de Parasnis foi possível calcular uma nova densidade de Bouguer (Figura 3.23). O ajustamento pelo método dos mínimos quadrados determinou a reta da equação:

$$y = 2,7836x + 19,509$$

com um coeficiente de determinação  $R^2 = 0,949$ . Dessa equação é possível calcular o valor da densidade de Bouguer  $\rho_B = 2,38 \text{ g/cm}^3$ .

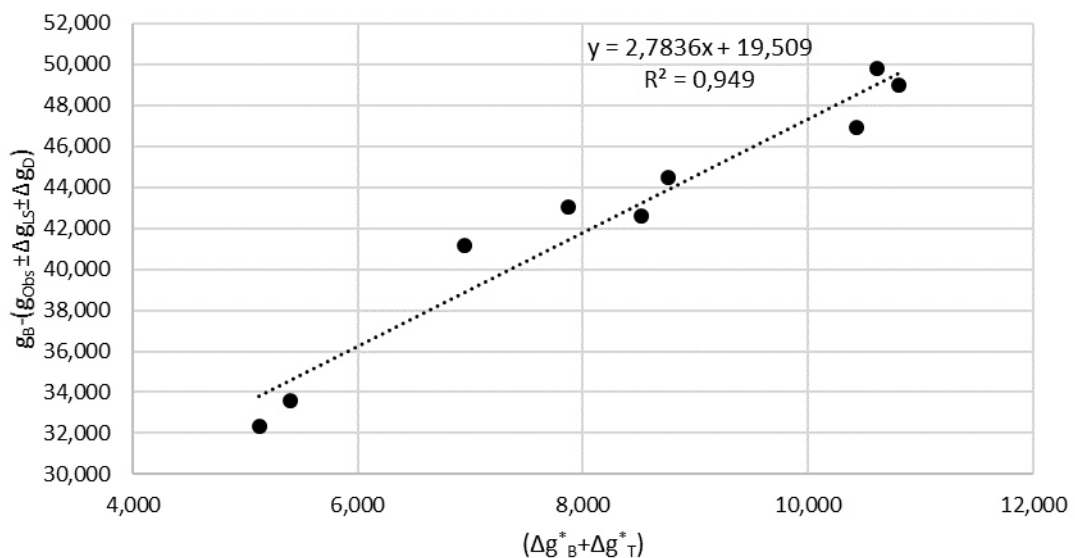


Figura 3.23 - Representação gráfica do método de Parasnis (ajustamento pelo método dos mínimos quadrados).

Após se ter calculado a densidade através dos métodos de Nettleton e de Parasnis, decidiu-se determinar a densidade através do método da balança de Jolly, uma vez que os valores eram baixos para uma litologia constituída, maioritariamente, por xistos (densidade entre 2,4 g/cm<sup>3</sup> e 2,8 g/cm<sup>3</sup>, aproximadamente, Tabela 3.1).

Considerou-se a densidade da água,  $\rho_{fl}$ , de 1 g/cm<sup>3</sup>, estando esta a uma temperatura de 25 °C e calculou-se a densidade das diferentes litologias,  $\rho_s$ , de acordo com a expressão (3.33):

$$\rho_s = \left( \frac{l_1 - l_0}{l_1 - l_2} \right) \times \rho_{fl}$$

O resultado obtido para a média do valor das diferentes litologias é de 2,58 g/cm<sup>3</sup> (Tabela 3.6). Nesta experiência as densidades foram obtidas através das rochas, tal como vieram do campo, ou seja, contendo alguma porosidade.

Tabela 3.6 - Resultado do valor da densidade para as diferentes litologias existentes, utilizando o método da balança de Jolly. Neste caso as amostras continham porosidade.

| Litologia                    | L <sub>0</sub> (cm) | L <sub>1</sub> (cm) | L <sub>2</sub> (cm) | Densidade (g/cm <sup>3</sup> ) | Média das densidades (g/cm <sup>3</sup> ) | Média total (g/cm <sup>3</sup> ) |
|------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------|---|----------------------------------|
| Xistos e grauvaques          | 26,6                | 29,8                | 28,6                | 2,67                           | 2,60                                      | 2,58                             |
|                              | 27,2                | 30,9                | 29,5                | 2,64                           |   |                                  |
|                              | 27,2                | 32,7                | 30,5                | 2,50                           |   |                                  |
| Filádios e xistos cloríticos | 27,2                | 31,5                | 29,6                | 2,26                           | 2,26                                      |                                  |
|                              | 27,2                | 31,1                | 29,4                | 2,29                           |   |                                  |
|                              | 27,2                | 34,3                | 31,1                | 2,22                           |   |                                  |
| Quartzito                    | 27,3                | 36,9                | 33,2                | 2,59                           | 2,65                                      |                                  |
|                              | 27,2                | 36,2                | 32,9                | 2,73                           |   |                                  |
|                              | 27,5                | 33                  | 30,9                | 2,62                           |   |                                  |
| Micaxisto do Braçal          | 27,3                | 39,7                | 35,2                | 2,76                           | 2,68                                      |                                  |
|                              | 27,5                | 34,5                | 31,9                | 2,69                           |   |                                  |
|                              | 27,5                | 36,1                | 32,8                | 2,61                           |   |                                  |
| Quartzofilito                | 27,4                | 32                  | 30,1                | 2,42                           | 2,40                                      |                                  |
|                              | 27,5                | 32,3                | 30,3                | 2,40                           |   |                                  |
|                              | 27,5                | 33,9                | 31,2                | 2,37                           |   |                                  |
| Micaxisto                    | 27,6                | 33,3                | 31,4                | 3,00                           | 2,87                                      |                                  |
|                              | 27,3                | 36,4                | 33,1                | 2,76                           |   |                                  |
|                              | 27,3                | 33,5                | 31,4                | 2,95                           |   |                                  |
|                              | 27,5                | 35                  | 32,3                | 2,78                           |   |                                  |

De modo a retirar a porosidade existente nos fragmentos de rocha, deixaram-se num recipiente com água, os fragmentos de rocha que se utilizaram na experiência anterior, durante uma semana e, fez-se de novo as medições e cálculos. Obteve-se um valor médio de 2,48 g/cm<sup>3</sup> (Tabela 3.7), o que não se esperava, uma vez que as rochas sem porosidade deveriam dar um valor mais elevado de densidade. Mas, deu este valor devido ao facto de os fragmentos de rocha que se colocaram em água se terem desfeito, logo não se obtiveram os mesmos pedaços para



fazer as medições. Calculou-se a densidade para todas as porções que resultaram da semana em água. Decidiu-se, então, considerar a densidade de  $2,58 \text{ g/cm}^3$ , para o processamento dos dados.

Tabela 3.7 - Resultado do valor da densidade para as diferentes litologias existentes, utilizando o método da balança de Jolly. Neste caso as amostras não continham porosidade.

| Litologia                    | L <sub>0</sub> (cm) | L <sub>1</sub> (cm) | L <sub>2</sub> (cm) | Densidade (g/cm <sup>3</sup> ) | Média das densidades (g/cm <sup>3</sup> ) | Média total (g/cm <sup>3</sup> ) |
|------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------|---|----------------------------------|
| Xistos e grauvaques          | 27,3                | 29,8                | 28,8                | 2,50                           | 2,48                                      | 2,48                             |
|                              | 27,3                | 31,4                | 29,6                | 2,28                           |   |                                  |
|                              | 27,3                | 30,2                | 29,0                | 2,42                           |   |                                  |
|                              | 27,3                | 33,3                | 30,9                | 2,50                           |   |                                  |
|                              | 27,3                | 30,0                | 29,0                | 2,70                           |   |                                  |
| Filádios e xistos cloríticos | 27,3                | 31,9                | 29,8                | 2,19                           | 2,30                                      |                                  |
|                              | 27,3                | 32,6                | 30,3                | 2,30                           |   |                                  |
|                              | 27,3                | 33,0                | 30,6                | 2,38                           |   |                                  |
|                              | 27,3                | 31,5                | 29,7                | 2,33                           |   |                                  |
| Quartzito                    | 27,3                | 35,5                | 32,4                | 2,65                           | 2,59                                      |                                  |
|                              | 27,4                | 37,1                | 33,3                | 2,55                           |   |                                  |
|                              | 27,3                | 36,8                | 33,1                | 2,57                           |   |                                  |
|                              | 27,3                | 32,0                | 30,2                | 2,61                           |   |                                  |
| Micaxisto do Braçal          | 27,3                | 34,5                | 31,6                | 2,48                           | 2,51                                      |                                  |
|                              | 27,3                | 35,0                | 31,9                | 2,48                           |   |                                  |
|                              | 27,3                | 31,6                | 29,9                | 2,53                           |   |                                  |
|                              | 27,3                | 36,3                | 32,7                | 2,50                           |   |                                  |
|                              | 27,3                | 38,2                | 33,9                | 2,53                           |   |                                  |
| Quartzofilito                | 27,3                | 36,0                | 32,3                | 2,35                           | 2,41                                      |                                  |
|                              | 27,3                | 32,2                | 30,2                | 2,45                           |   |                                  |
|                              | 27,3                | 34,2                | 31,4                | 2,46                           |   |                                  |
|                              | 27,3                | 32,5                | 30,3                | 2,36                           |   |                                  |
| Micaxisto                    | 27,2                | 32,7                | 30,6                | 2,62                           | 2,57                                      |                                  |
|                              | 27,2                | 35,5                | 32,3                | 2,59                           |   |                                  |
|                              | 27,2                | 33,5                | 31,0                | 2,52                           |   |                                  |
|                              | 27,2                | 33,6                | 31,2                | 2,67                           |   |                                  |
|                              | 27,3                | 30,9                | 29,5                | 2,57                           |   |                                  |
|                              | 27,3                | 31,9                | 30,0                | 2,42                           |   |                                  |

### 3.11.1.8. Correção topográfica

A correção topográfica foi feita pelo Professor José Martinho Lourenço da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Os valores da densidade de Bouguer e da densidade fictícia adotados na correção topográfica foram  $\rho_B = 2,67 \text{ g/cm}^3$  e  $\rho_0 = 1 \text{ g/cm}^3$ .

A correção topográfica baseou-se no método de Hammer com recurso a modelos digitais de terreno do tipo *Triangulated Irregular Network* (TIN) criados em *ArcGis*.

#### 3.11.1.9. Correção de isostasia

Como a campanha se desenvolveu numa área restrita não é necessário efetuar a correção de isostasia.

#### 3.11.2. Mapas das anomalias de Bouguer

O valor da anomalia de Bouguer pode ser decomposto em duas anomalias: a regional e a residual. Estas duas anomalias dão informação sobre as estruturas de carácter local e regional, como a designação delas sugere. Após correção e redução, os dados da anomalia de Bouguer foram sujeitos a interpolação pela aplicação informática *Surfer*, utilizando o método de *krigagem*. Este método tem em conta as medidas de continuidade lateral, como por exemplo, os variogramas, o que faz com que seja o método geoestatístico mais adequado à inferência de variáveis naturais (Landim, 2000). A superfície resultante foi posteriormente georreferenciada em *QGIS*, conforme consta na Figura 3.24.

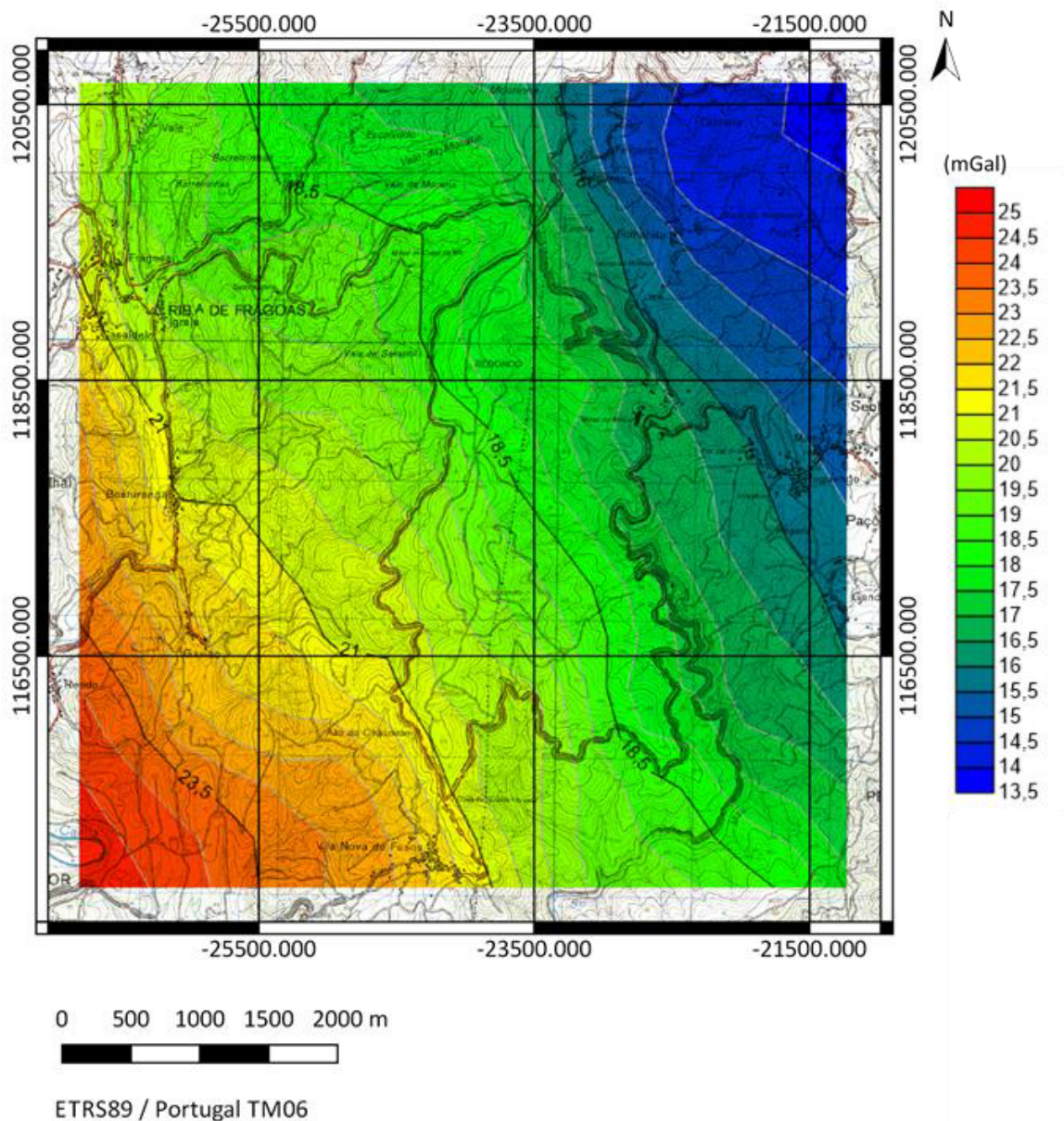


Figura 3.24 - Carta da anomalia de Bouguer, para a densidade de 2,58 g/cm<sup>3</sup>.

Os valores representados no mapa da anomalia de Bouguer foram obtidos através da equação 3.20. e variam entre 13,5 e 25,0 mGal, estando os valores mais elevados localizados a Sudoeste e os valores mais baixos a Nordeste da região estudada. Verifica-se neste mapa que os valores já não seguem a topografia do terreno e, calculando o coeficiente de correlação total entre altitude dos pontos e g para esta densidade verifica-se isso mesmo (deu 0,00013 (0,1 %) o que é considerado um valor de não existir correlação).

Executaram-se os mapas da anomalia de Bouguer, também, para as densidades de 2,30 g/cm<sup>3</sup> (método de Nettleton), de 2,48 g/cm<sup>3</sup> (balança de Jolly) e para a densidade média da crosta

terrestre  $2,67 \text{ g/cm}^3$ . Através da análise do mapa da Figura 3.25 é possível verificar que a densidade é muito baixa, pois a anomalia segue a topografia da região.

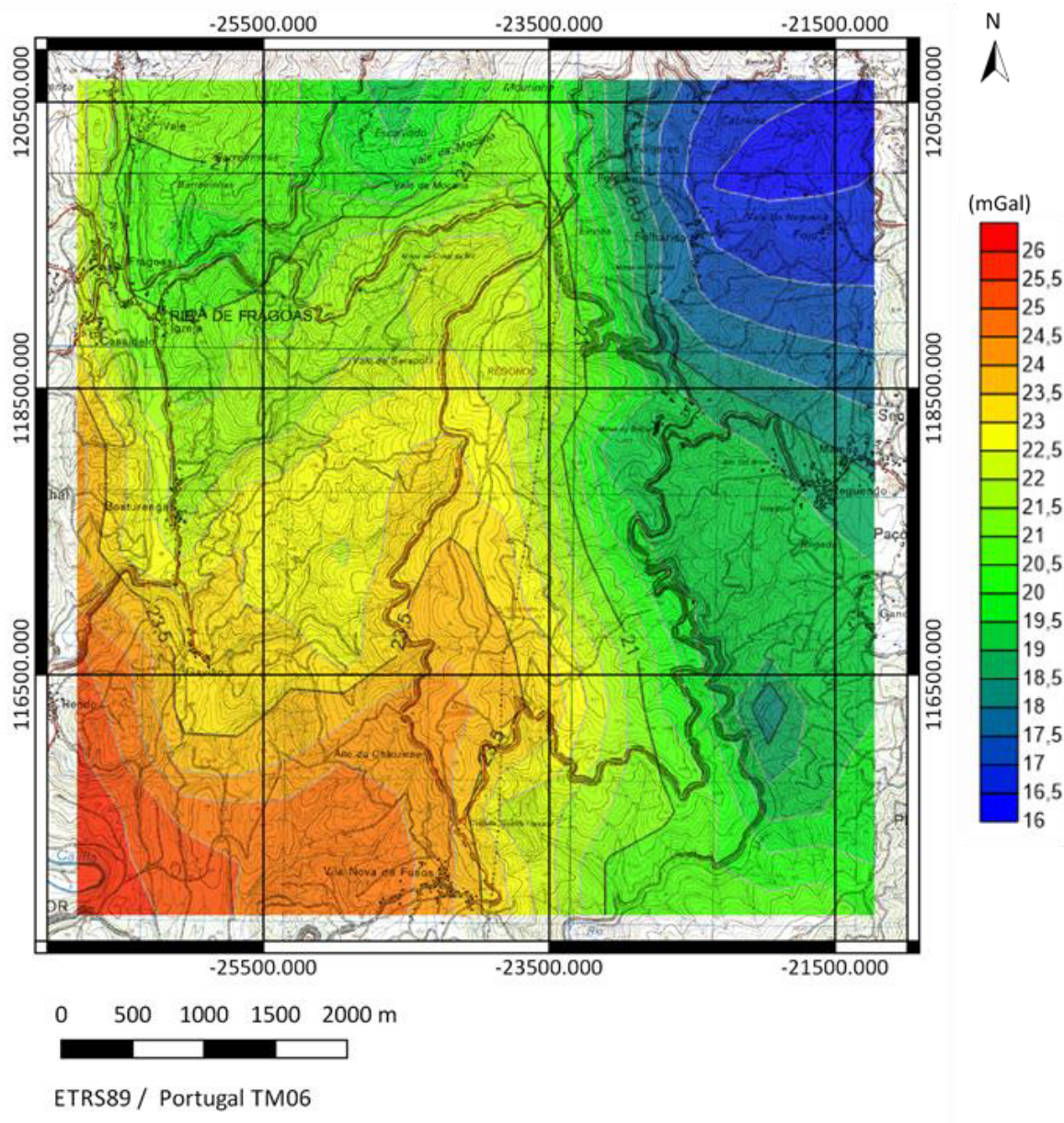


Figura 3.25 - Carta da anomalia de Bouguer para a densidade de  $2,30 \text{ g/cm}^3$ .

Neste mapa da Figura 3.26 observa-se ainda que a densidade é baixa, devido ao facto de seguir ainda a topografia do terreno.

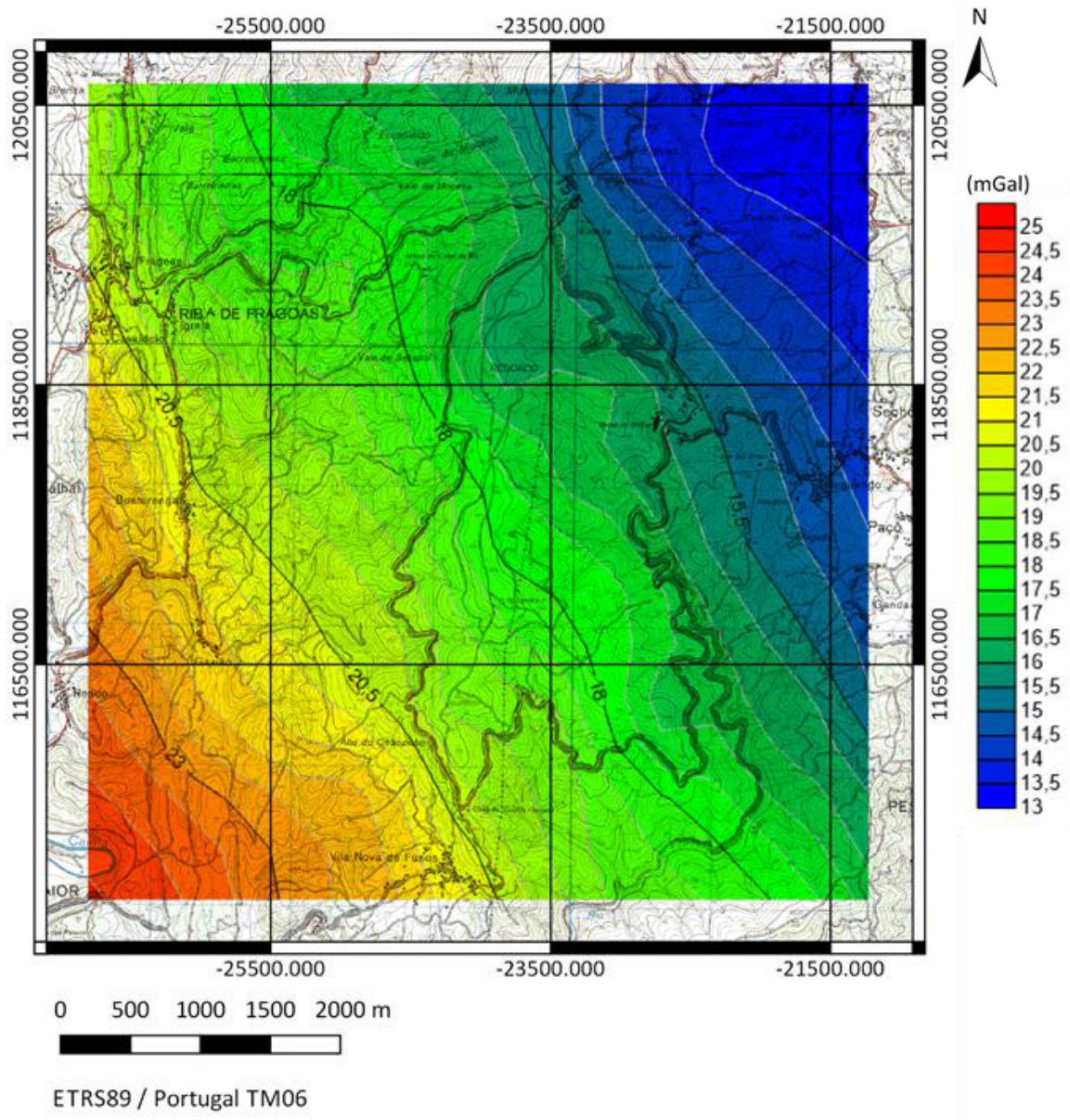


Figura 3.26 - Carta da anomalia de Bouguer, para a densidade de 2,48 g/cm<sup>3</sup>.

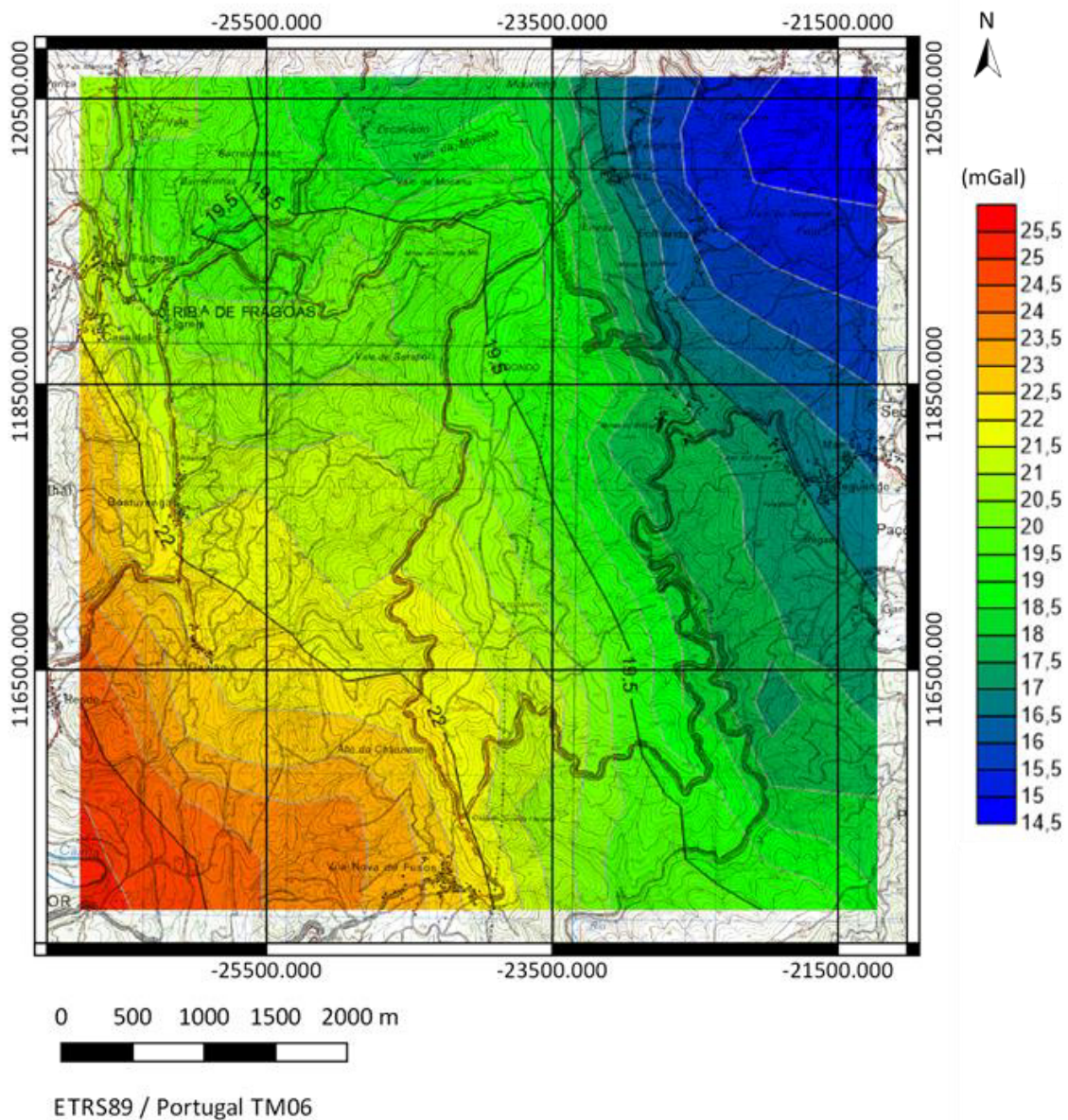


Figura 3.27 - Carta da anomalia de Bouguer, para a densidade média da crosta terrestre, 2,67 g/cm<sup>3</sup>.

### 3.11.3. Mapa da anomalia de Bouguer regional

A carta da anomalia de Bouguer regional (Figura 3.28) foi obtida a partir dos mesmos dados, sujeitando-os a uma interpolação do tipo regressão polinomial de grau dois.

Este método revelou-se aquele que produziu melhores resultados, tendo em conta que a carta de anomalia de Bouguer regional se deve caracterizar pela presença de variações suaves e anomalias de grande comprimento de onda.

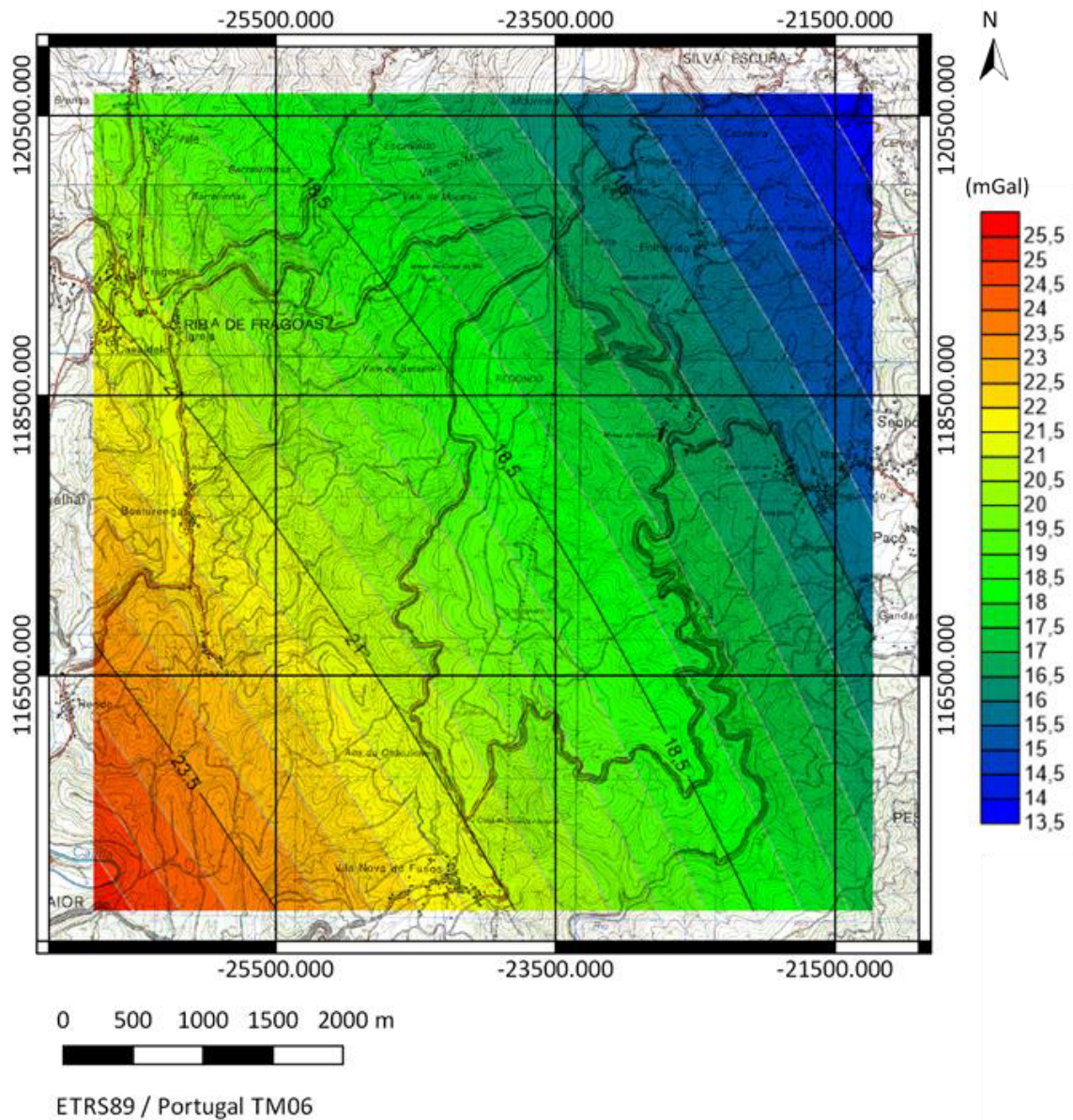


Figura 3.28 - Carta da anomalia de Bouguer regional, para a densidade de 2,58 g/cm<sup>3</sup>.

A anomalia regional é uma superfície com direção aproximada NE – SW, com valor máximo a Sul e mínimo a Norte. Comparando com o mapa da anomalia de Bouguer de Portugal, verifica-se que existe um reflexo do comportamento da anomalia regional de Portugal neste mapa (Figura 3.29).

Esta carta mostra, à semelhança da carta da anomalia de Bouguer, os valores mais baixos no canto superior direito, ou seja, a Nordeste, aumentando progressivamente para o canto inferior esquerdo, Sudoeste.

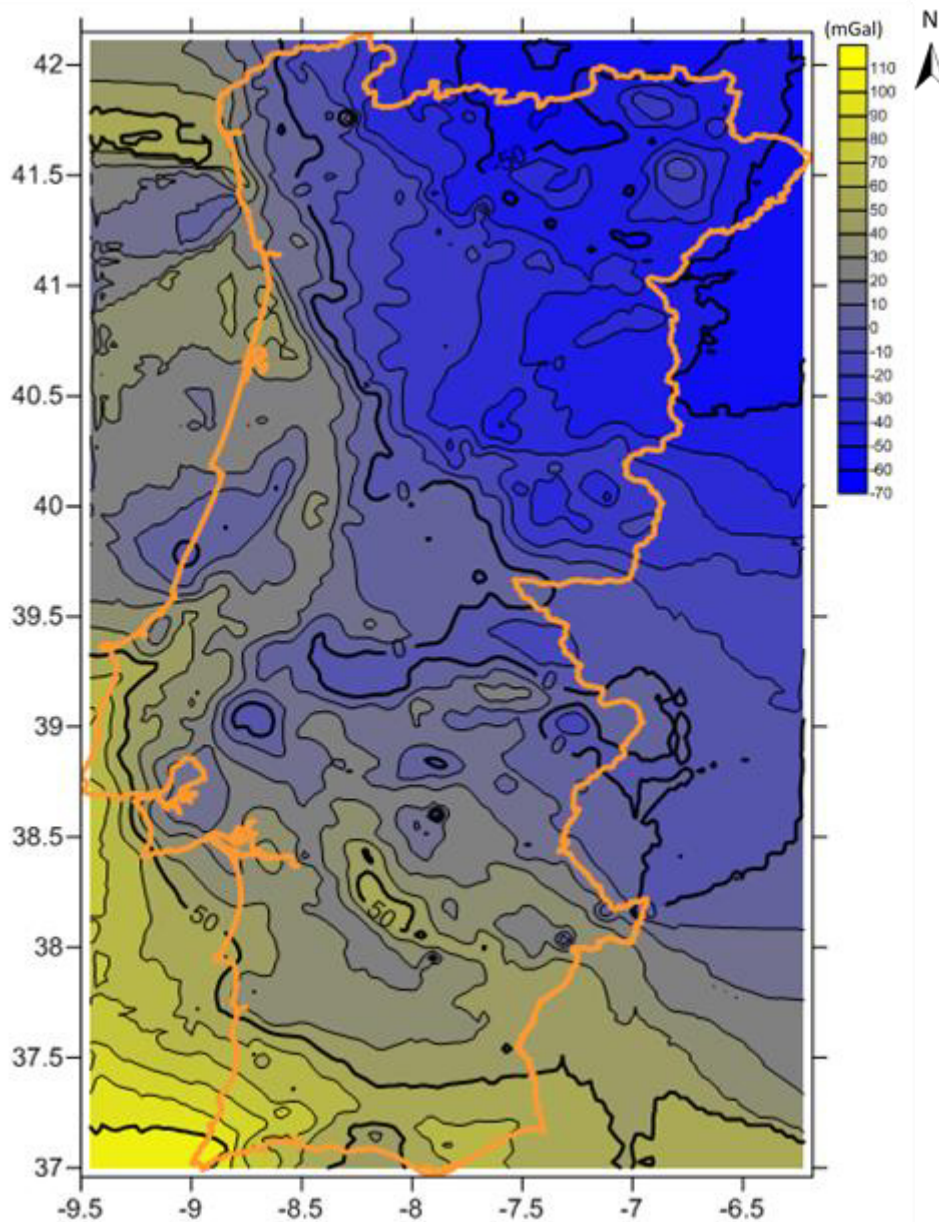


Figura 3.29 - Mapa da anomalia de Bouguer de Portugal Continental.

#### 3.11.4. Mapa da anomalia de Bouguer residual

Removendo a tendência regional à carta da anomalia de Bouguer obtém-se a carta da anomalia de Bouguer residual (Figura 3.30), que representa as anomalias devidas às estruturas locais. Esta remoção foi realizada por subtração de matrizes (*Grid Math*), a nível da aplicação informática *Surfer*.



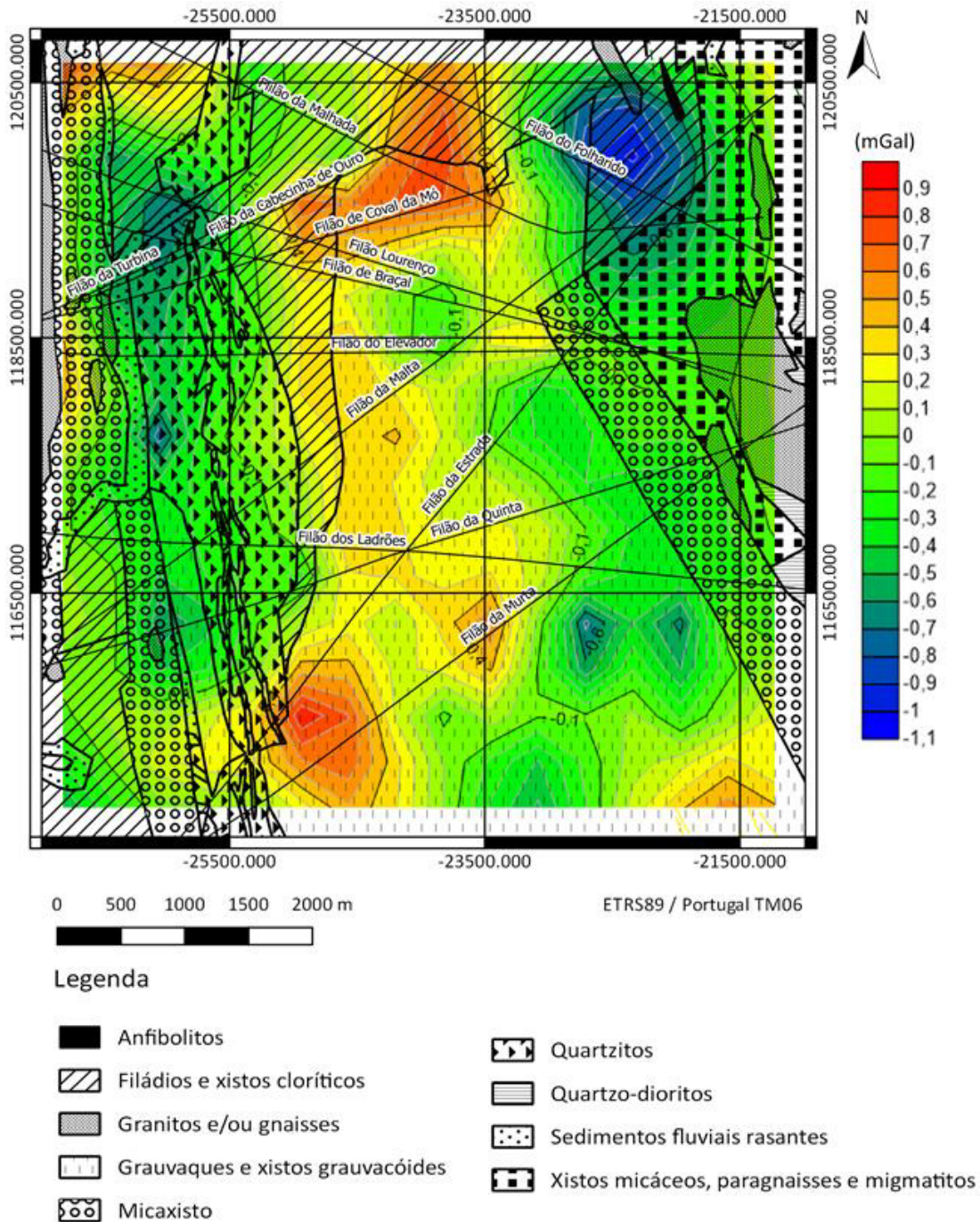


Figura 3.30 - Carta da anomalia de Bouguer residual, para a densidade de 2,58 g/cm<sup>3</sup>.

Da análise deste mapa verifica-se que as zonas anómalas aparecem mais evidentes, sendo a interpretação visual mais simplificada. Os valores deste mapa variam entre +0,9 e -1,1 mGal.

Através da observação do mapa da anomalia residual de Bouguer verifica-se que existem duas anomalias de valor negativo, uma em cada lado do mapa (uma a Oeste e outra a Este) e, uma anomalia positiva no centro da área de estudo.

A anomalia negativa presente no lado Oeste do mapa poderá estar relacionada com a tectónica do local, mais concretamente com a presença da Faixa de Cisalhamento de Porto-Tomar. A do lado Este está, provavelmente, associada à existência de granitos e gnaisses nos arredores do local. A anomalia positiva no centro do mapa está, possivelmente, associada à presença de filões mineralizados na região, mais a Norte tem-se o filão de Coval da Mó e a Sul o filão da Murta.

Na Figura 3.31 apresenta-se a representação gráfica em 3 dimensões da anomalia de Bouguer residual.

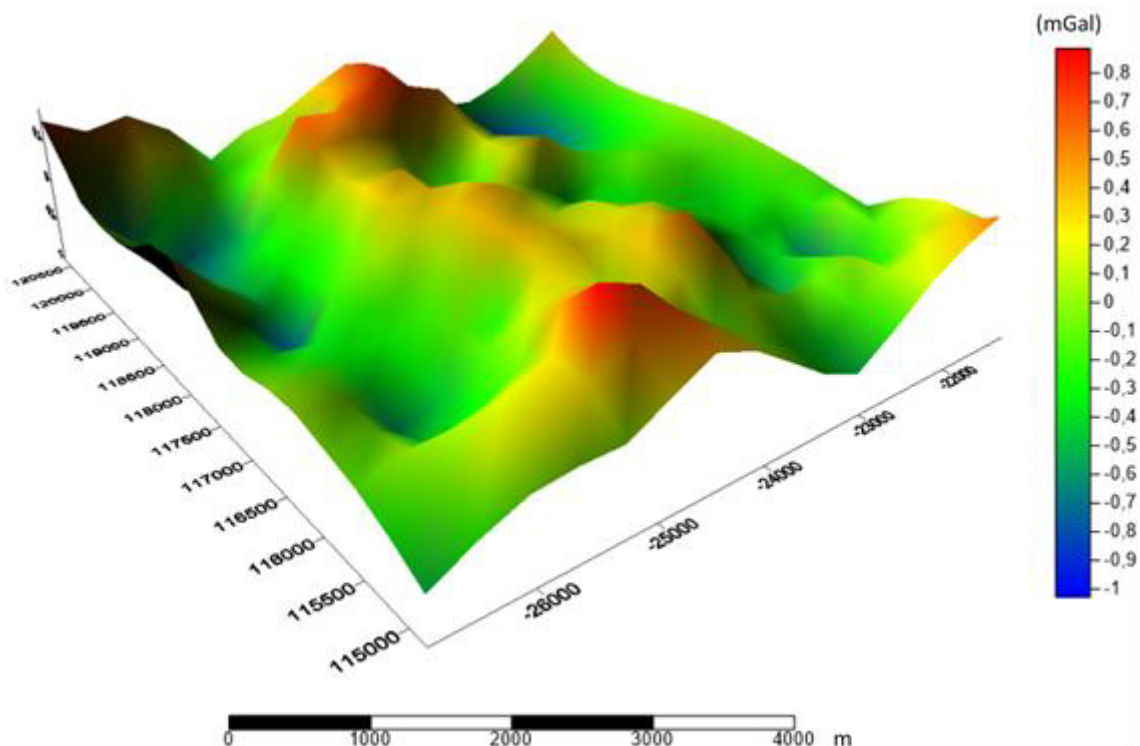


Figura 3.31 - Representação gráfica em 3 dimensões da anomalia de Bouguer residual, para a densidade de  $2,58 \text{ g/cm}^3$ .

### 3.11.5. Gradientes

Um dos problemas inerente à interpretação dos mapas da anomalia de Bouguer é a dificuldade em distinguir entre os efeitos devidos a estruturas subsuperficiais e os efeitos devidos a estruturas profundas. Esta separação pode ser feita através do método das segundas derivadas. A primeira derivada permite caraterizar as anomalias devidas a estruturas mais profundas, por oposição às anomalias de pequena dimensão, geradas por estruturas menores, localizadas mais superficialmente, caraterizadas pela segunda derivada.

Os mapas dos gradientes foram realizados no programa *Geosoft Oasis Montaj*, versão 6.4.2®.

### 3.11.5.1. Gradiente horizontal E-W

No mapa da primeira derivada horizontal E-W (Figura 3.32) é possível observar as estruturas mais profundas. Nesta figura estão bem evidenciados os quartzitos.

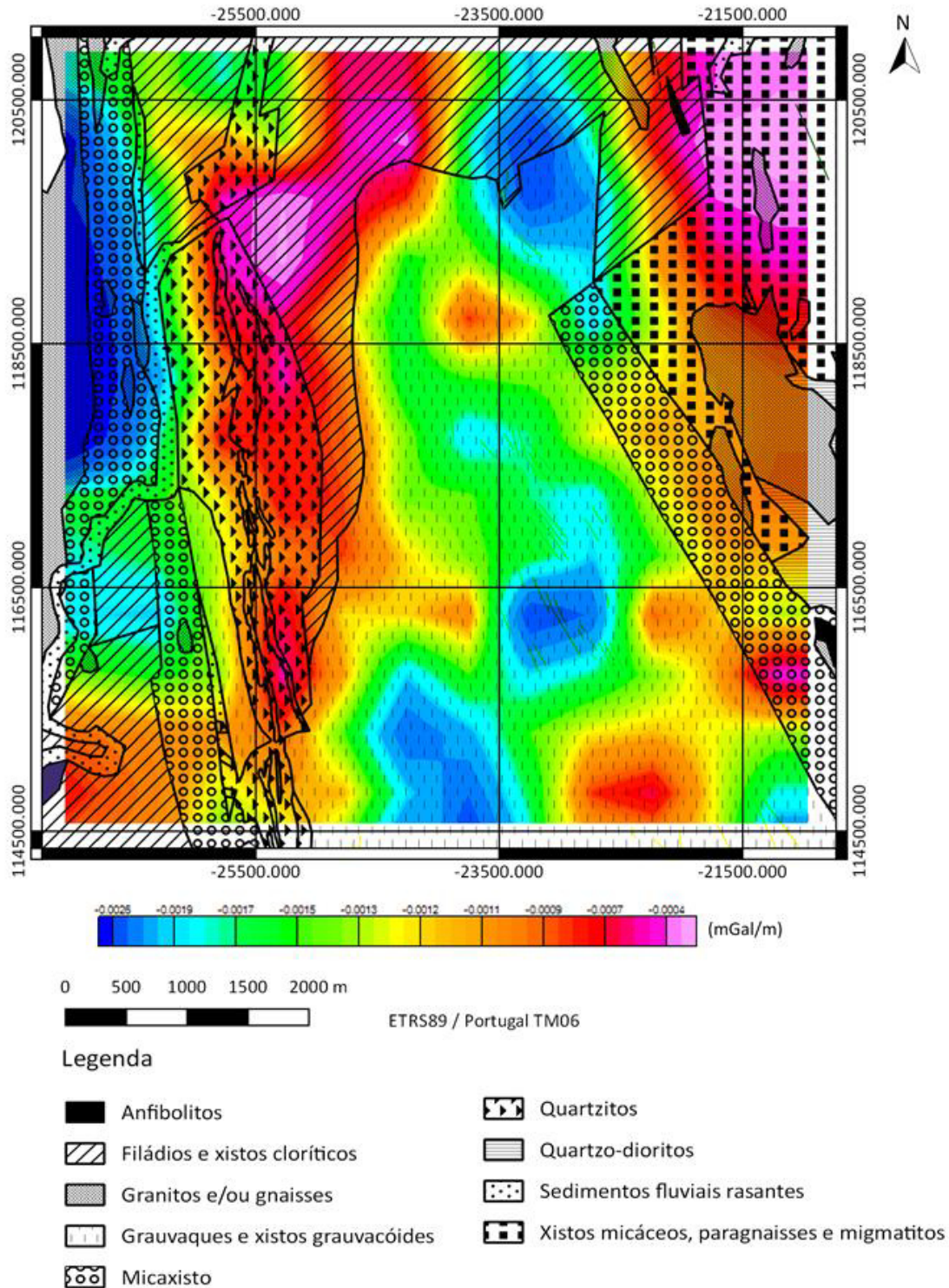


Figura 3.32 - Carta da anomalia de Bouguer na componente horizontal E-W.

### 3.11.5.2. Gradiente horizontal N-S

No mapa da primeira derivada horizontal E-W são visíveis as estruturas mais profundas, da componente horizontal (Figura 3.33). Nesta figura estão realçadas algumas das anomalias, representadas por um retângulo branco.

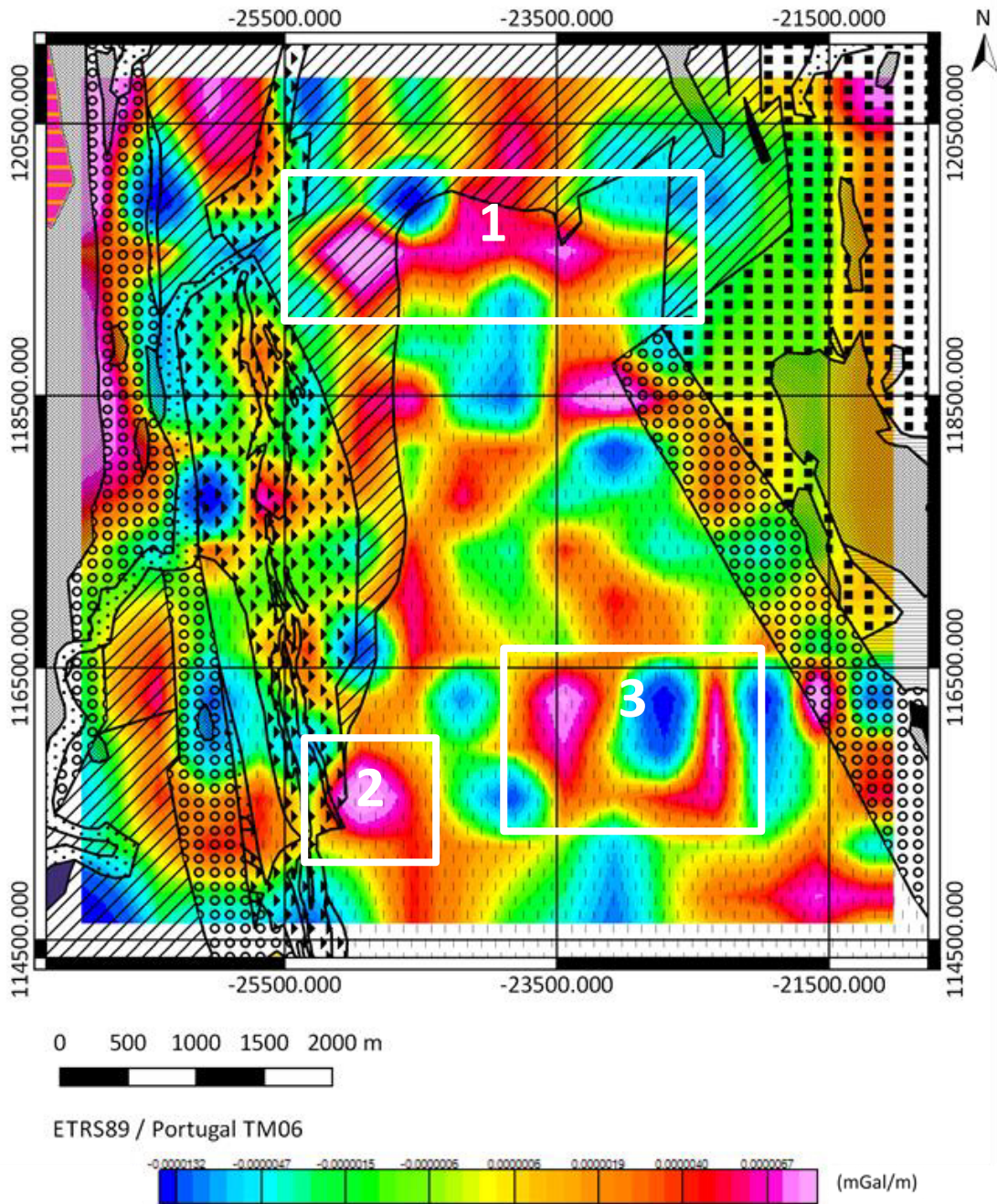


Figura 3.33 - Carta da anomalia de Bouguer na componente vertical.

### 3.11.5.3. Segunda derivada vertical

A segunda derivada é a mais utilizada visto que vai salientar as anomalias de estruturas de pequena dimensão localizadas próximo da superfície em detrimento das massas mais profundas. Esta ajuda-nos a perceber melhor os contactos entre as diferentes litologias (Figura 3.34 – linha do zero).

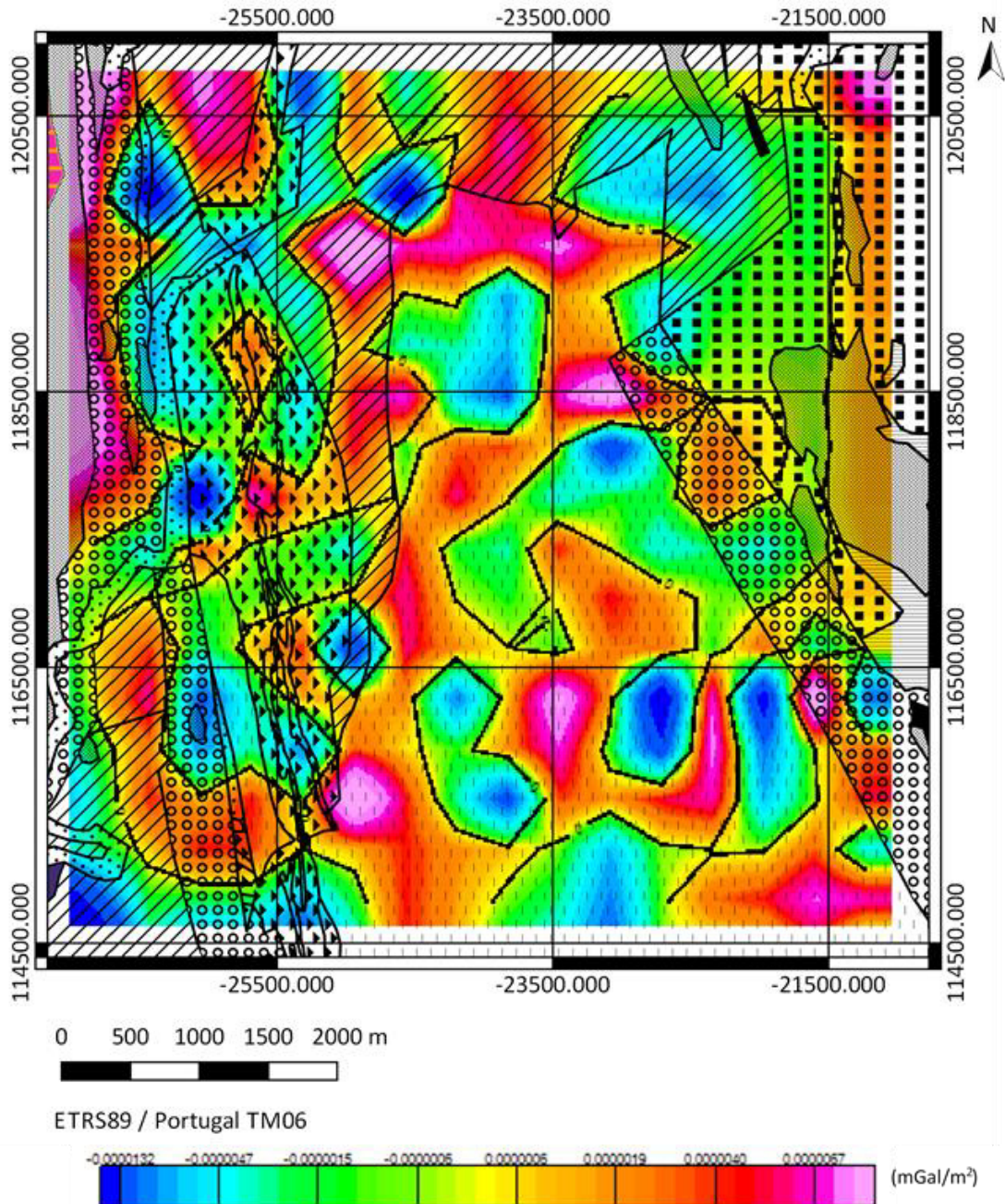


Figura 3.34 - Carta da segunda derivada vertical da anomalia de Bouguer.

### 3.11.6. Desconvoluções

O método de desconvolução de Euler permite obter uma estimativa das profundidades das anomalias. Calculou-se este a partir do programa *Geosoft Oasis Montaj*.

Para o índice estrutural zero, que corresponde a um dique ou soleira (como fonte anómala), obteve-se o mapa apresentado na Figura 3.35. É possível observar que existem algumas, mas poucas, estruturas anómalas no lado Este do mapa, com profundidades entre 272,5260 e 520,9200 metros.

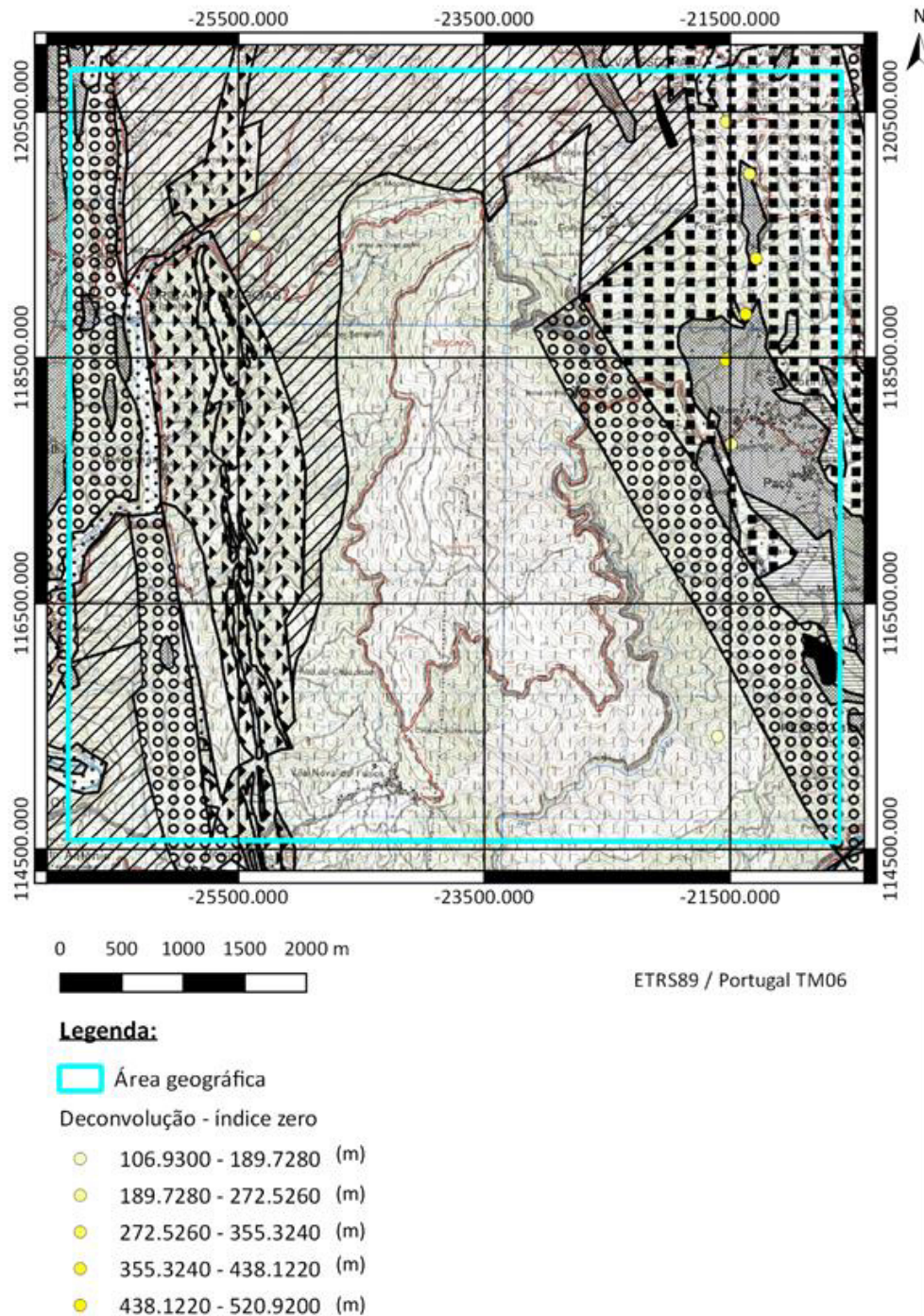


Figura 3.35 - Carta da desconvolução de Euler para o índice zero.

Para o índice estrutural um, que está associado a fontes anómalas cilíndricas, obteve-se o mapa apresentado na Figura 3.36. Verifica-se que existem mais fontes do que no caso anterior e com maior profundidade, as profundidades vão desde 246 metros até, cerca de, 1010 metros.

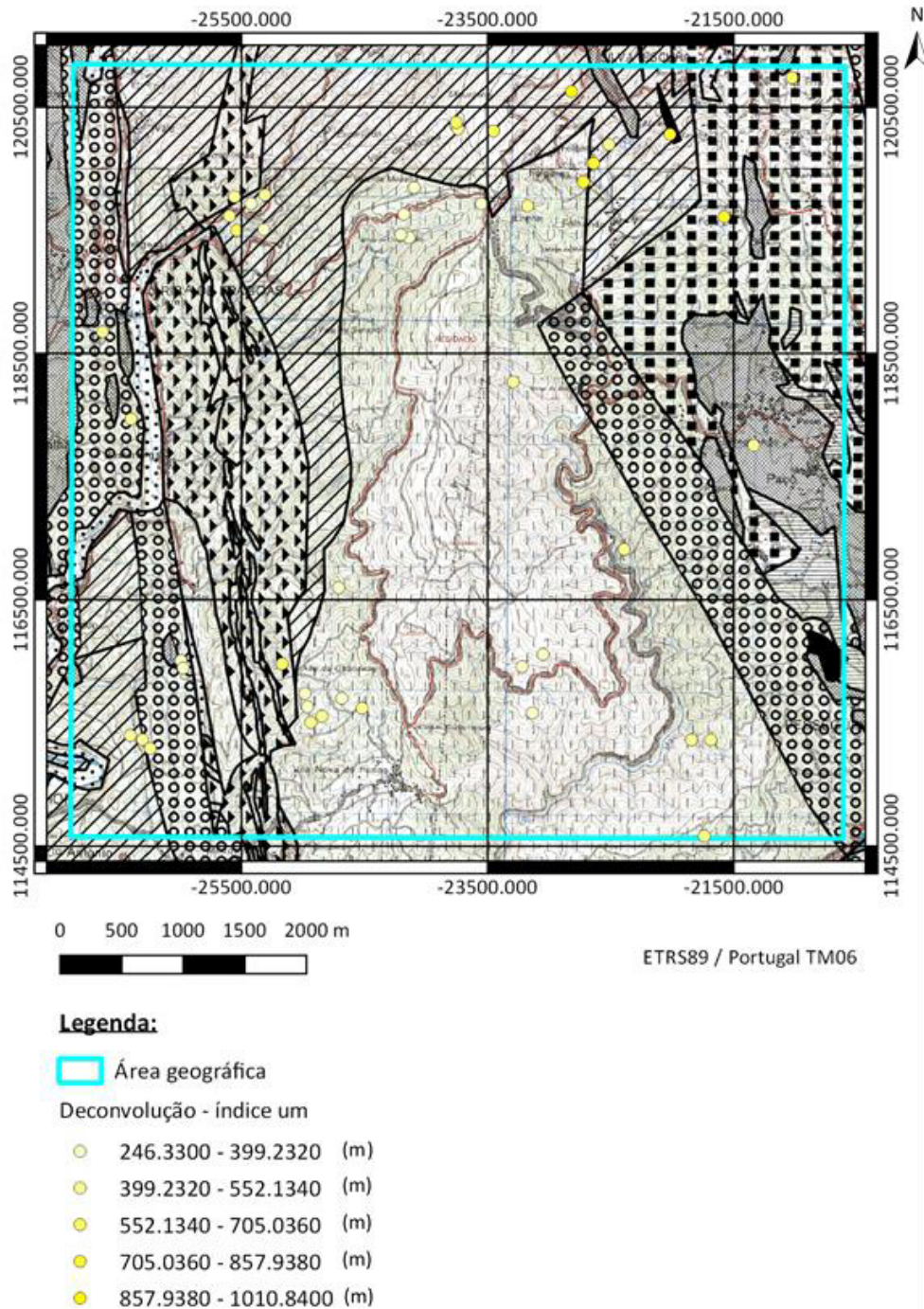


Figura 3.36 - Carta da desconvolução de Euler para o índice um.

O mapa correspondente ao índice estrutural dois (relacionado com a forma esférica das fontes anómalas) é apresentado na Figura 3.37. Nesta figura estão presentes ainda mais fontes anómalas do que nos casos anteriores e, ainda com maior profundidade. As profundidades vão desde os 425 metros até, aproximadamente, 1553 metros.



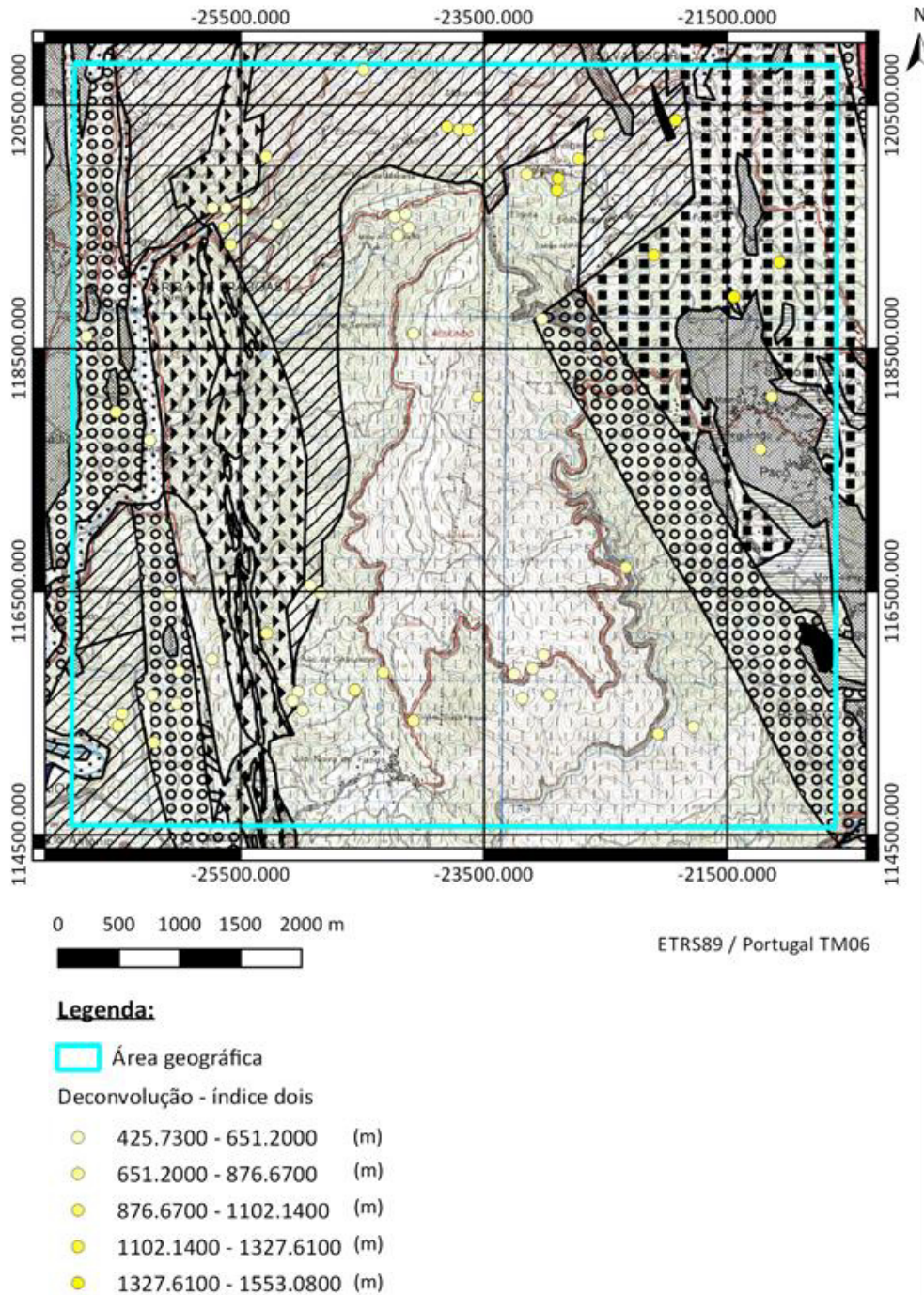


Figura 3.37 - Carta da desconvolução de Euler para o índice dois.

É possível concluir através da análise dos três mapas das desconvoluções de Euler que a tendência é, de facto, para existirem corpos tridimensionais (associados a esferas) e não bidimensionais (associados a cilindros), que estão relacionados a zonas filonianas e a mineralização.



## CAPÍTULO 4 - GEOQUÍMICA

Com o intuito de estudar e compreender o comportamento geoquímico de um conjunto de elementos nesta região mineira, optou-se por analisar os solos. Neste capítulo, descrevem-se os procedimentos de amostragem e analíticos usados durante a execução do presente estudo.

### 4.1. AMOSTRAGEM E DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS

A área de amostragem ocupa parte da zona Sul da Carta Militar 164 – Oliveira de Azeméis e da zona Norte da Carta Militar 175 – Albergaria-a-Velha (Figura 4.1). Os pontos a azul representam as amostras recolhidas, que foram colhidas nas linhas de água presentes na região de estudo. Tem-se no total 101 pontos de amostragem. Não foi possível recolher mais amostras devido ao tempo escasso que houve para ir ao campo e aos acessos.

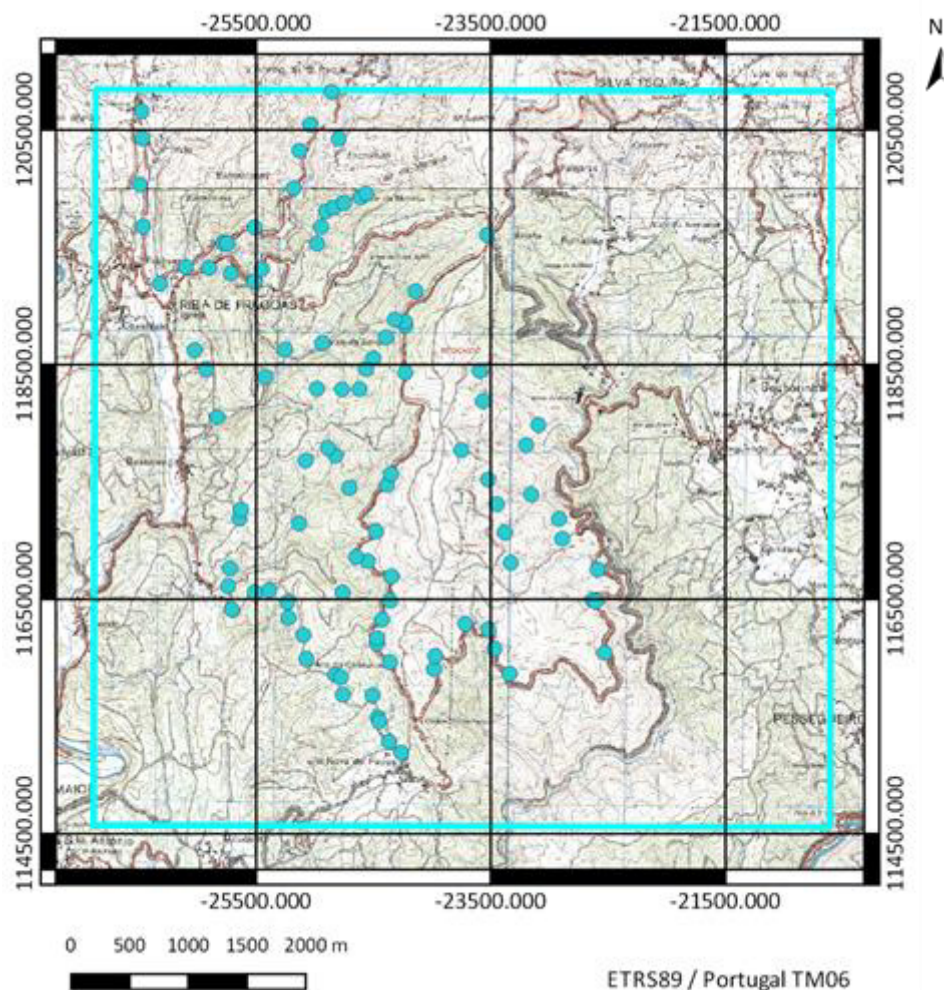


Figura 4.1 - Área de estudo (os pontos a azul representam os locais de amostragem de sedimentos de corrente).

## 4.2. TRATAMENTO LABORATORIAL DAS AMOSTRAS

As amostras de sedimentos de corrente foram tratadas no Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.

### 4.2.1. Preparação física das amostras

O procedimento para o tratamento das amostras encontra-se definido no fluxograma da Figura 4.2.

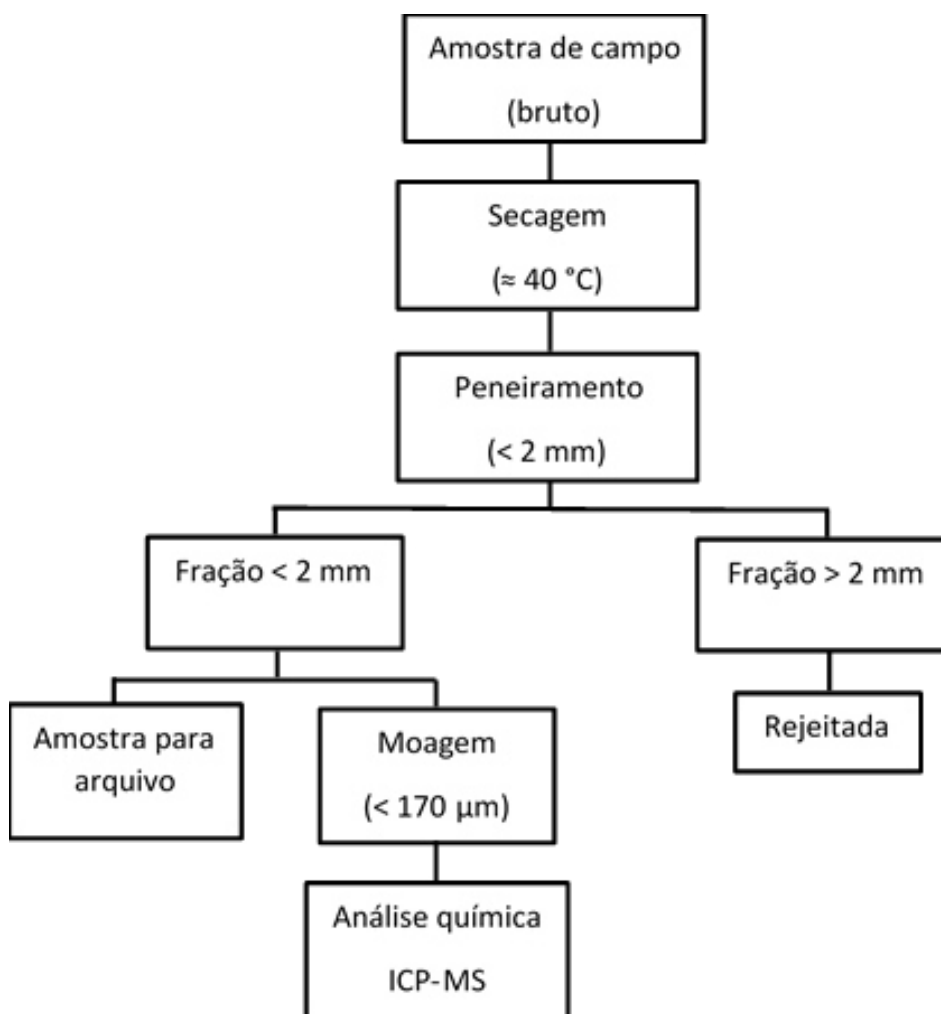


Figura 4.2 - Fluxograma que ilustra as diferentes fases do trabalho de preparação das amostras.

A primeira fase do tratamento laboratorial consistiu em colocar as amostras em tabuleiros de plástico, previamente lavados, secos e devidamente identificados com a referência das amostras. Estes foram colocados numa estufa a uma temperatura aproximada de 40 °C, durante 2 a 3 dias. A utilização desta temperatura é aconselhada para manter a estrutura dos minerais de argila e conservar a maior parte dos componentes voláteis.

Após a secagem das amostras, estas foram peneiradas utilizando um peneiro com malha de 2 mm, de modo a obter-se cerca de 3 gramas para um pequeno saco de plástico, devidamente identificado. A restante amostra foi colocada num saco de plástico devidamente referenciado e selado (amostra de arquivo). Entre cada peneiramento, o peneiro foi passado por ar comprimido, de modo a retirar as poeiras e partículas existentes da amostra anteriormente e passado por álcool, de modo a evitar possíveis contaminações.

De seguida, as amostras foram moídas num moinho de ágata (de 170 µm) e colocaram-se as amostras dentro de sacos de plástico pequenos, devidamente identificados e levaram-se para o laboratório de análise química.

#### 4.2.2. Preparação química das amostras e análise química por ICP-MS

O método de decomposição química consistiu na utilização de 0,25-0,3 gramas de amostra, que foi decomposta com HCl-HNO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O, seguida de diluição com água-régia. As soluções foram analisadas por ICP-MS, segundo o protocolo EPA 3050b.

A espectrometria de massa por ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy*) é uma técnica que utiliza frequências na determinação de elementos presentes em baixas concentrações, em virtude da alta sensibilidade e adequada exatidão e precisão dos resultados. É necessário um adequado pré-tratamento das amostras com a decomposição de compostos orgânicos e a solubilização dos elementos inorgânicos (Edivan Carvalho Vieira *et al.*, 2005). Os limites de deteção para os diversos elementos químicos, estão representados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Limites de deteção para os diversos elementos químicos analisados.

| Elemento | Limite de | Unidade | Elemento | Limite de | Unidade | Elemento | Limite de | Unidade |
|----------|-----------|---------|----------|-----------|---------|----------|-----------|---------|
| Ag       | 0,007     | mg/kg   | Cu       | 0,6       | mg/kg   | Pb       | 0,5       | mg/kg   |
| Al       | 10,8      | mg/kg   | Fe       | 2,3       | mg/kg   | Sb       | 0,01      | mg/kg   |
| As       | 0,6       | mg/kg   | K        | 178       | mg/kg   | Sn       | 0,06      | mg/kg   |
| Ba       | 0,2       | mg/kg   | Li       | 0,1       | mg/kg   | Th       | 0,3       | mg/kg   |
| Be       | 0,1       | mg/kg   | Mg       | 52,8      | mg/kg   | Tl       | 0,187     | mg/kg   |
| Bi       | 0,582     | mg/kg   | Mn       | 0,3       | mg/kg   | V        | 0,02      | mg/kg   |
| Ca       | 142       | mg/kg   | Mo       | 0,03      | mg/kg   | W        | 0,05      | mg/kg   |
| Cd       | 0,04      | mg/kg   | Na       | 125       | mg/kg   | Zn       | 3,6       | mg/kg   |
| Co       | 0,02      | mg/kg   | Ni       | 0,3       | mg/kg   |          |           |         |
| Cr       | 0,13      | mg/kg   | P        | 52,7      | mg/kg   |          |           |         |

#### 4.3. TRATAMENTO DOS DADOS

Os dados resultantes da análise das amostras foram tratados utilizando um conjunto de métodos de estatística univariada, bivariada e multivariada. Neste subcapítulo descrevem-se os

métodos aplicados neste trabalho, tendo por base a utilização dos programas *Statistica 9.0*<sup>®</sup> e *Surfer 13.0*<sup>®</sup>.

#### 4.3.1. Métodos de análise univariada

A análise univariada consiste no estudo descritivo e em separado de cada variável através de histogramas simples ou cumulativos, tabelas de frequências, estatísticas de síntese da posição central, dispersão e assimetria (Isaaks & Srivastava, 1989).

A estatística univariada é um método simples e robusto que se apoia num conjunto de medidas de síntese e representações gráficas para resumir um conjunto de dados quantitativos. Esta informação pode ser representada por histogramas e diagramas de extremos e quartis (*box-plots*).

O histograma, em termos básicos, é uma representação gráfica da distribuição de frequência de um teor, ou seja, é constituído por vários retângulos adjacentes que representa a tabela de frequências. A construção de histogramas apresenta-se como um importante indicador da distribuição de dados uma vez que pode indicar se aproxima de uma função normal, ou se é uma mistura de populações apresentando uma função bimodal (Vieira, 2014).

Um diagrama de extremos e quartis baseia-se exclusivamente na estrutura inerente dos dados, não partindo de qualquer tipo de assunção que se possa fazer relativamente à normalidade da distribuição dos dados.

As medidas de síntese calculadas neste trabalho foram a média, mediana (que corresponde ao percentil 50 –  $P_{50}$ ), mínimo, máximo e os percentis 5 ( $P_5$ ), 10 ( $P_{10}$ ), 25 ( $P_{25}$ ), 75 ( $P_{75}$ ), 90 ( $P_{90}$ ), 95 ( $P_{95}$ ) e 99 ( $P_{99}$ ). A medida de dispersão apresentada é o desvio padrão. As medidas de assimetria que se apresentam e discutem são o coeficiente de assimetria e a curtose.

#### 4.3.2. Métodos de análise bivariada

A análise bivariada de dados pretende apurar a existência de correlação entre dois dos elementos (variáveis). A correlação entre duas ou mais variáveis pode variar entre -1.0 e +1.0, sendo estes valores o espelho de uma correlação perfeita, quer seja positiva ou negativa. Os valores de correlação acima de -0.5 e abaixo de +0.5 representam dados não correlacionados. (Davies, 1986).

Neste presente estudo recorreu-se ao cálculo do coeficiente de Pearson para discutir a correlação entre as diferentes variáveis. Este coeficiente determina o grau de proporcionalidade

entre os teores de duas variáveis, isto é, o coeficiente é calculado sobre os dados observados. (Ferreira, 2004).

#### 4.3.3. Métodos de análise multivariada

As técnicas de análise multivariada de dados sofreram um grande desenvolvimento nas últimas décadas, sobretudo devido ao grande desenvolvimento das ferramentas de análise e, conseqüentemente, obtenção de resultados com rapidez e segurança.

A aplicação destes métodos conduz a representações simplificadas de matrizes de dados de grandes dimensões, sendo por isso utensílios de síntese notáveis, sendo a interpretação dos dados muito mais fácil.

##### 4.3.3.1. Análise de classificação hierárquica (“*cluster analysis*”)

Os métodos de análise de *clusters* são métodos de estatística multivariada que tentam organizar um conjunto de variáveis, para as quais se conhece informação pormenorizada, em grupos relativamente homogêneos (“*clusters*”). A análise de *clusters* designa uma série de procedimentos estatísticos usados para classificar, neste caso variáveis, observando apenas as semelhanças ou dissemelhanças entre elas, sem definir previamente critérios de inclusão em qualquer grupo (Reis *et al.*, 2016). Uma das contribuições mais importantes para a aplicação destes métodos surge com Sokal & Sneath (1963). Desde então estes métodos têm sido aplicados a um leque muito diversificado de ciências, sendo a Classificação Hierárquica, o método mais utilizado nas Ciências da Terra (p. e., Davis, 1986; Batista, 1992; Swan & Sandilands, 1995) (Reis *et al.*, 2016).

A classificação hierárquica serve essencialmente para medir a hierarquia da “proximidade” entre objetos. A taxonomia usada quer na Geologia, para a classificação de rochas, quer noutras ciências, como por exemplo a Biologia, tem por base o mesmo princípio, uma vez que agrupa objetos com base no grau de “proximidade” ou “parentesco”, em diferentes níveis. Os métodos de classificação hierárquica dividem-se geralmente em três. Neste trabalho apenas foi usado um deles: a Árvore Hierárquica (“*Tree Clustering*”) (Ferreira, 2000).

A Árvore Hierárquica usa as dissimilaridades ou distâncias entre objetos aquando da formação dos agrupamentos (*clusters*). Estas distâncias podem basear-se em dimensões simples ou múltiplas. O programa *STATISTICA* permite optar por várias medidas da distância, entre as quais se encontra a “1-pearson *r*” (Ferreira, 2000).

Como regras de agrupamento o mesmo programa oferece várias hipóteses, entre as quais o método de Ward ("*Ward's method*"). Este método parte de uma análise de variância para avaliar as distâncias entre grupos (*clusters*). Este método tenta minimizar a soma dos quadrados de quaisquer dois hipotéticos grupos que se poderão formar em cada passo. Em geral, este método é visto como bastante eficiente, embora tenda a criar *clusters* de pequeno tamanho (Ferreira, 2000).

#### 4.4. DEFINIÇÃO DO VALOR DE FUNDO GEOQUÍMICO

O conceito de valor de fundo geoquímico, nível de base ou *background*, é definido como a variação natural da concentração de um dado elemento químico no ambiente superficial. Nos solos, os valores de concentração de base poderão variar, num mesmo local, devido a vários fatores, como a profundidade de colheita de solos, a fração escolhida para a análise, o método de dissolução da amostra (total ou parcial) e o método analítico escolhido (Ferreira, 2004).

O valor de fundo geoquímico deverá representar o nível natural de um dado elemento num determinado meio amostral sem qualquer tipo de influência antropogénica, o que na prática se revela bastante difícil de encontrar. Na ausência da interferência humana (prática agrícola, atividade industrial ou mineira, etc.) as concentrações dos elementos químicos no solo estão dependentes da composição mineralógica do material originário e da variedade de processos pedogenéticos, ou seja, depende apenas de um conjunto de causas naturais (Ferreira, 2004).

Normalmente, o valor de fundo geoquímico é expresso num intervalo de variação na concentração dos elementos. Para um dado elemento o valor mais elevado deste intervalo deverá representar o limite superior do intervalo de concentrações naturais (Ferreira, 2004).

O valor de fundo foi estimado com base no cálculo da mediana tendo em consideração o cálculo do intervalo não anómalo de acordo com o método proposto por Tukey (1977):

$$\text{Limite inferior de teores} < 1^{\circ} \text{ Quartil} - 1,5 \times (3^{\circ} \text{ Quartil} - 1^{\circ} \text{ Quartil})$$

$$\text{Limite superior de teores} > 3^{\circ} \text{ Quartil} + 1,5 \times (3^{\circ} \text{ Quartil} - 1^{\circ} \text{ Quartil})$$

#### 4.5. PROCESSAMENTO DOS DADOS E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS GEOQUÍMICOS

##### 4.5.1. Análise univariada

A matriz dos dados resultantes da campanha de colheita de solos é constituída por 101 amostras e 28 variáveis (concentrações em Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Sn, Th, Tl, V, W e Zn). Mas, pelo facto do elemento químico Sn ser



inferior ao limite de detecção, em cerca de 60 % das amostras, não se utilizou este, sendo então, que são usadas 27 variáveis no tratamento estatístico (concentrações em Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Th, Tl, V, W e Zn).

Na tabela 4.2 apresentam-se os parâmetros estatísticos calculados a partir dos teores totais das variáveis em análise. Os parâmetros estatísticos foram calculados utilizando o programa *STATISTICA*.

Tabela 4.2 - Análise univariada de cada elemento químico analisado.

|           | N   | Média   | Mínimo | Máximo   | P <sub>5</sub> | P <sub>10</sub> | P <sub>25</sub> | P <sub>50</sub> | P <sub>75</sub> | P <sub>90</sub> | P <sub>95</sub> | P <sub>99</sub> | Desvio padrão | Assimetria | Curtose |
|-----------|-----|---------|--------|----------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|------------|---------|
| <b>Ag</b> | 101 | 0,18    | 0,03   | 2,11     | 0,05           | 0,05            | 0,07            | 0,09            | 0,14            | 0,40            | 0,58            | 1,49            | 0,30          | 4,4        | 21,5    |
| <b>Al</b> | 101 | 23956,6 | 6389,2 | 48448,2  | 14689,3        | 15684,4         | 19354,0         | 24394,8         | 28293,2         | 32693,8         | 35068,3         | 39840,8         | 7011,27       | 0,3        | 1,0     |
| <b>As</b> | 101 | 23,1    | 2,8    | 107,4    | 4,4            | 6,3             | 10,2            | 18,6            | 29,5            | 42,9            | 54,0            | 83,0            | 17,55         | 2,0        | 5,7     |
| <b>Ba</b> | 101 | 75,7    | 17,9   | 162,8    | 35,3           | 42,9            | 60,2            | 74,5            | 88,6            | 110,1           | 124,9           | 137,4           | 26,64         | 0,5        | 0,6     |
| <b>Be</b> | 101 | 0,73    | 0,05   | 2,69     | 0,05           | 0,05            | 0,43            | 0,61            | 0,92            | 1,29            | 1,48            | 2,52            | 0,51          | 1,5        | 3,6     |
| <b>Bi</b> | 101 | 0,32    | 0,04   | 4,44     | 0,08           | 0,09            | 0,15            | 0,28            | 0,30            | 0,45            | 0,68            | 1,75            | 0,47          | 7,1        | 59,0    |
| <b>Ca</b> | 101 | 376,7   | 72,0   | 2539,8   | 72,0           | 72,0            | 72,0            | 204,7           | 445,9           | 964,4           | 1378,0          | 2180,0          | 460,91        | 2,4        | 6,5     |
| <b>Cd</b> | 101 | 0,28    | 0,02   | 4,00     | 0,02           | 0,04            | 0,08            | 0,14            | 0,29            | 0,50            | 0,80            | 2,11            | 0,50          | 5,1        | 32,1    |
| <b>Co</b> | 101 | 15,1    | 1,5    | 204,8    | 2,0            | 2,4             | 3,7             | 7,0             | 15,5            | 38,6            | 50,7            | 82,8            | 24,52         | 5,2        | 36,3    |
| <b>Cr</b> | 101 | 148,8   | 12,0   | 642,4    | 38,6           | 58,2            | 84,6            | 127,8           | 187,1           | 239,7           | 263,8           | 522,5           | 102,41        | 2,2        | 7,1     |
| <b>Cu</b> | 101 | 33,7    | 6,7    | 151,4    | 15,7           | 19,1            | 24,4            | 30,2            | 38,5            | 47,9            | 59,9            | 94,0            | 18,03         | 3,4        | 18,5    |
| <b>Fe</b> | 101 | 31999,1 | 8104,1 | 403064,5 | 13190,5        | 14485,9         | 23504,6         | 27207,7         | 32807,7         | 38108,7         | 43773,0         | 80369,3         | 38875,06      | 8,9        | 85,1    |
| <b>K</b>  | 101 | 3481,2  | 1007,1 | 6312,9   | 1532,3         | 1853,4          | 2509,0          | 3524,3          | 4386,4          | 5279,8          | 5605,8          | 6228,2          | 1278,41       | 0,2        | -0,6    |
| <b>Li</b> | 101 | 45,0    | 3,2    | 122,6    | 18,1           | 23,5            | 32,1            | 42,0            | 54,9            | 66,4            | 93,3            | 103,1           | 21,65         | 1,1        | 1,8     |
| <b>Mg</b> | 101 | 3218,9  | 150,2  | 11656,9  | 778,0          | 1168,7          | 1812,5          | 2764,5          | 4317,6          | 5360,4          | 6965,0          | 9210,4          | 2000,93       | 1,4        | 3,0     |
| <b>Mn</b> | 101 | 239,0   | 20,0   | 2109,0   | 38,2           | 53,8            | 65,6            | 106,2           | 218,7           | 560,7           | 742,4           | 1659,6          | 337,83        | 3,3        | 13,2    |
| <b>Mo</b> | 101 | 1,5     | 0,1    | 9,5      | 0,3            | 0,5             | 0,8             | 1,2             | 1,7             | 2,7             | 4,1             | 6,2             | 1,34          | 3,1        | 13,9    |
| <b>Na</b> | 101 | 241,1   | 63,0   | 1139,3   | 63,0           | 63,0            | 63,0            | 156,9           | 302,6           | 621,4           | 709,8           | 945,8           | 221,95        | 1,7        | 2,9     |
| <b>Ni</b> | 101 | 30,0    | 4,6    | 130,0    | 12,4           | 12,9            | 16,3            | 21,8            | 34,2            | 56,0            | 75,6            | 105,1           | 22,31         | 2,1        | 5,1     |
| <b>P</b>  | 101 | 365,1   | 77,7   | 9155,8   | 99,0           | 125,4           | 161,7           | 243,7           | 323,7           | 476,8           | 553,3           | 1625,8          | 903,60        | 9,4        | 92,1    |
| <b>Pb</b> | 101 | 267,3   | 12,7   | 5986,3   | 16,3           | 19,5            | 24,3            | 38,3            | 102,2           | 329,5           | 1215,9          | 4381,8          | 853,87        | 5,0        | 26,4    |
| <b>Sb</b> | 101 | 0,06    | 0,01   | 0,70     | 0,01           | 0,01            | 0,01            | 0,04            | 0,07            | 0,12            | 0,16            | 0,50            | 0,09          | 4,5        | 26,4    |
| <b>Th</b> | 101 | 4,6     | 0,9    | 11,3     | 1,6            | 1,9             | 3,0             | 4,4             | 5,6             | 7,3             | 8,2             | 10,8            | 2,11          | 0,8        | 0,7     |
| <b>Tl</b> | 101 | 0,15    | 0,06   | 0,53     | 0,08           | 0,09            | 0,09            | 0,12            | 0,18            | 0,24            | 0,38            | 0,46            | 0,09          | 2,1        | 5,0     |
| <b>V</b>  | 101 | 29,8    | 3,4    | 107,4    | 12,4           | 13,7            | 20,6            | 28,3            | 36,6            | 43,4            | 49,1            | 95,9            | 14,95         | 2,2        | 9,5     |
| <b>W</b>  | 101 | 0,24    | 0,03   | 3,39     | 0,03           | 0,03            | 0,07            | 0,16            | 0,27            | 0,50            | 0,65            | 1,23            | 0,37          | 6,3        | 50,7    |
| <b>Zn</b> | 101 | 76,7    | 9,3    | 479,1    | 18,5           | 24,8            | 35,2            | 51,4            | 93,0            | 143,8           | 190,0           | 349,5           | 73,62         | 2,9        | 10,9    |

Para uma melhor visualização e percepção mais simples das características dos dados, construíram-se histogramas e um diagrama de extremos e quartis (*box-plot*) das 27 variáveis em estudo (Figuras 4.3 a 4.6).

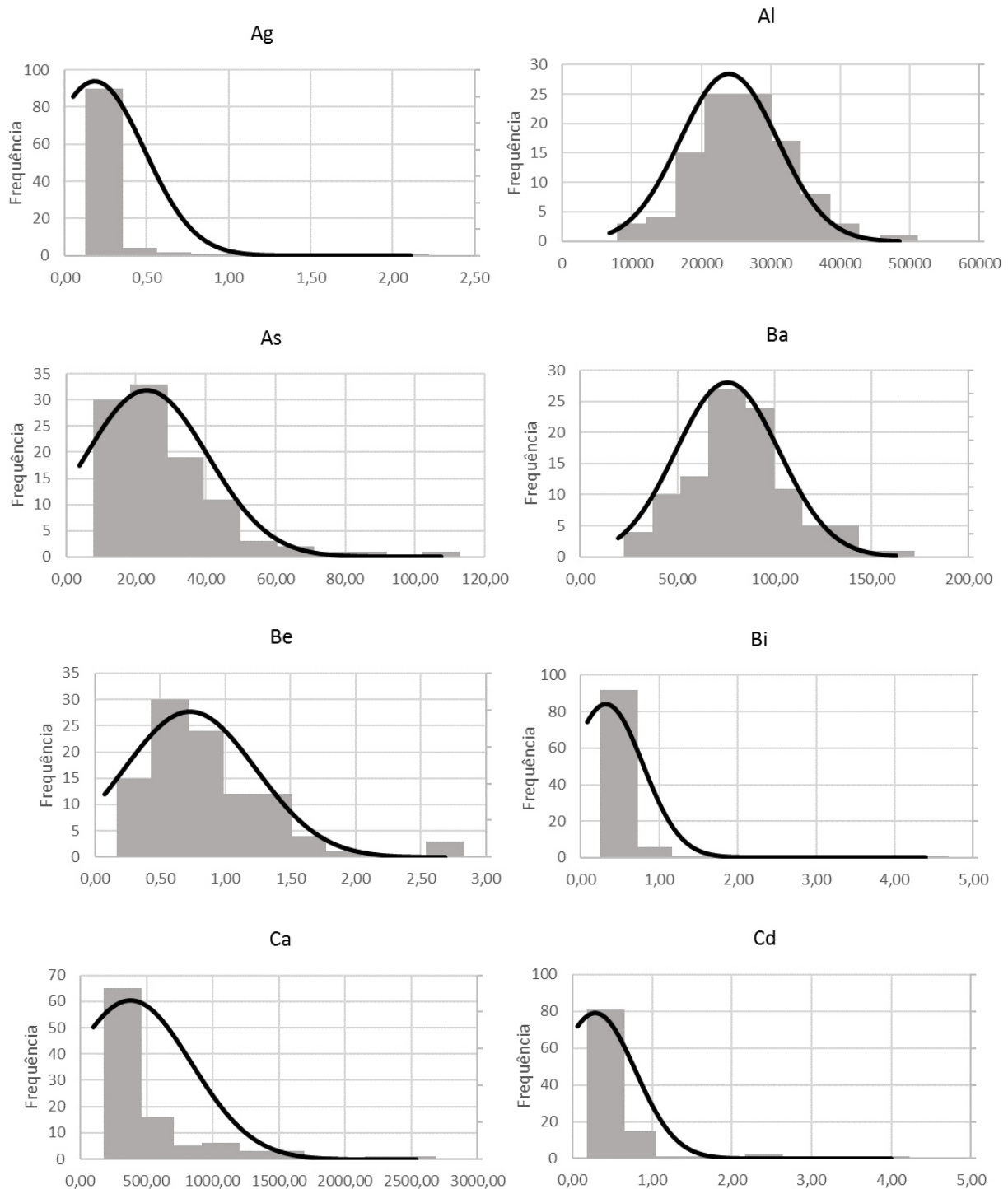


Figura 4.3 - Histograma do elemento químico: (a) Ag; (b)Al; (c) As; (d) Ba; (e) Be; (f) Bi; (g) Ca; (h) Cd.

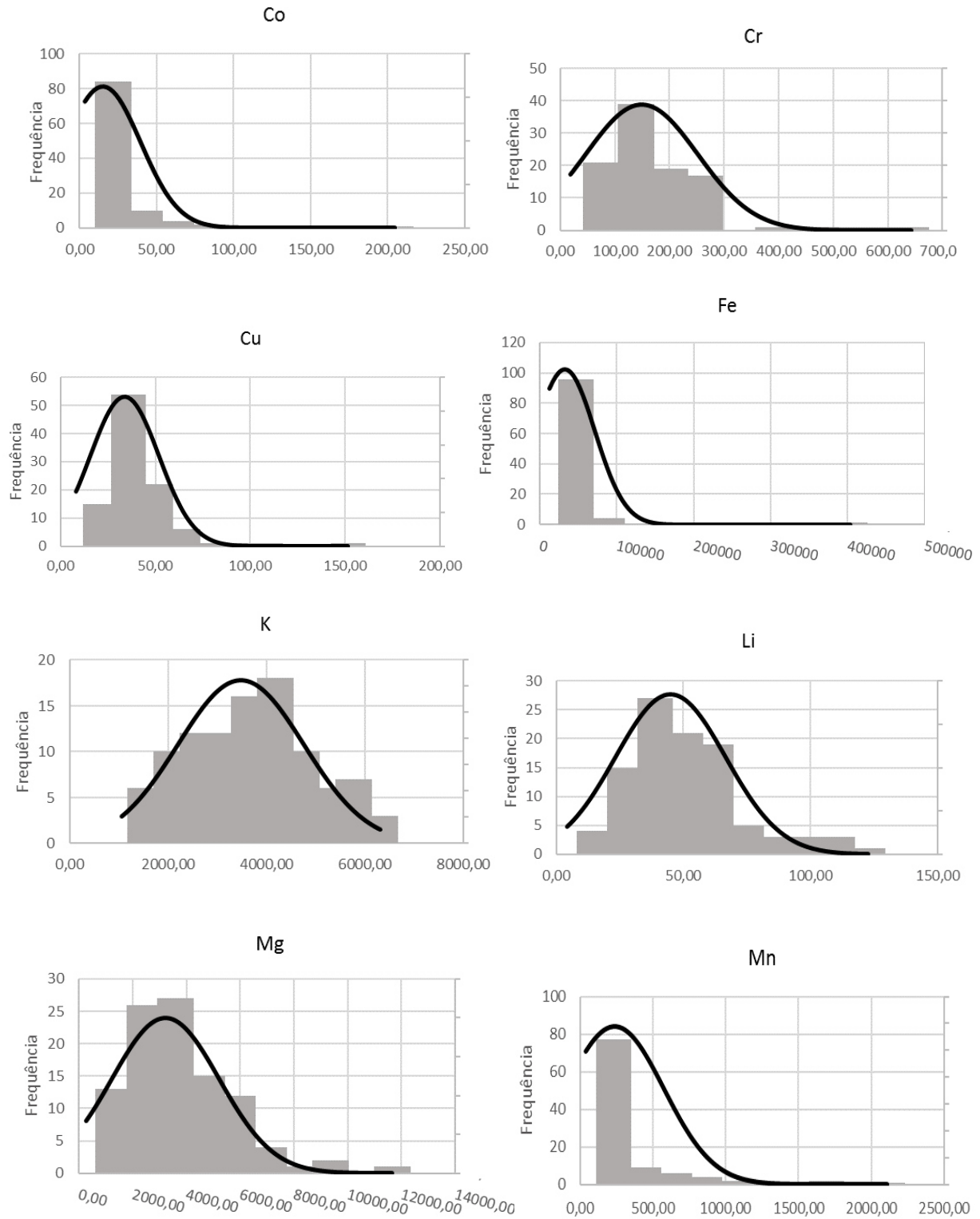


Figura 4.4 - Histograma do elemento químico: (a) Co; (b) Cr; (c) Cu; (d) Fe; (e) K; (f) Li; (g) Mg; (h) Mn.

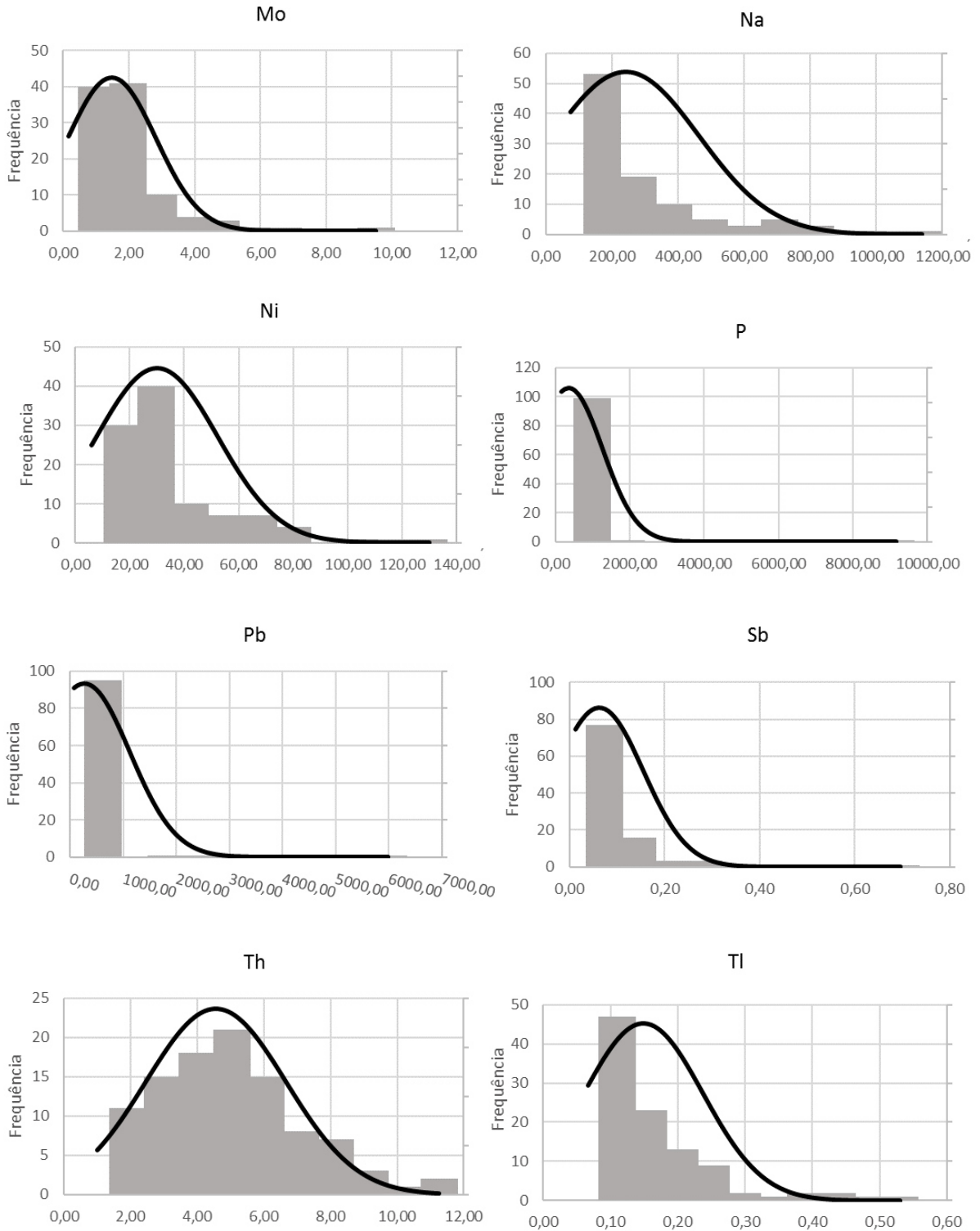


Figura 4.5 - Histograma do elemento químico: (a) Mo; (b) Na; (c) Ni; (d) P; (e) Pb; (f) Sb; (g) Th; (h) Tl.

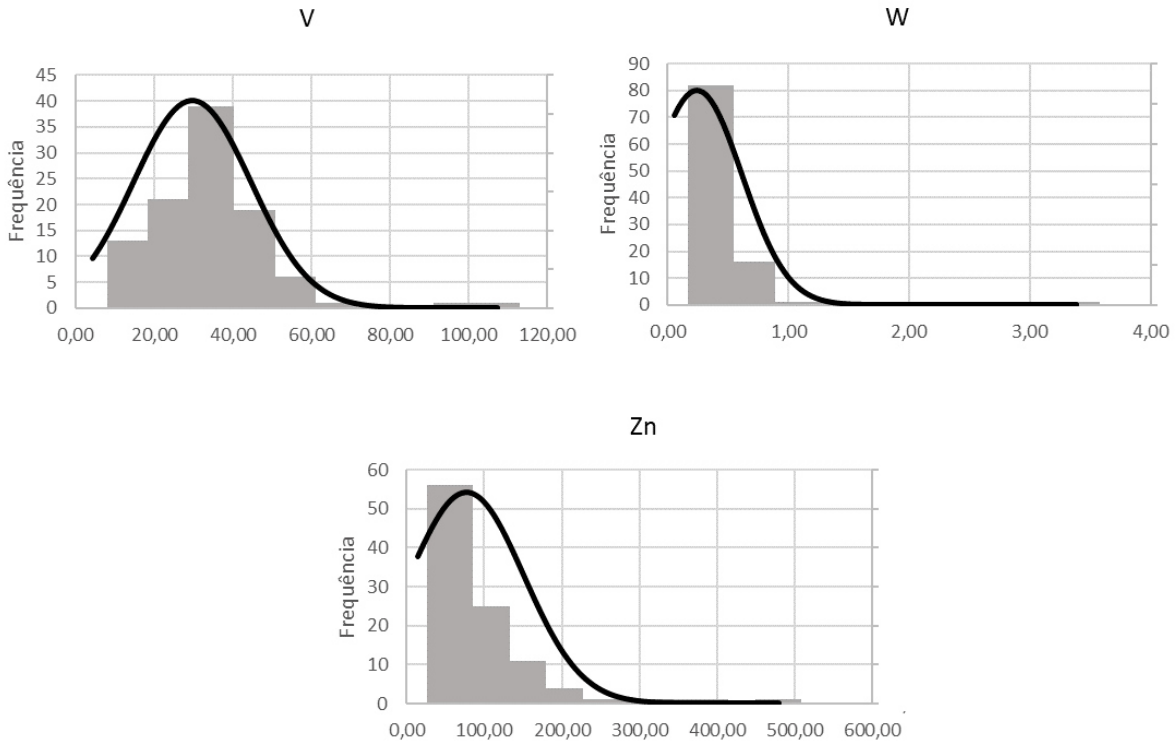


Figura 4.6 - Histograma do elemento químico: (a) V; (b) W; (c) Zn.

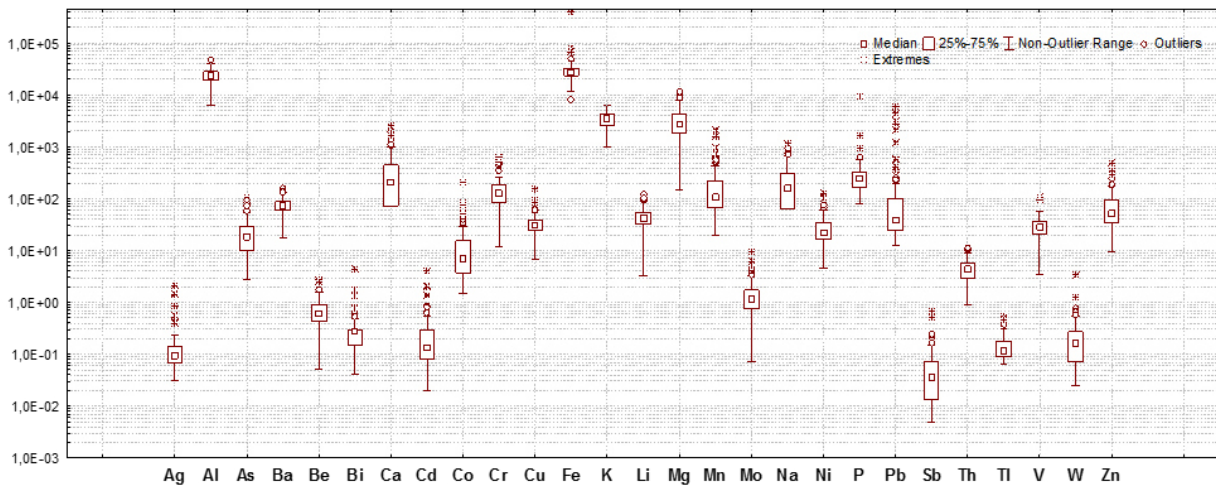


Figura 4.7 – Diagrama de extremos e quartis para as variáveis em estudo.

#### 4.5.2. Análise bivariada

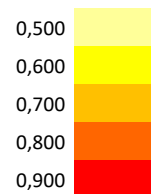
A estatística descritiva bivariada tem como objetivo descrever a variação conjunta de pares de variáveis, para isso procedeu-se ao cálculo da matriz de correlação.

Na Tabela 4.3 apresentam-se os coeficientes de correlação de Pearson. Através da análise desta pode-se verificar que existe uma forte associação (superior a 0,900) entre o fósforo e o ferro (P-Fe), o chumbo e a prata (Pb-Ag) e entre o tungsténio e o bismuto (W-Bi).

Tabela 4.3 - Análise bivariada para os elementos químicos analisados.

| Ag    | Al     | As    | Ba     | Be     | Bi    | Ca     | Cd     | Co     | Cr     | Cu    | Fe     | K      | Li     | Mg     | Mn     | Mo     | Na     | Ni     | P      | Pb     | Sb     | Th     | Tl     | V      | W      | Zn     |    |
|-------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|
| 1,000 | -0,087 | 0,037 | -0,052 | -0,022 | 0,211 | 0,118  | 0,247  | -0,048 | 0,114  | 0,176 | 0,044  | 0,046  | -0,062 | 0,202  | -0,033 | 0,153  | -0,115 | -0,027 | 0,003  | 0,952  | 0,646  | 0,088  | 0,011  | -0,058 | 0,168  | 0,400  | Ag |
|       | 1,000  | 0,104 | 0,604  | 0,348  | 0,182 | -0,058 | -0,017 | 0,072  | 0,215  | 0,230 | -0,109 | 0,358  | 0,325  | 0,371  | 0,101  | 0,200  | 0,079  | 0,186  | -0,184 | -0,155 | 0,049  | 0,297  | 0,363  | 0,660  | 0,207  | 0,016  | Al |
|       |        | 1,000 | 0,170  | 0,286  | 0,185 | -0,023 | -0,051 | -0,010 | -0,039 | 0,156 | 0,242  | 0,016  | 0,106  | -0,216 | 0,012  | 0,200  | -0,009 | -0,052 | 0,221  | -0,061 | 0,295  | 0,448  | 0,488  | 0,202  | 0,250  | 0,005  | As |
|       |        |       | 1,000  | 0,435  | 0,152 | 0,316  | 0,072  | 0,147  | 0,383  | 0,335 | -0,096 | 0,651  | 0,553  | 0,130  | 0,403  | 0,260  | 0,210  | 0,316  | -0,128 | -0,125 | 0,039  | 0,248  | 0,540  | 0,510  | 0,175  | 0,091  | Ba |
|       |        |       |        | 1,000  | 0,105 | 0,262  | 0,340  | 0,670  | 0,005  | 0,442 | 0,201  | 0,067  | 0,439  | 0,106  | 0,682  | 0,287  | -0,030 | 0,731  | 0,210  | -0,117 | 0,065  | 0,107  | 0,436  | 0,362  | 0,130  | 0,431  | Be |
|       |        |       |        |        | 1,000 | 0,134  | 0,009  | 0,030  | 0,074  | 0,039 | 0,021  | 0,126  | 0,096  | 0,072  | 0,028  | 0,360  | -0,008 | 0,062  | 0,014  | 0,035  | 0,603  | 0,375  | 0,377  | 0,105  | 0,927  | 0,108  | Bi |
|       |        |       |        |        |       | 1,000  | 0,165  | 0,206  | 0,071  | 0,398 | -0,056 | 0,072  | 0,176  | 0,042  | 0,357  | 0,174  | 0,177  | 0,278  | -0,003 | 0,048  | 0,194  | 0,003  | 0,160  | 0,130  | 0,157  | 0,201  | Ca |
|       |        |       |        |        |       |        | 1,000  | 0,523  | 0,087  | 0,300 | -0,011 | 0,047  | 0,117  | 0,194  | 0,302  | 0,084  | -0,002 | 0,485  | -0,004 | 0,224  | 0,119  | -0,186 | -0,038 | -0,012 | -0,028 | 0,892  | Cd |
|       |        |       |        |        |       |        |        | 1,000  | -0,040 | 0,433 | 0,056  | 0,000  | 0,277  | 0,247  | 0,712  | -0,067 | -0,030 | 0,766  | 0,059  | -0,089 | -0,082 | -0,166 | 0,043  | 0,027  | -0,012 | 0,498  | Co |
|       |        |       |        |        |       |        |        |        | 1,000  | 0,101 | -0,083 | 0,498  | -0,014 | 0,021  | -0,087 | 0,574  | 0,269  | 0,090  | -0,129 | 0,043  | 0,081  | 0,043  | -0,048 | 0,356  | 0,152  | 0,017  | Cr |
|       |        |       |        |        |       |        |        |        |        | 1,000 | 0,150  | 0,147  | 0,266  | 0,256  | 0,433  | 0,064  | 0,033  | 0,426  | 0,114  | 0,134  | 0,101  | 0,029  | 0,093  | 0,229  | -0,014 | 0,428  | Cu |
|       |        |       |        |        |       |        |        |        |        |       | 1,000  | -0,184 | -0,149 | -0,074 | 0,105  | 0,040  | 0,078  | 0,145  | 0,971  | 0,027  | 0,034  | -0,041 | -0,030 | 0,044  | -0,034 | 0,217  | Fe |
|       |        |       |        |        |       |        |        |        |        |       |        | 1,000  | 0,352  | 0,174  | 0,071  | 0,125  | 0,171  | 0,112  | -0,214 | -0,020 | -0,049 | 0,076  | 0,141  | 0,127  | 0,078  | 0,017  | K  |
|       |        |       |        |        |       |        |        |        |        |       |        |        | 1,000  | 0,264  | 0,553  | -0,044 | 0,003  | 0,469  | -0,192 | -0,101 | -0,052 | 0,273  | 0,397  | 0,231  | 0,014  | 0,151  | Li |
|       |        |       |        |        |       |        |        |        |        |       |        |        |        | 1,000  | 0,179  | -0,157 | -0,057 | 0,388  | -0,136 | 0,165  | -0,011 | -0,037 | -0,089 | 0,168  | -0,035 | 0,328  | Mg |
|       |        |       |        |        |       |        |        |        |        |       |        |        |        |        | 1,000  | -0,094 | 0,019  | 0,690  | 0,110  | -0,070 | -0,054 | 0,072  | 0,346  | 0,081  | -0,018 | 0,325  | Mn |
|       |        |       |        |        |       |        |        |        |        |       |        |        |        |        |        | 1,000  | 0,231  | 0,033  | 0,043  | 0,064  | 0,431  | 0,205  | 0,254  | 0,590  | 0,461  | 0,139  | Mo |
|       |        |       |        |        |       |        |        |        |        |       |        |        |        |        |        |        | 1,000  | 0,007  | 0,042  | -0,120 | -0,066 | -0,082 | -0,025 | 0,218  | -0,004 | -0,029 | Na |
|       |        |       |        |        |       |        |        |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        | 1,000  | 0,133  | -0,101 | -0,079 | -0,170 | 0,059  | 0,206  | -0,001 | 0,553  | Ni |
|       |        |       |        |        |       |        |        |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |        | 1,000  | -0,016 | 0,008  | -0,129 | -0,012 | -0,054 | -0,013 | 0,197  | P  |
|       |        |       |        |        |       |        |        |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        | 1,000  | 0,567  | 0,018  | -0,102 | -0,093 | 0,006  | 0,371  | Pb |
|       |        |       |        |        |       |        |        |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | 1,000  | 0,361  | 0,290  | 0,191  | 0,632  | 0,248  | Sb |
|       |        |       |        |        |       |        |        |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | 1,000  | 0,492  | 0,313  | 0,338  | -0,142 | Th |
|       |        |       |        |        |       |        |        |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | 1,000  | 0,281  | 0,439  | 0,007  | Tl |
|       |        |       |        |        |       |        |        |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | 1,000  | 0,160  | 0,070  | V  |
|       |        |       |        |        |       |        |        |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | 1,000  | 0,043  | W  |
|       |        |       |        |        |       |        |        |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | 1,000  | Zn |

Legenda:





#### 4.5.3. Mapas de distribuição espacial de teores

A distribuição espacial dos teores de metais num dado ambiente geológico representa o produto final de uma série de processos naturais no decurso dos quais podem ocorrer fenómenos de empobrecimento/enriquecimento.

As Figuras 4.8 a 4.21 apresentam os mapas da variação espacial das concentrações em Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Th, Tl, V, W, Zn nas amostras de solos. Os mapas foram elaborados através do programa *Surfer* versão 13.0.

Foram realizados os mapas de teores para cada elemento químico. Na elaboração dos mapas utilizaram-se sempre as mesmas classes de teor: [Mínimo-P<sub>5</sub>]; [P<sub>5</sub>-P<sub>10</sub>]; [P<sub>10</sub>-P<sub>25</sub>]; [P<sub>25</sub>-P<sub>50</sub>]; [P<sub>50</sub>-P<sub>75</sub>]; [P<sub>75</sub>-P<sub>90</sub>]; [P<sub>90</sub>-P<sub>95</sub>]; [P<sub>95</sub>-P<sub>99</sub>]; [P<sub>99</sub>-Máximo].

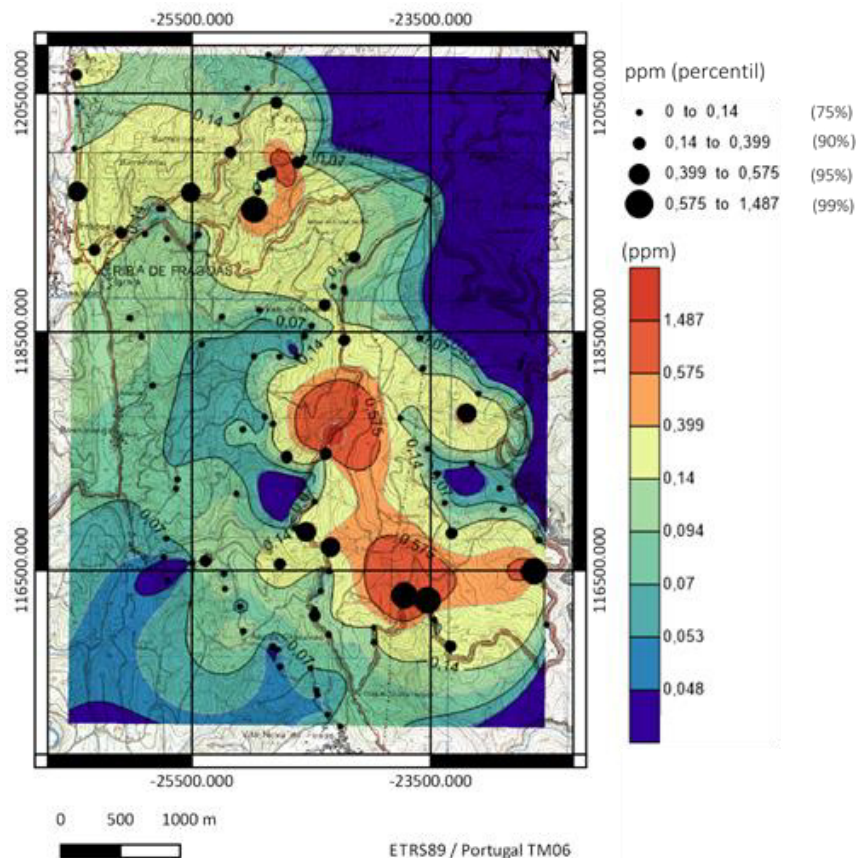


Figura 4.8 – Mapa de teores para o elemento químico Ag.

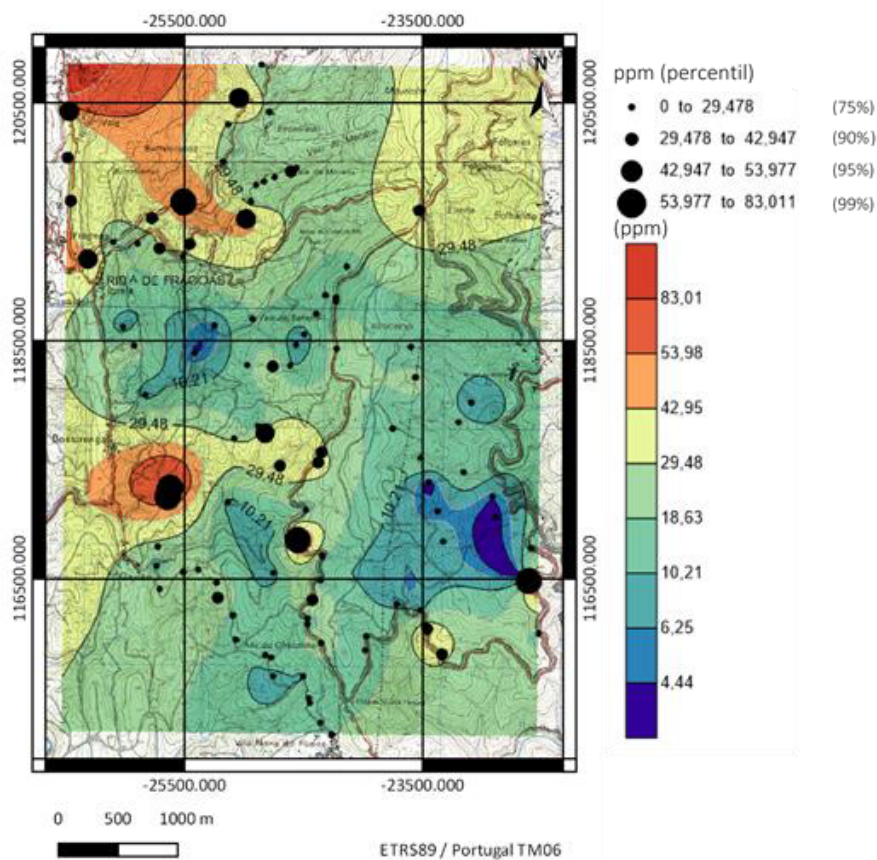
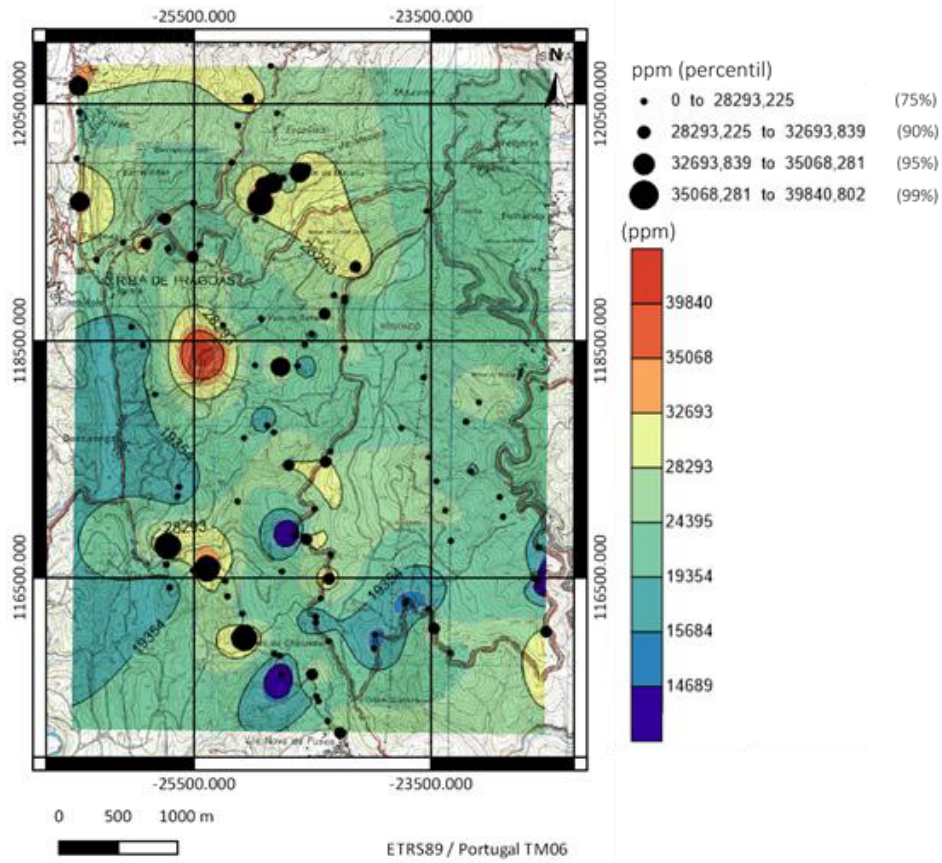


Figura 4.9 – Mapa de teores para os elementos químicos Al e As.

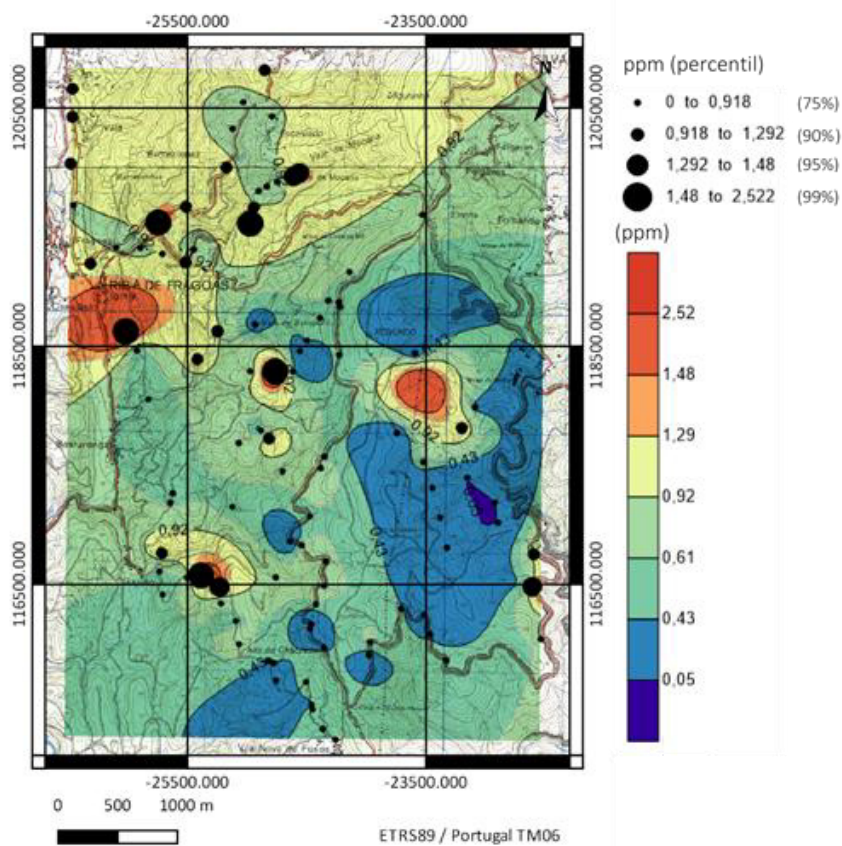
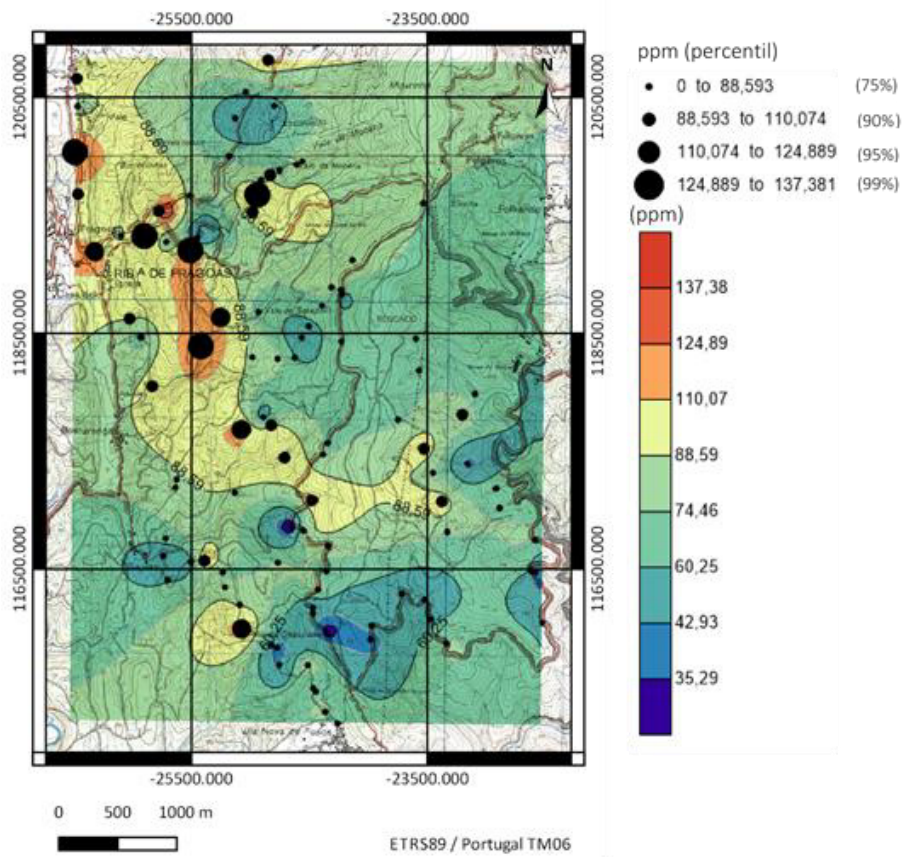


Figura 4.10 – Mapa de teores para os elementos químicos Ba e Be.

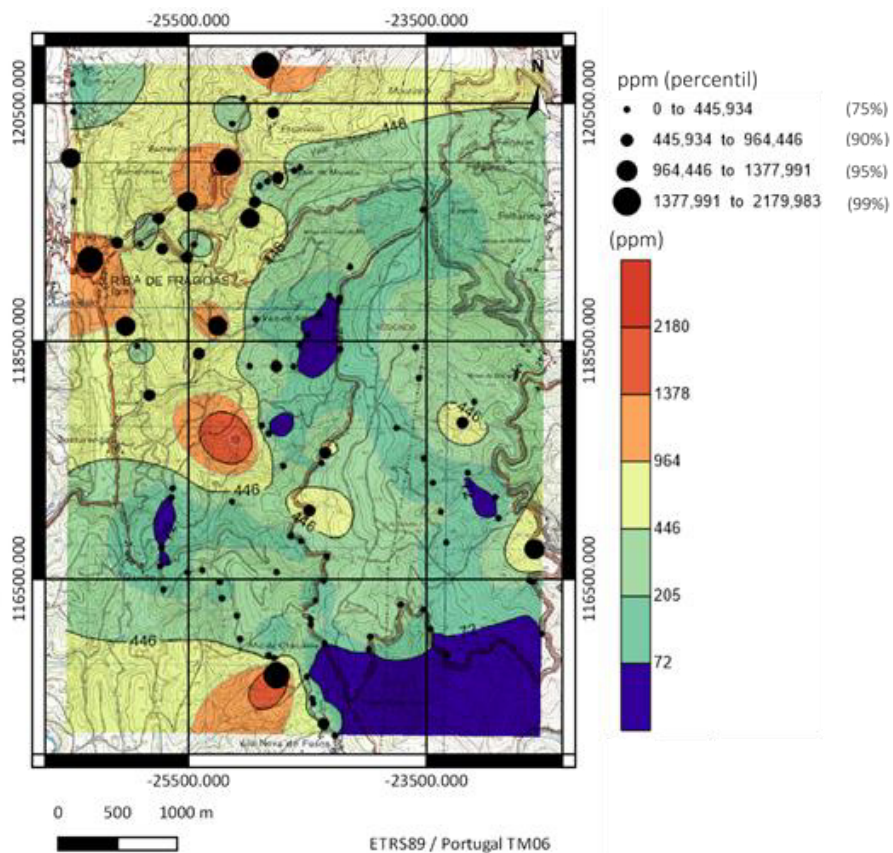
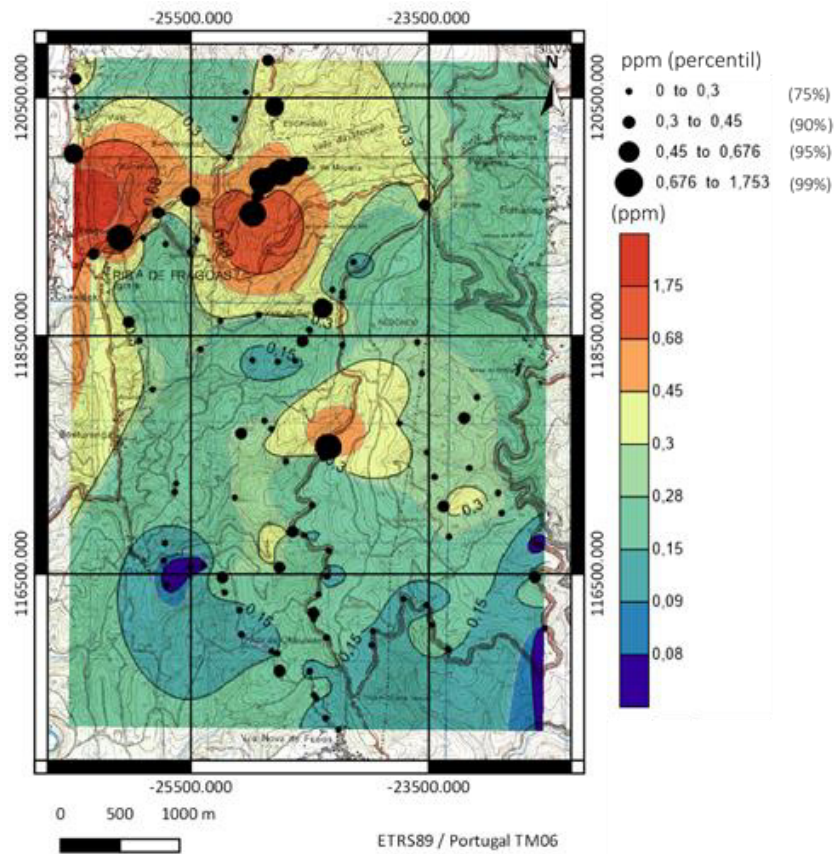


Figura 4.11 – Mapa de teores para os elementos químicos Bi e Ca.

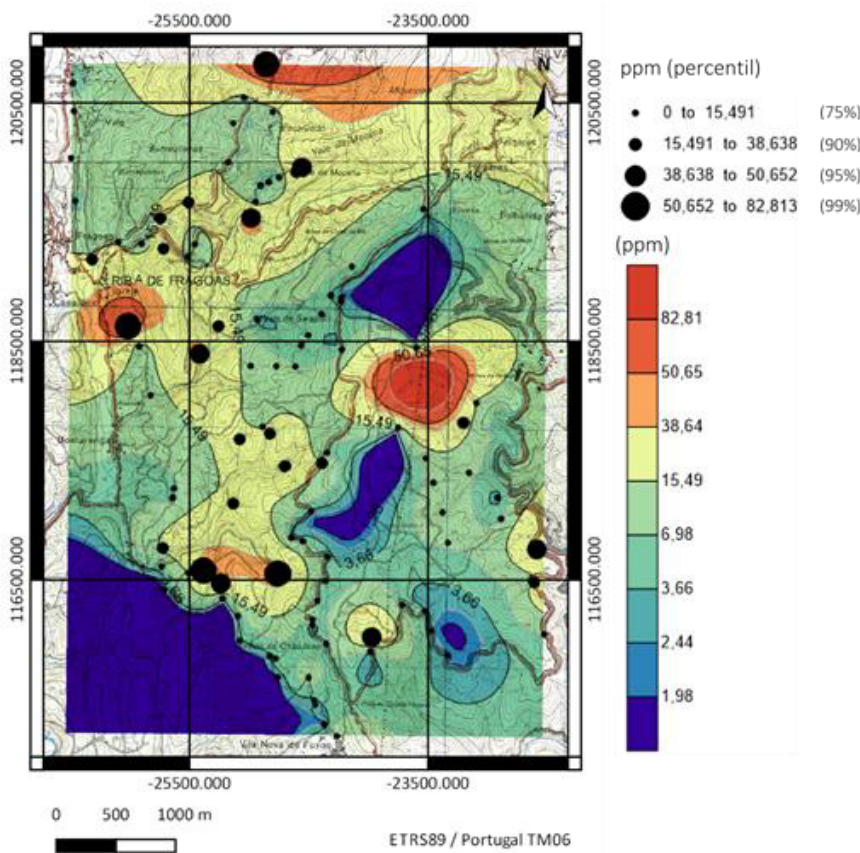
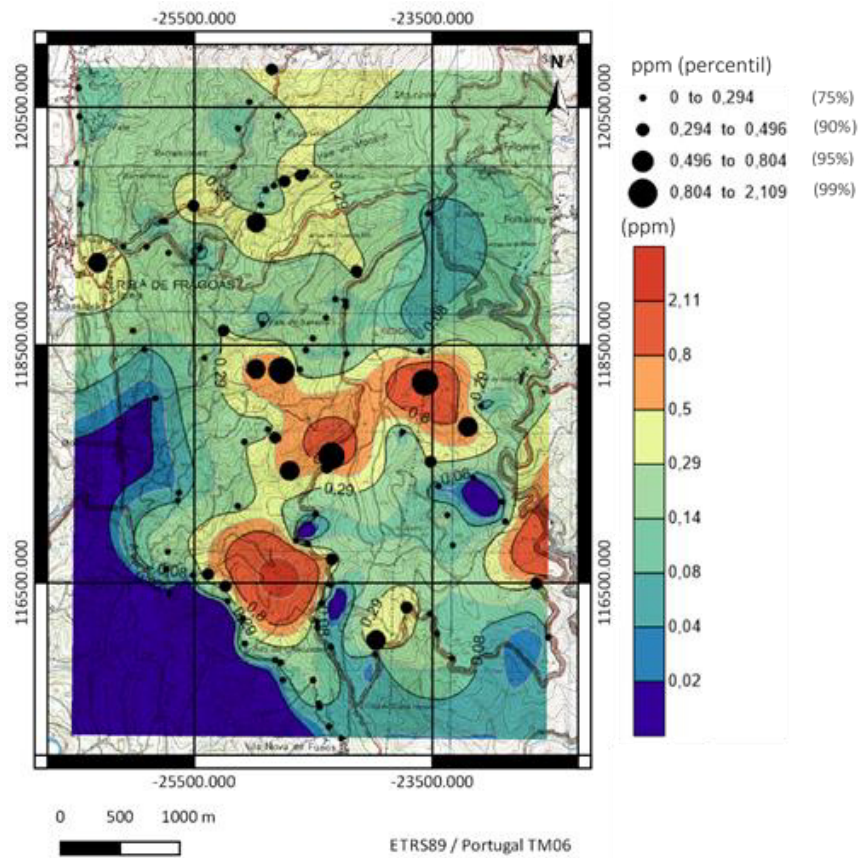


Figura 4.12 – Mapa de teores para os elementos químicos Cd e Co.

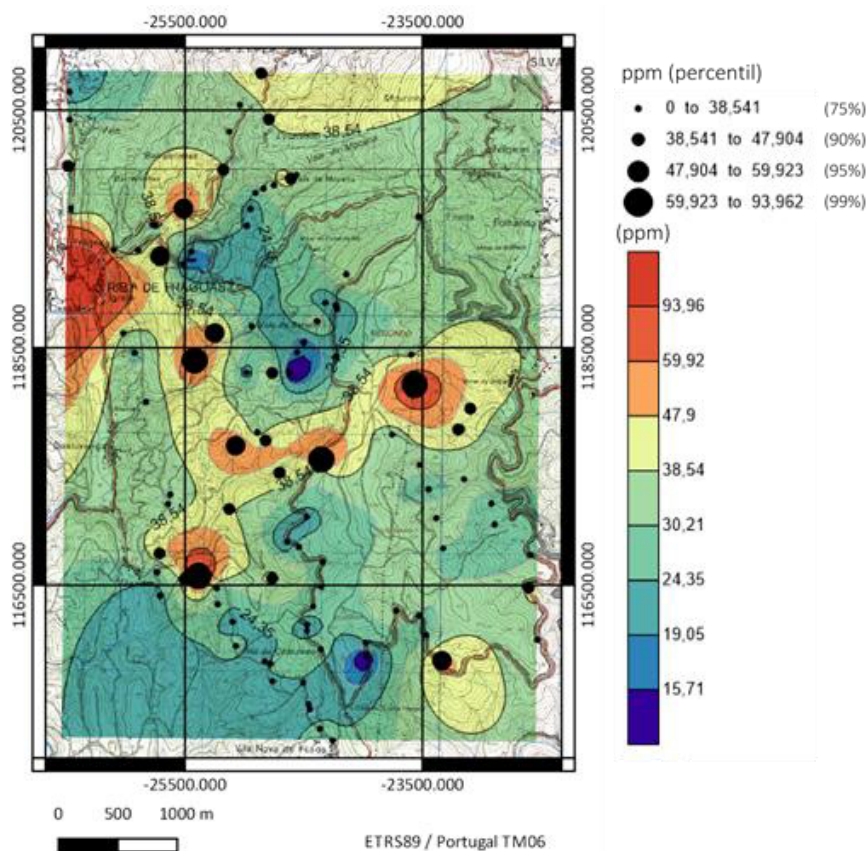
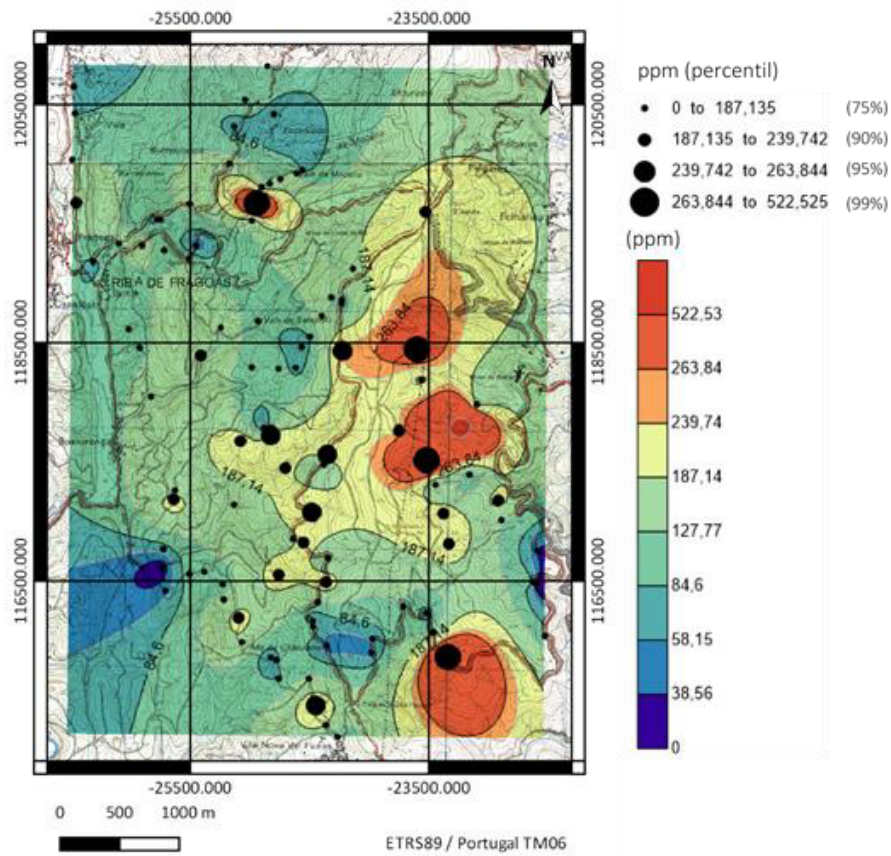


Figura 4.13 – Mapa de teores para os elementos químicos Cr e Cu.

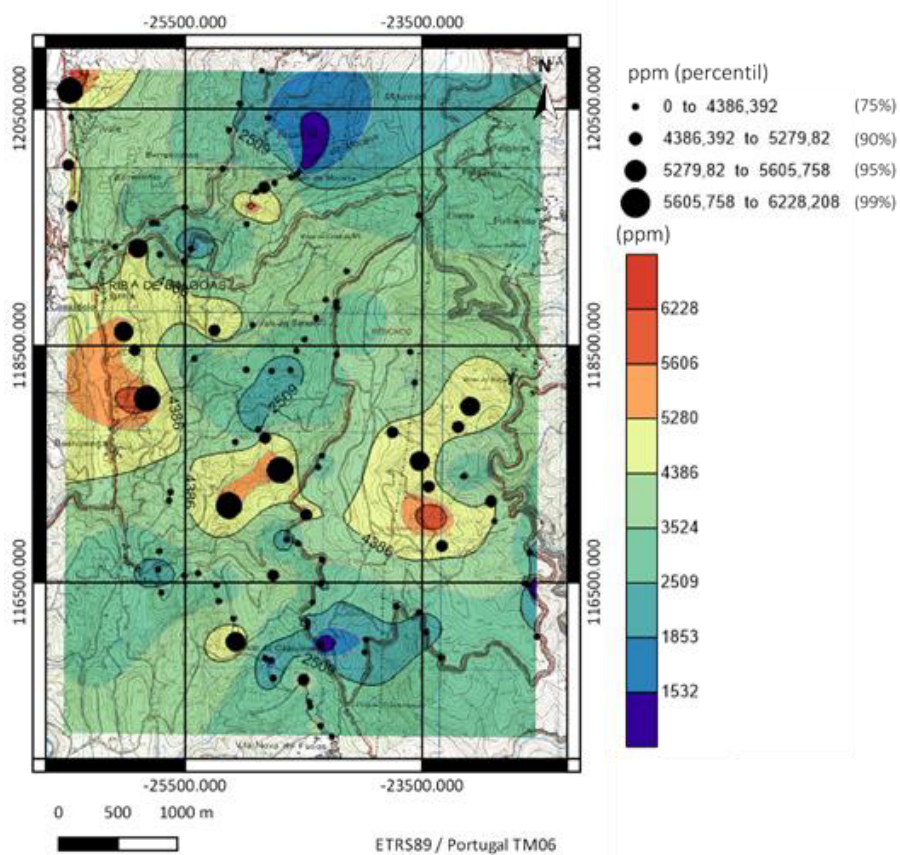
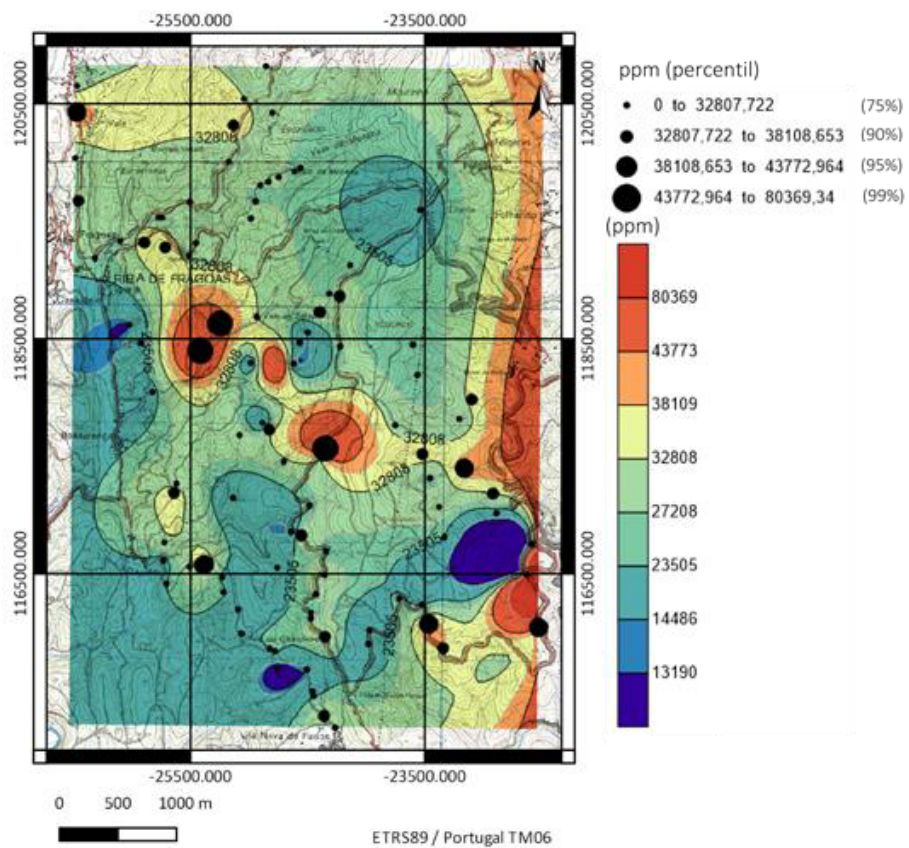


Figura 4.14 – Mapa de teores para os elementos químicos Fe e K.

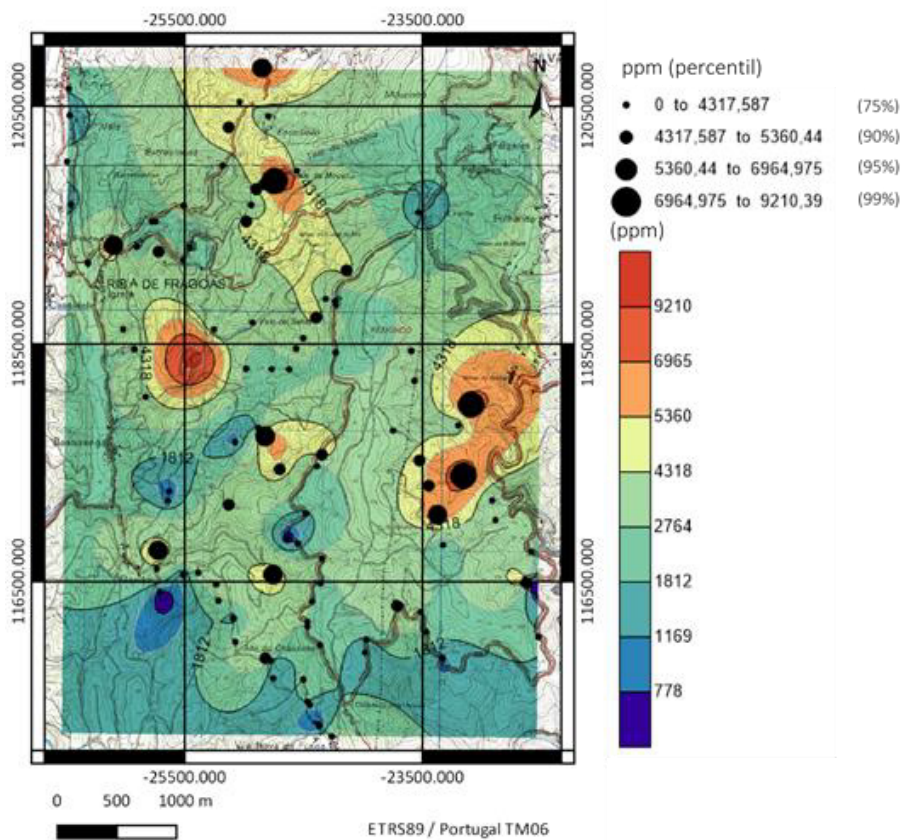
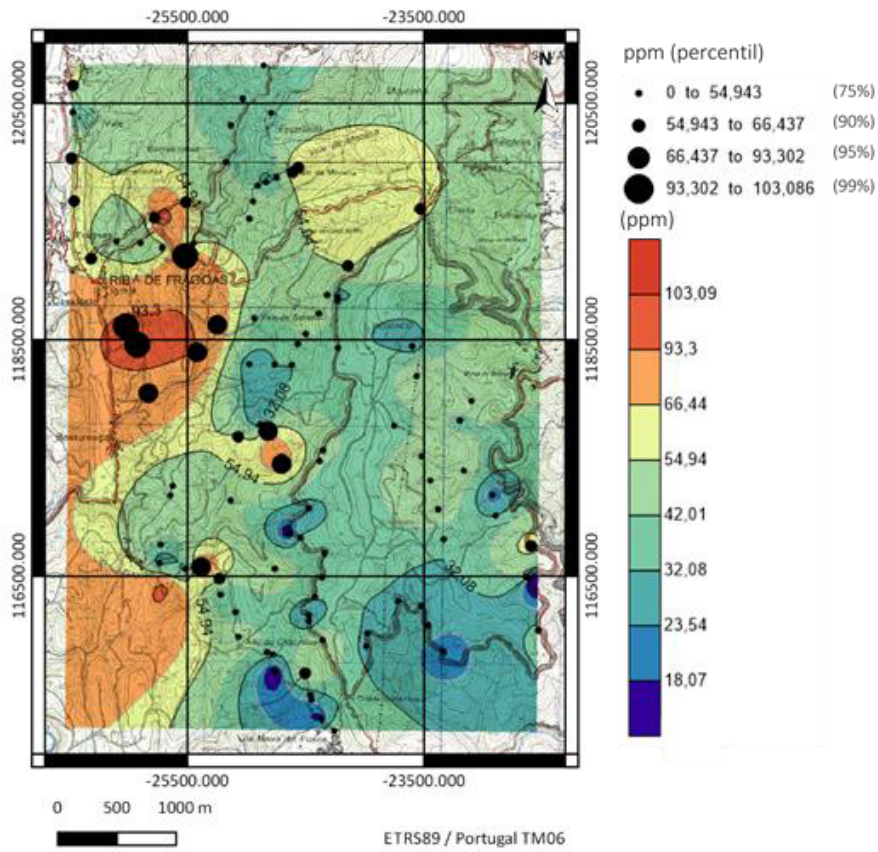


Figura 4.15 – Mapa de teores para os elementos químicos Li e Mg.



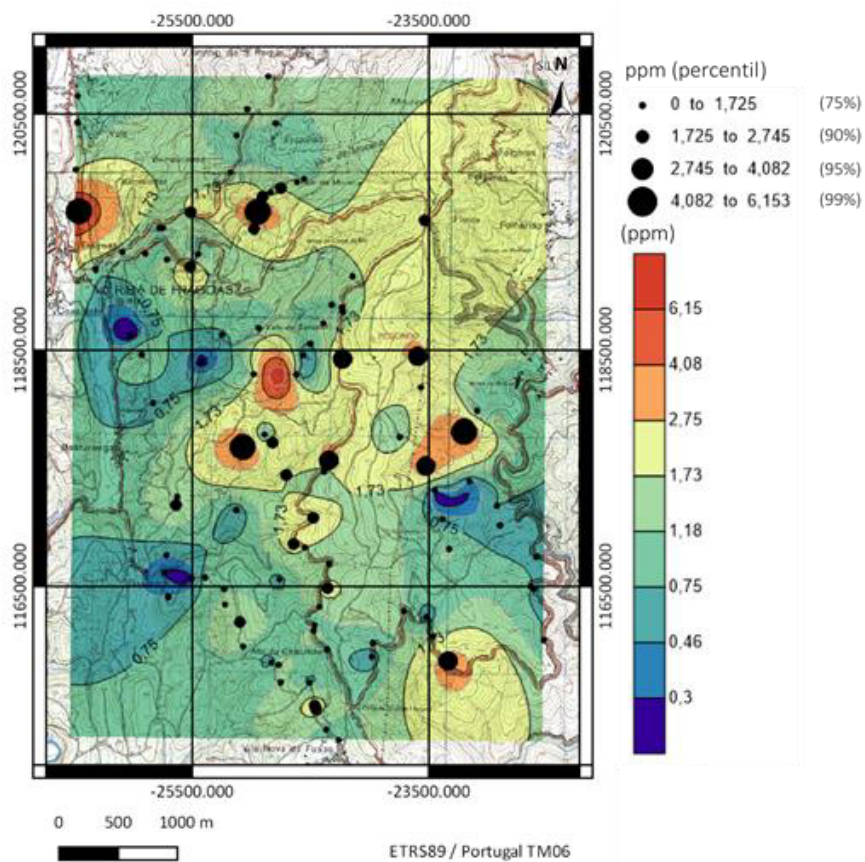
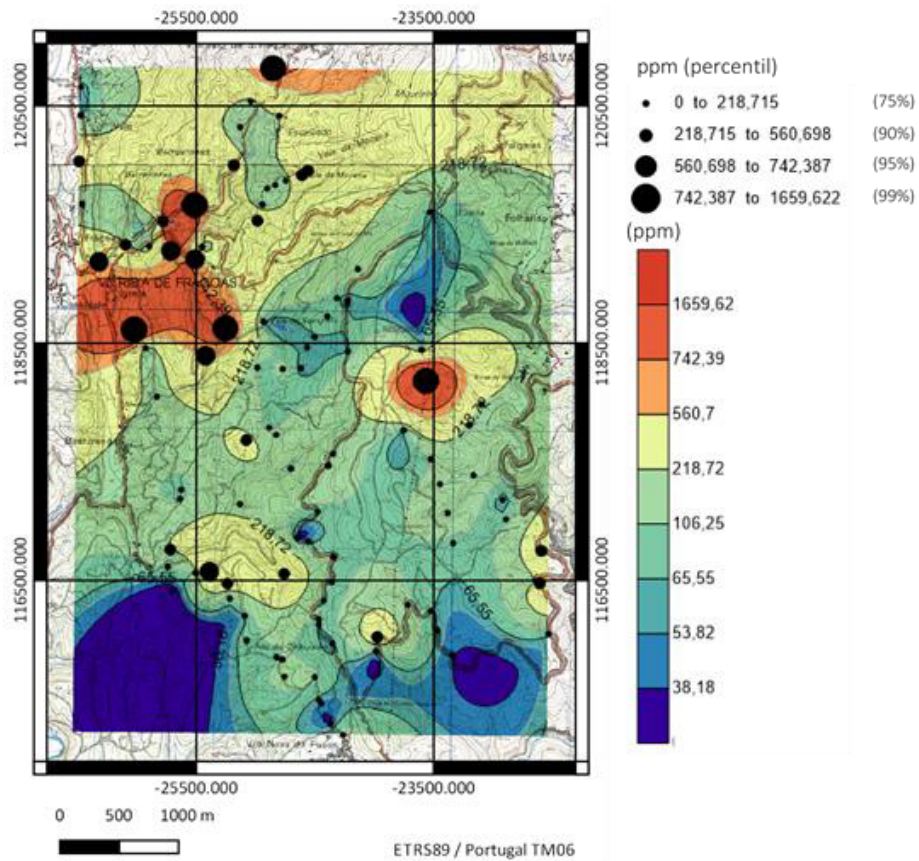


Figura 4.16 – Mapa de teores para os elementos químicos Mn e Mo.

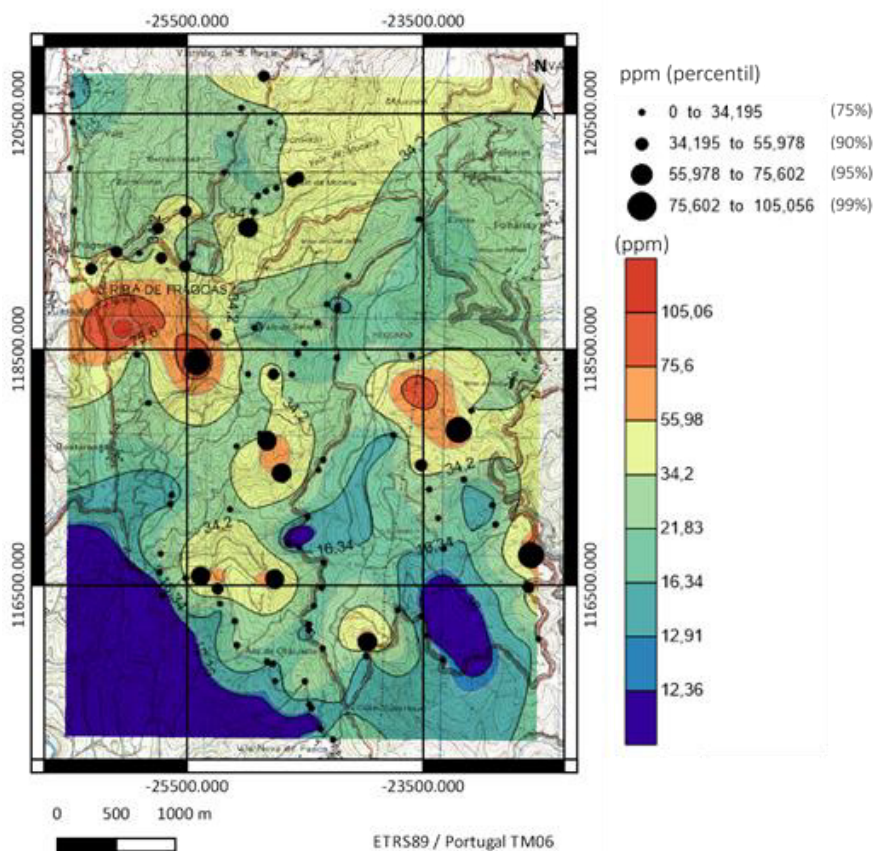
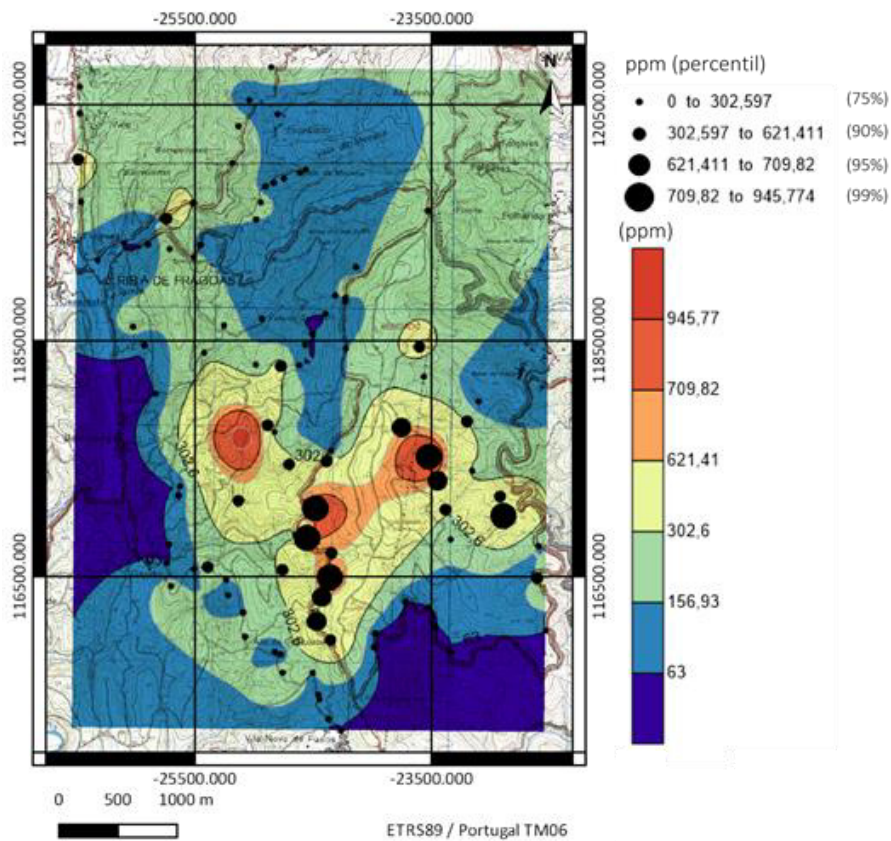


Figura 4.17 – Mapa de teores para os elementos químicos Na e Ni.

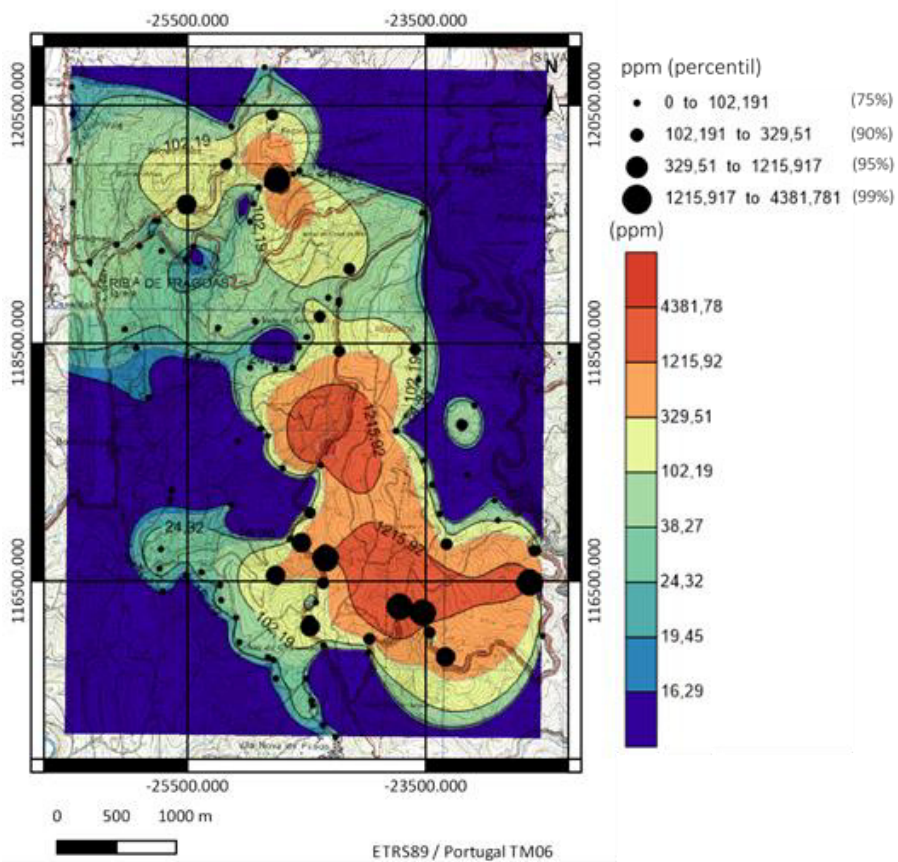
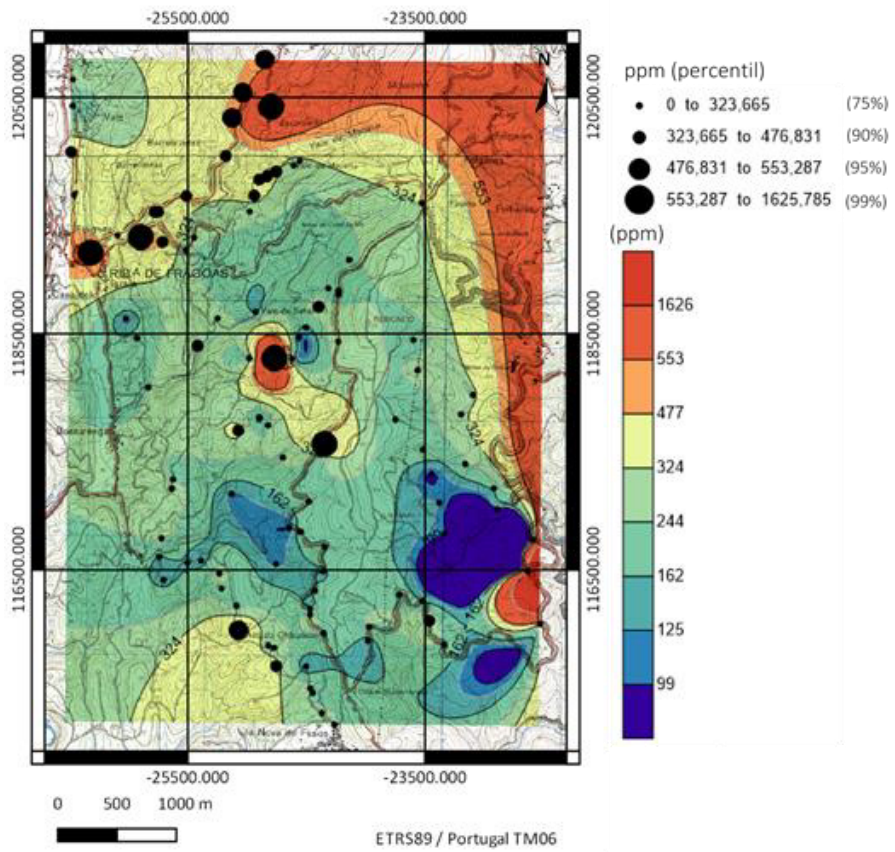


Figura 4.18 – Mapa de teores para os elementos químicos P e Pb.

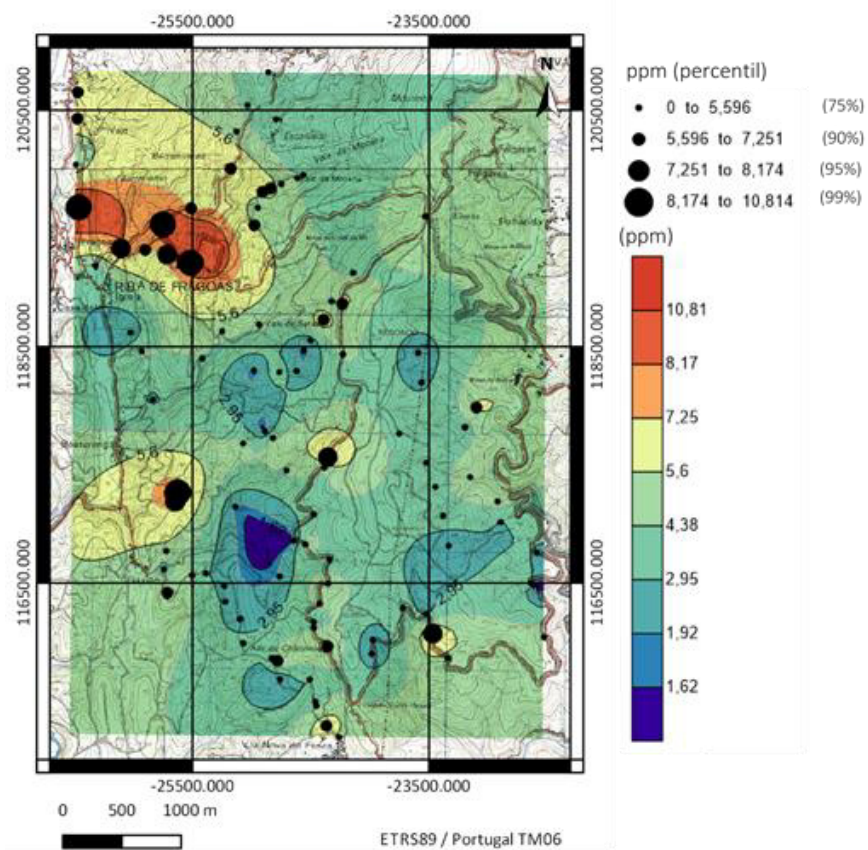
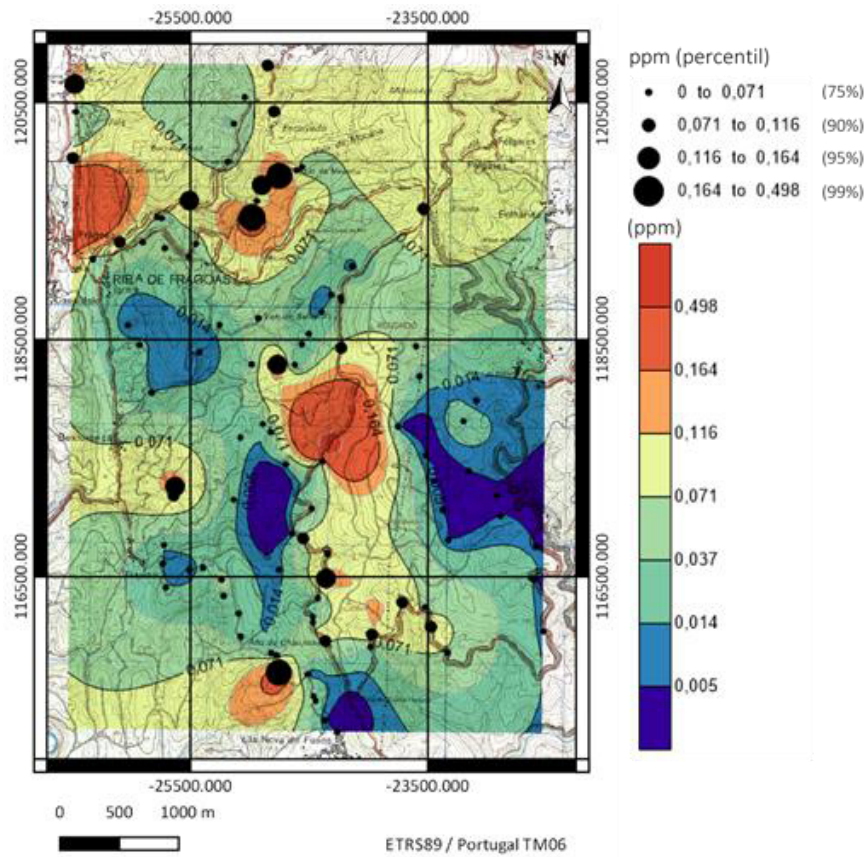


Figura 4.19 – Mapa de teores para os elementos químicos Sb e Th.

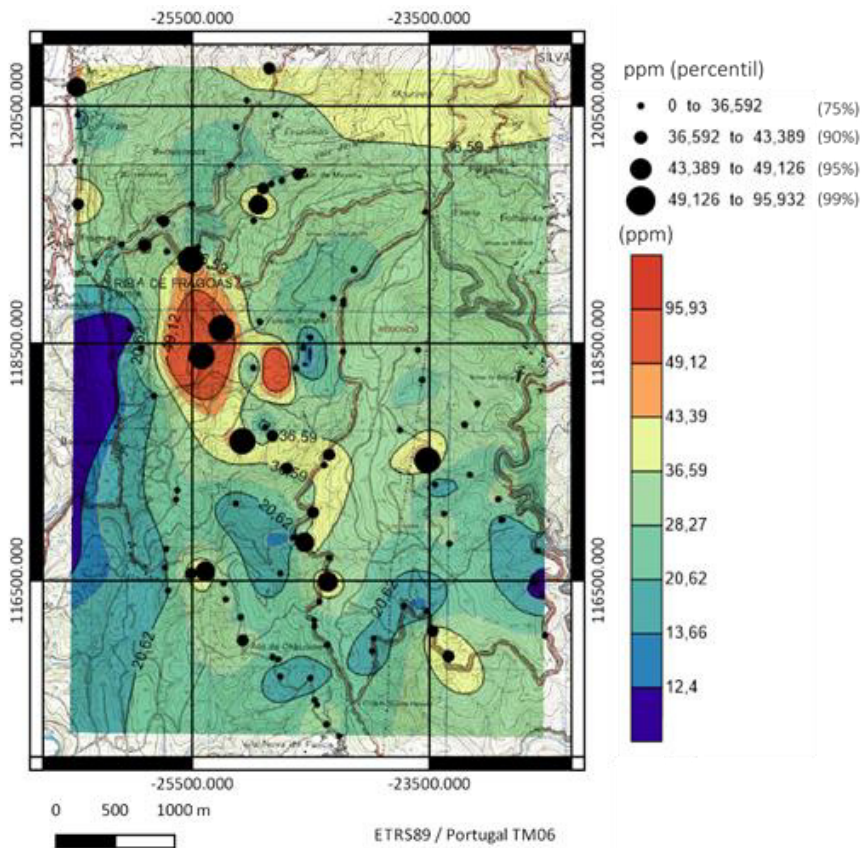
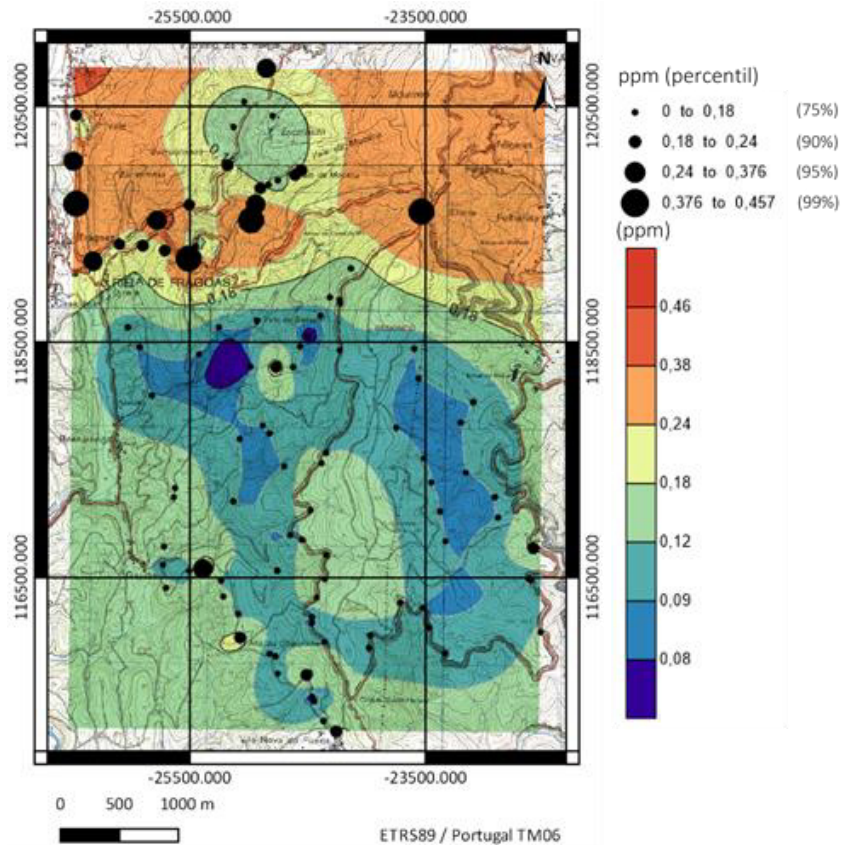


Figura 4.20 – Mapa de teores para os elementos químicos Tl e V.

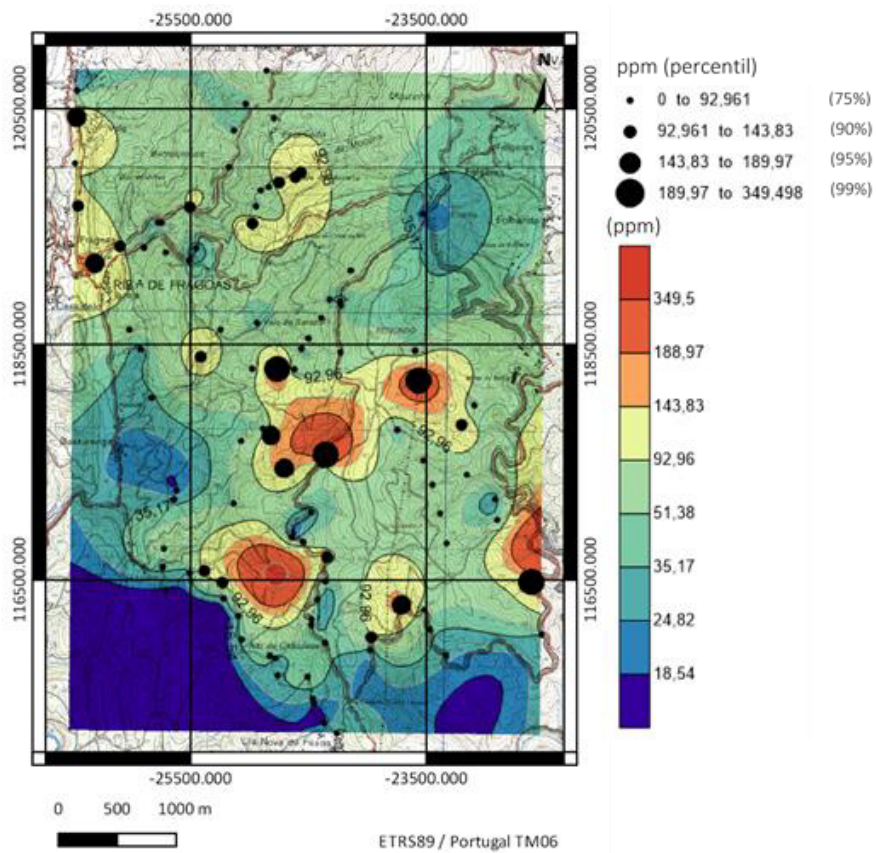
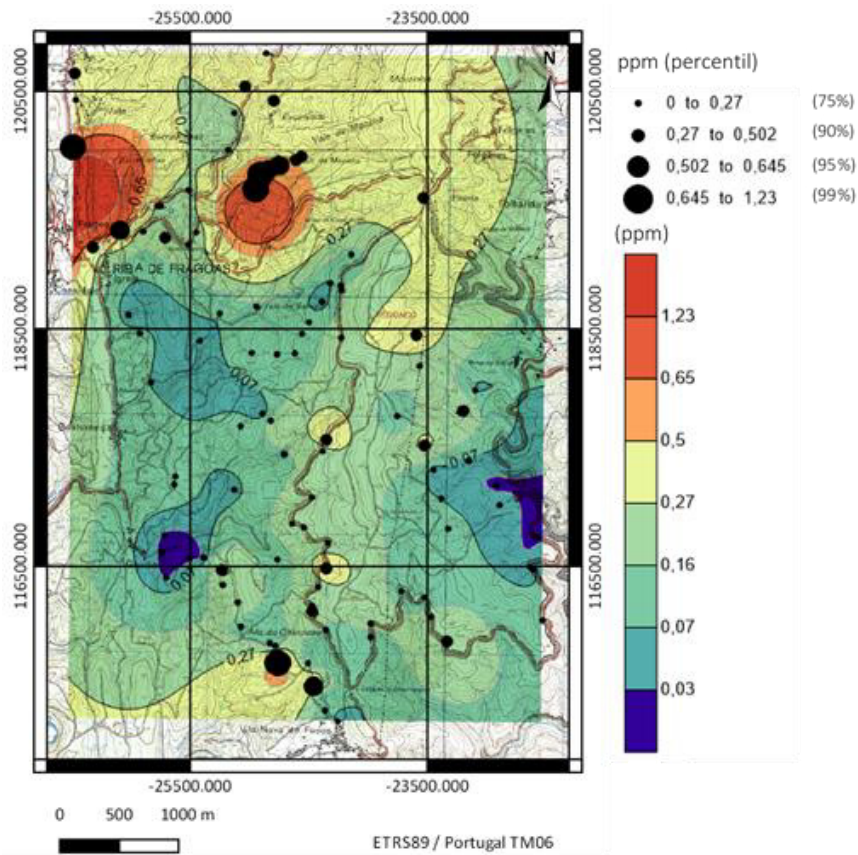


Figura 4.21 – Mapa de teores para os elementos químicos W e Zn.

Através das equações referidas no subcapítulo 4.3. foi possível estimar o valor de fundo geoquímico local e identificar os valores anómalos (*outliers*) (Tabela 4.4), representados a vermelho (Anexo 3).

Tabela 4.4– Valores de fundo geoquímico local (a negrito) para a zona em estudo calculado tendo em consideração as equações referidas no subcapítulo 4.3.

|    | N  | Mínimo | Média   | <b>Mediana</b> | Máximo  |
|----|----|--------|---------|----------------|---------|
| Ag | 85 | 0,03   | 0,09    | <b>0,08</b>    | 0,18    |
| Al | 90 | 6196,0 | 22598,5 | <b>22753,1</b> | 32693,8 |
| As | 82 | 2,1    | 16,0    | <b>15,5</b>    | 31,7    |
| Ba | 88 | 20,4   | 66,8    | <b>69,5</b>    | 101,8   |
| Be | 84 | 0,05   | 0,52    | <b>0,54</b>    | 1,13    |
| Bi | 88 | 0,02   | 0,21    | <b>0,25</b>    | 0,37    |
| Ca | 83 | 71,0   | 189,3   | <b>72,0</b>    | 599,0   |
| Cd | 82 | 0,02   | 0,12    | <b>0,11</b>    | 0,38    |
| Co | 86 | 1,1    | 7,0     | <b>5,8</b>     | 21,2    |
| Cr | 86 | 22,0   | 112,9   | <b>112,1</b>   | 230,9   |
| Cu | 88 | 6,7    | 27,8    | <b>28,7</b>    | 44,9    |
| Fe | 89 | 4802,0 | 24894,3 | <b>26105,6</b> | 36897,2 |
| K  | 93 | 1080,6 | 3180,8  | <b>3326,0</b>  | 5279,8  |
| Li | 91 | 5,0    | 38,3    | <b>36,2</b>    | 66,3    |
| Mg | 93 | 155,7  | 2762,4  | <b>2613,0</b>  | 5525,5  |
| Mn | 84 | 20,6   | 106,2   | <b>86,1</b>    | 282,0   |
| Mo | 85 | 0,10   | 1,03    | <b>1,08</b>    | 2,07    |
| Na | 84 | 0,6    | 145,5   | <b>134,2</b>   | 394,7   |
| Ni | 83 | 5,5    | 20,1    | <b>18,8</b>    | 39,1    |
| P  | 90 | 32,0   | 228,1   | <b>233,3</b>   | 385,8   |
| Pb | 83 | 12,7   | 44,3    | <b>33,4</b>    | 135,3   |
| Sb | 80 | 0,01   | 0,03    | <b>0,02</b>    | 0,08    |
| Sn | 81 | 0,03   | 0,04    | <b>0,03</b>    | 0,11    |
| Th | 86 | 0,6    | 3,9     | <b>3,9</b>     | 6,9     |
| Tl | 87 | 0,03   | 0,11    | <b>0,10</b>    | 0,22    |
| V  | 92 | 2,1    | 26,5    | <b>27,0</b>    | 43,7    |
| W  | 82 | 0,03   | 0,14    | <b>0,12</b>    | 0,36    |
| Zn | 88 | 12,1   | 51,9    | <b>45,6</b>    | 127,1   |

#### 4.5.4. Análise multivariada – classificação hierárquica (“Cluster Analysis”)

##### 4.5.3.1. Análise em Modo R

Com o objetivo de verificar a maior ou menor aproximação de uns elementos ou grupos de elementos em relação a outros, procedeu-se a um estudo por classificação hierárquica, pelo método Árvore Hierárquica (“*Tree Clustering*”). A regra de agrupamento utilizada foi o “método de Ward”, que toma como medida de distância o coeficiente de correlação “1-r Pearson”.

O cálculo matemático foi realizado sobre o número de ordem dos resultados analíticos de 27 elementos (Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Th, Tl, V, W, Zn). O resultado obtido por este método estatístico é apresentado no dendograma (Figura 4.22).

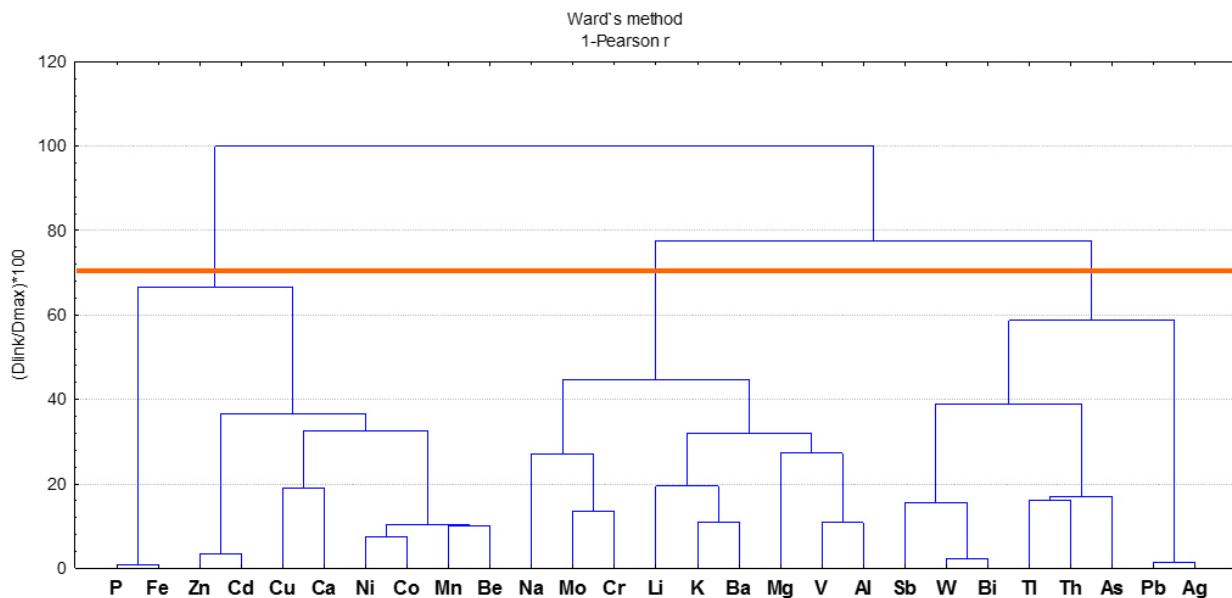


Figura 4.22 – Dendograma das variáveis em estudo (Modo R).

Para uma distância de amalgamação de 70 (linha cor-de-laranja, Figura 4.8) é possível verificar-se que existem três grupos (*clusters*) distintos:

- **Grupo 1:** [P, Fe], [Zn, Cd, Cu, Ca, Ni, Co, Mn, Be];
- **Grupo 2:** [Na, Mo, Cr], [Li, K, Ba, Mg, V, Al];
- **Grupo 3:** [Sb, W, Bi, Tl, Th, As], [Pb, Ag].

Os resultados da aplicação deste método sugerem o seguinte:

- i) A proximidade de P, Fe, Cu, Ca, Ni, Co, Mn e Be poderá indicar a existência de xistos, com blendas associadas devido à proximidade de Zn e Cd.
- ii) A ligação dos elementos Na, Mo, Cr, Li, K, Ba, Mg, V, Al confirma a existência de granitos, sendo estes mais ricos em K.
- iii) A associação de Pb e Ag poderá indicar a existência de galenas, enquanto que a associação Sb, W, Bi poderá sugerir, também, a presença de zonas com mineralização. A presença destes elementos (Sb, W, Bi, Tl, Th, As, Pb e Ag) indicará a existência de mineralização na região de estudo.



#### 4.5.3.2. Análise em Modo Q

Através da elaboração da análise multivariada para o conjunto de todas as amostras (Figura 4.9), para uma distância de amalgamação de 80, é possível observar a existência de dois agregados (*clusters*) distintos de indivíduos (amostras):

- **Grupo 1** constituído pelas amostras: 101, 42, 77, 22, 88, 39, 28, 75, 27, 21, 94, 99, 54, 66, 67, 31, 30, 49, 62, 24, 89, 15, 82, 13, 48, 34, 87, 33, 47, 32, 11, 46, 45, 4, 97.
- **Grupo 2** constituído pelas amostras: 64, 91, 76, 60, 59, 7, 98, 5, 74, 73, 72, 78, 69, 3, 2, 55, 38, 41, 36, 68, 16, 79, 35, 29, 23, 86, 14, 9, 25, 40, 19, 56, 65, 43, 18, 12, 96, 44, 37, 20, 53, 52, 6, 63, 50, 90, 93, 81, 70, 10, 92, 100, 84, 83, 95, 85, 80, 17, 61, 8, 71, 51, 1.

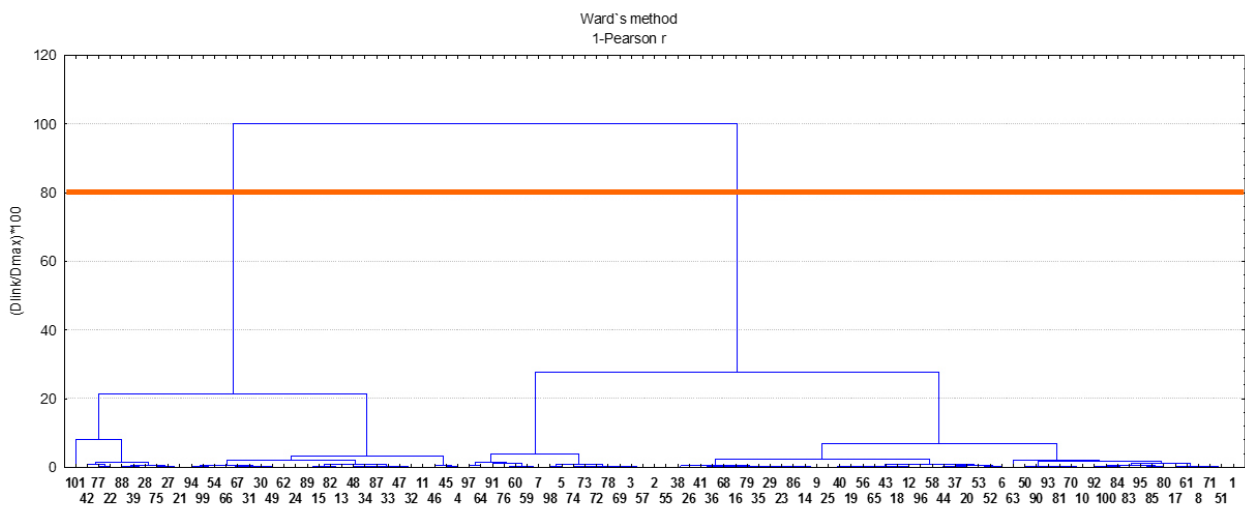


Figura 4.23 – Dendrograma das variáveis em estudo (Modo R).

A distribuição das amostras destes dois *clusters* encontra-se na Figura 4.24, em que a amarelo está representado o grupo 1 e a cor-de-rosa o grupo 2.

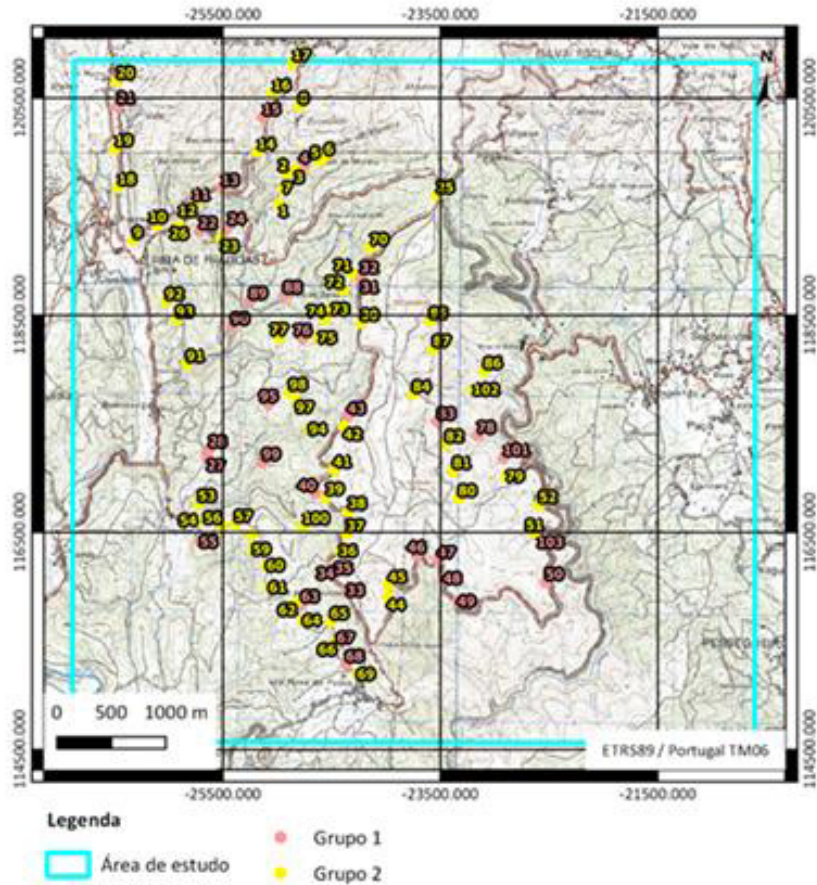


Figura 4.24 - Mapa da distribuição das amostras de cada cluster.

A análise univariada realizada para cada grupo de indivíduos está representada na Tabela 4.5 para o Cluster 1 e na Tabela 4.6 para o Cluster 2.

Tabela 4.5 – Análise estatística univariada tendo em consideração os valores para os indivíduos do Cluster 1.

|    | N  | Mínimo  | Média   | Mediana        | Máximo   | Desvio  | Assimetria | Curtose |
|----|----|---------|---------|----------------|----------|---------|------------|---------|
| Ag | 35 | 0,04    | 0,25    | <b>0,09</b>    | 2,11     | 0,47    | 2,92       | 8,00    |
| Al | 35 | 6389,2  | 21073,8 | <b>20540,5</b> | 48448,2  | 7432,5  | 1,2        | 4,7     |
| As | 35 | 4,1     | 25,9    | <b>20,0</b>    | 83,0     | 17,9    | 1,3        | 1,9     |
| Ba | 35 | 17,9    | 65,9    | <b>67,1</b>    | 133,6    | 26,9    | 0,4        | 0,0     |
| Be | 35 | 0,05    | 0,64    | <b>0,52</b>    | 2,50     | 0,47    | 1,93       | 5,96    |
| Bi | 35 | 0,07    | 0,26    | <b>0,26</b>    | 0,75     | 0,14    | 1,69       | 4,32    |
| Ca | 35 | 72,0    | 347,8   | <b>154,9</b>   | 2539,8   | 498,3   | 3,0        | 10,8    |
| Cd | 35 | 0,02    | 0,20    | <b>0,13</b>    | 1,39     | 0,27    | 3,08       | 11,25   |
| Co | 35 | 1,5     | 9,8     | <b>5,9</b>     | 45,9     | 10,3    | 2,0        | 4,1     |
| Cr | 35 | 12,0    | 142,4   | <b>116,0</b>   | 485,1    | 103,5   | 1,8        | 4,0     |
| Cu | 35 | 15,4    | 34,2    | <b>31,7</b>    | 65,3     | 13,7    | 0,8        | -0,2    |
| Fe | 35 | 13367,1 | 45507,4 | <b>33193,4</b> | 403064,5 | 63750,9 | 5,5        | 31,5    |
| K  | 35 | 1007,1  | 3002,4  | <b>2968,0</b>  | 5716,9   | 1201,8  | 0,3        | -0,3    |
| Li | 35 | 3,2     | 40,3    | <b>34,9</b>    | 103,1    | 22,0    | 1,0        | 1,4     |
| Mg | 35 | 150,2   | 2880,3  | <b>2437,3</b>  | 11656,9  | 2472,4  | 1,8        | 4,0     |

|    |    |      |       |              |        |        |      |       |
|----|----|------|-------|--------------|--------|--------|------|-------|
| Mn | 35 | 20,0 | 184,3 | <b>95,5</b>  | 996,3  | 234,6  | 2,2  | 4,1   |
| Mo | 35 | 0,19 | 1,62  | <b>1,15</b>  | 9,52   | 1,71   | 3,27 | 13,33 |
| Na | 35 | 63,0 | 253,0 | <b>166,9</b> | 1139,3 | 255,6  | 2,0  | 4,3   |
| Ni | 35 | 4,6  | 24,8  | <b>16,8</b>  | 104,8  | 19,5   | 2,4  | 7,3   |
| P  | 35 | 94,0 | 556,1 | <b>248,6</b> | 9155,8 | 1517,8 | 5,7  | 32,9  |
| Pb | 35 | 12,7 | 531,2 | <b>34,8</b>  | 5986,3 | 1363,2 | 3,0  | 8,7   |
| Sb | 35 | 0,01 | 0,07  | <b>0,05</b>  | 0,70   | 0,12   | 4,38 | 22,24 |
| Th | 35 | 0,9  | 5,3   | <b>5,1</b>   | 11,3   | 2,1    | 0,2  | 0,8   |
| Tl | 35 | 0,08 | 0,13  | <b>0,11</b>  | 0,30   | 0,05   | 1,89 | 3,75  |
| V  | 35 | 3,4  | 31,9  | <b>27,2</b>  | 107,4  | 20,9   | 2,2  | 6,1   |
| W  | 35 | 0,03 | 0,17  | <b>0,14</b>  | 0,55   | 0,12   | 1,32 | 2,09  |
| Zn | 35 | 9,3  | 71,7  | <b>43,9</b>  | 320,9  | 70,5   | 2,0  | 4,1   |

Tabela 4.6 – Análise estatística univariada tendo em consideração os valores para os indivíduos do *Cluster 2*.

|    | N  | Mínimo | Média   | <b>Mediana</b> | Máximo  | Desvio | Assimetria | Curtose |
|----|----|--------|---------|----------------|---------|--------|------------|---------|
| Ag | 66 | 0,03   | 0,15    | <b>0,10</b>    | 0,84    | 0,14   | 3,04       | 10,47   |
| Al | 66 | 7337,0 | 25485,3 | <b>25915,4</b> | 39840,8 | 6315,4 | -0,1       | 0,1     |
| As | 66 | 2,8    | 21,6    | <b>18,2</b>    | 107,4   | 17,3   | 2,4        | 9,1     |
| Ba | 66 | 35,4   | 81,0    | <b>77,9</b>    | 162,8   | 25,2   | 0,8        | 1,0     |
| Be | 66 | 0,05   | 0,78    | <b>0,68</b>    | 2,68    | 0,52   | 1,36       | 3,21    |
| Bi | 66 | 0,04   | 0,35    | <b>0,29</b>    | 4,44    | 0,58   | 5,98       | 40,69   |
| Ca | 66 | 72,00  | 391,95  | <b>236,35</b>  | 2179,98 | 443,04 | 1,97       | 4,09    |
| Cd | 66 | 0,02   | 0,32    | <b>0,16</b>    | 4,00    | 0,59   | 4,68       | 25,12   |
| Co | 66 | 1,7    | 18,0    | <b>8,5</b>     | 204,8   | 29,1   | 4,6        | 26,5    |
| Cr | 66 | 22,0   | 152,1   | <b>127,8</b>   | 642,4   | 102,4  | 2,5        | 9,2     |
| Cu | 66 | 6,7    | 33,5    | <b>29,9</b>    | 151,4   | 20,0   | 3,8        | 19,2    |
| Fe | 66 | 8104,1 | 24835,6 | <b>25752,7</b> | 39319,8 | 6985,4 | -0,4       | -0,4    |
| K  | 66 | 1436,2 | 3735,0  | <b>3727,4</b>  | 6312,9  | 1253,0 | 0,1        | -0,7    |
| Li | 66 | 9,4    | 47,5    | <b>42,7</b>    | 122,6   | 21,2   | 1,3        | 2,3     |
| Mg | 66 | 1032,3 | 3398,5  | <b>3133,8</b>  | 9210,4  | 1693,4 | 1,0        | 1,2     |
| Mn | 66 | 37,7   | 268,0   | <b>124,7</b>   | 2109,0  | 379,9  | 3,3        | 11,6    |
| Mo | 66 | 0,07   | 1,41    | <b>1,22</b>    | 6,15    | 1,10   | 2,26       | 6,62    |
| Na | 66 | 63,0   | 234,8   | <b>154,1</b>   | 819,8   | 203,7  | 1,4        | 1,0     |
| Ni | 66 | 12,5   | 32,7    | <b>24,0</b>    | 130,0   | 23,3   | 2,0        | 4,6     |
| P  | 66 | 77,7   | 263,9   | <b>242,2</b>   | 929,0   | 145,3  | 1,9        | 6,1     |
| Pb | 66 | 14,5   | 127,4   | <b>39,8</b>    | 2150,6  | 303,7  | 5,5        | 32,9    |
| Sb | 66 | 0,01   | 0,06    | <b>0,03</b>    | 0,50    | 0,07   | 3,82       | 19,86   |
| Th | 66 | 1,2    | 4,2     | <b>3,9</b>     | 10,8    | 2,0    | 1,1        | 1,7     |
| Tl | 66 | 0,06   | 0,16    | <b>0,13</b>    | 0,53    | 0,10   | 1,81       | 3,14    |
| V  | 66 | 7,9    | 28,7    | <b>29,7</b>    | 50,3    | 10,5   | 0,0        | -0,8    |
| W  | 66 | 0,03   | 0,28    | <b>0,19</b>    | 3,39    | 0,45   | 5,33       | 35,17   |
| Zn | 66 | 18,6   | 79,4    | <b>55,2</b>    | 479,1   | 75,6   | 3,4        | 13,9    |

As Figuras 4.25 a 4.38 apresentam a cartografia dos teores para cada elemento químico analisado, com a sobreposição dos dois conjuntos de amostras (*clusters*).

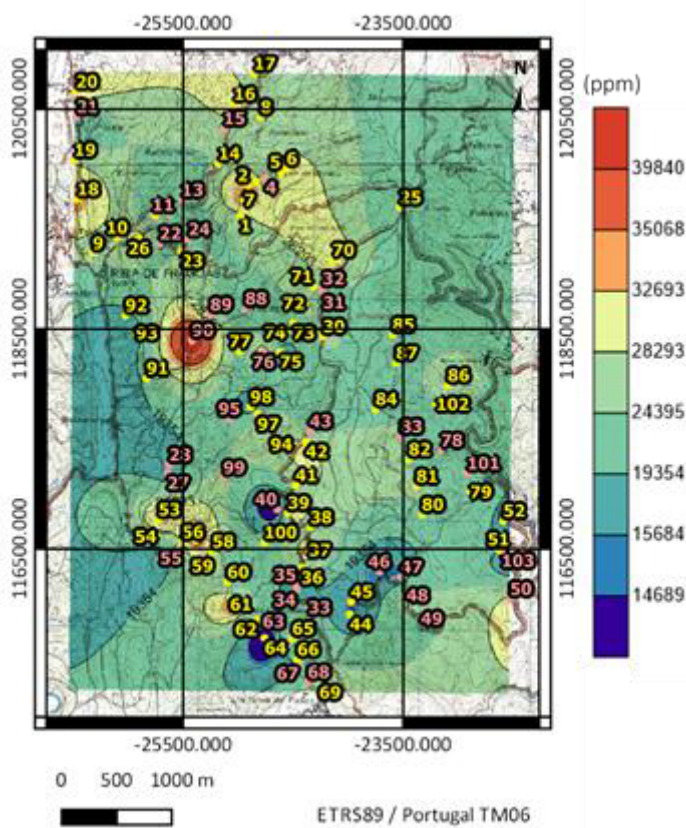
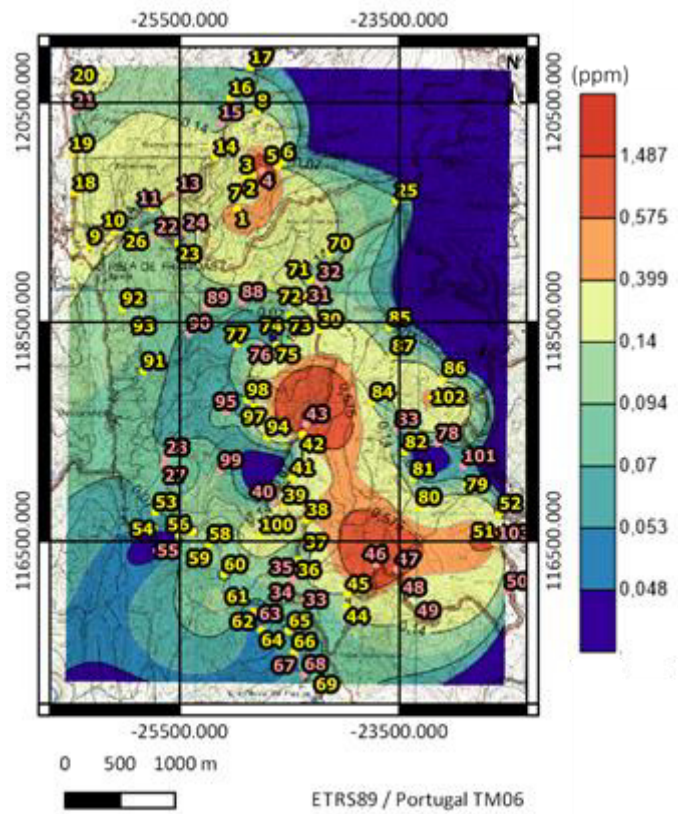


Figura 4.25 - Mapa de teores de Ag e Al tendo em consideração os dois clusters.

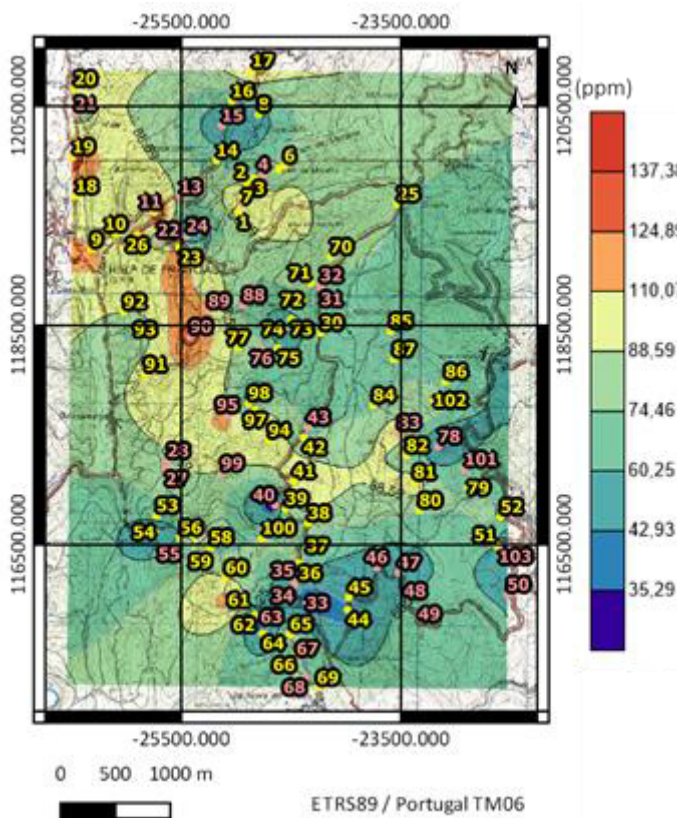
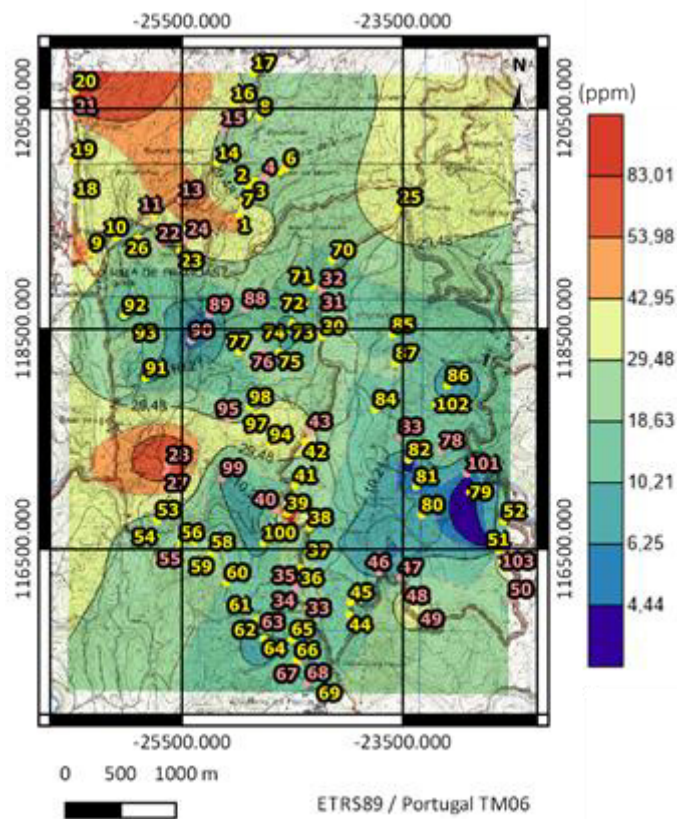


Figura 4.26 - Mapa de teores de As e Ba tendo em consideração os dois clusters.

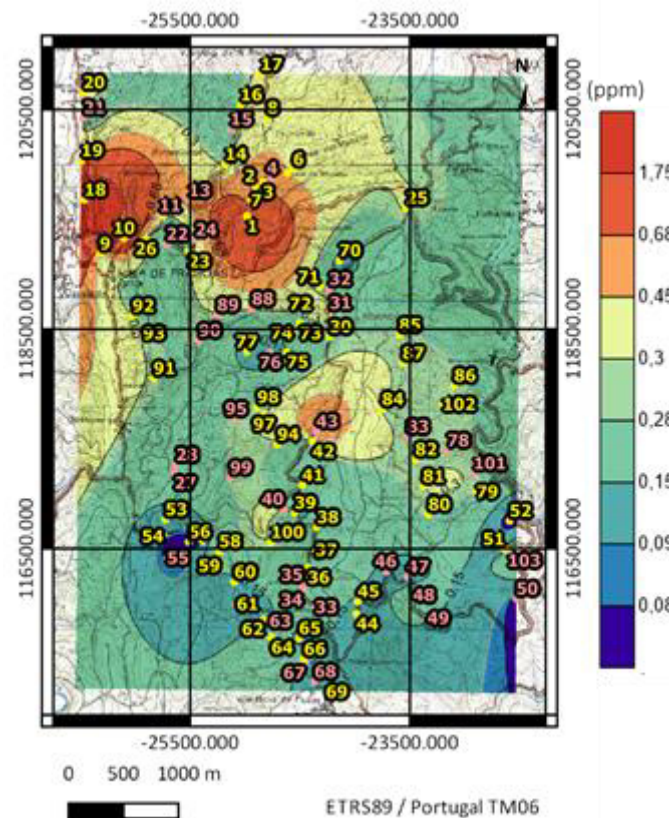
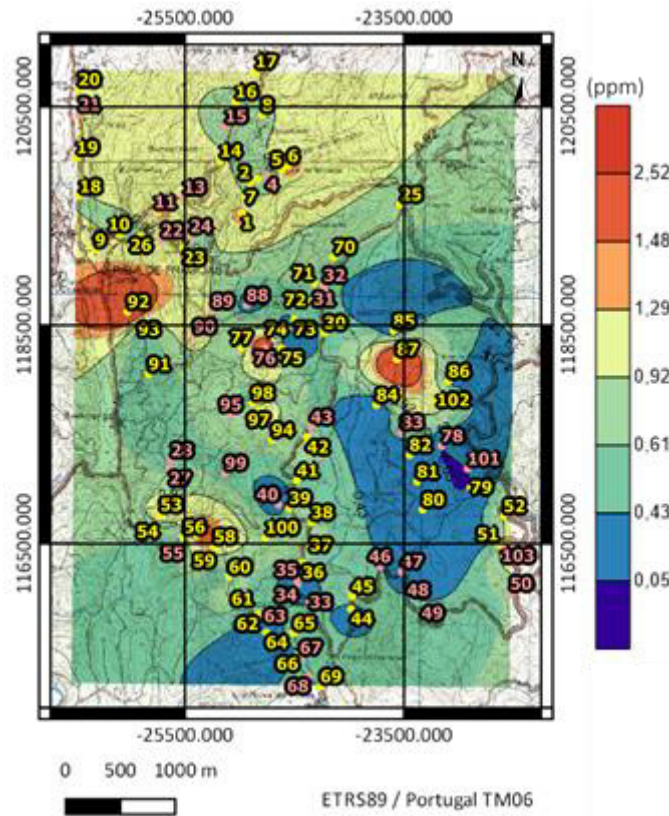


Figura 4.27 - Mapa de teores de Be e Bi tendo em consideração os dois clusters.

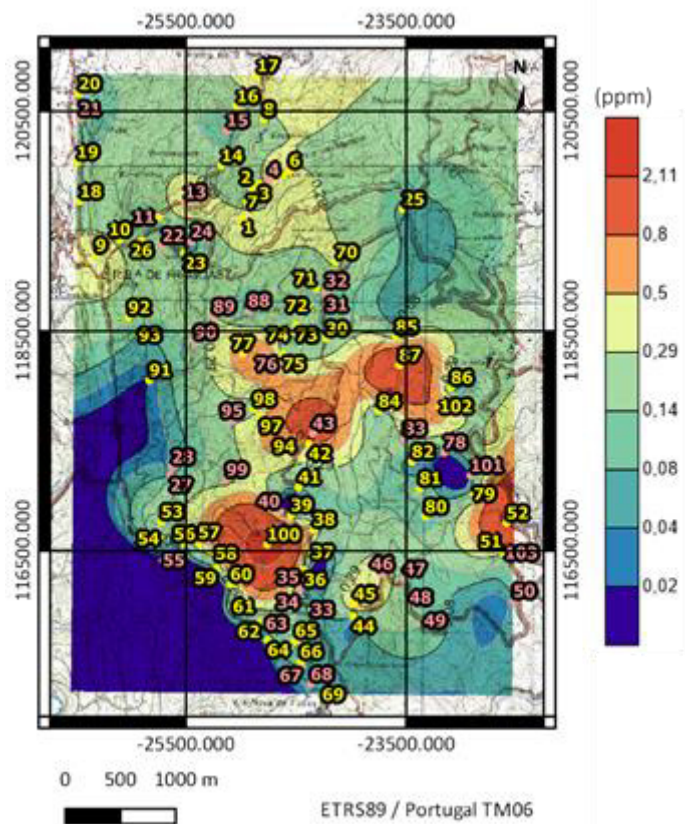
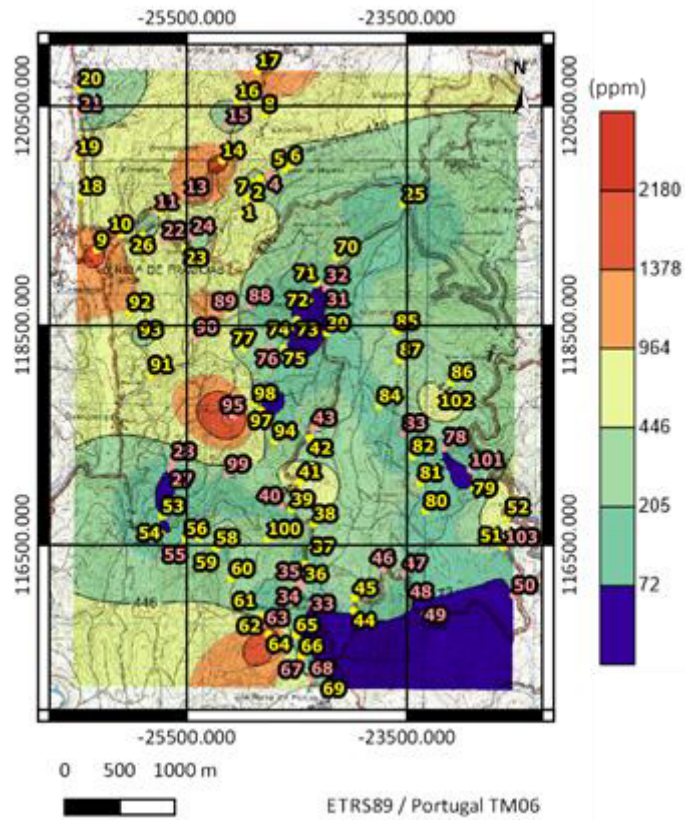


Figura 4.28 - Mapa de teores de Ca e Cd tendo em consideração os dois clusters.

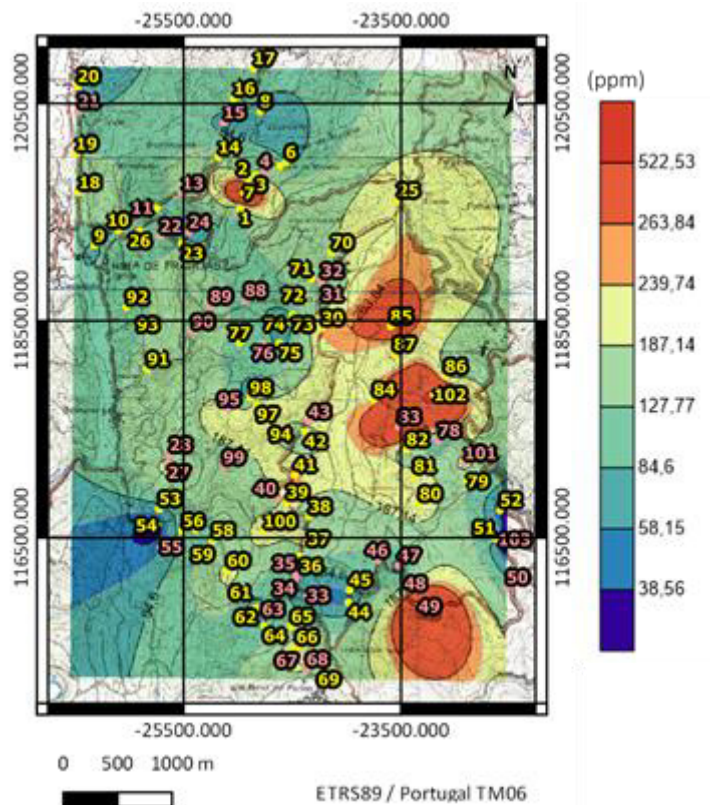
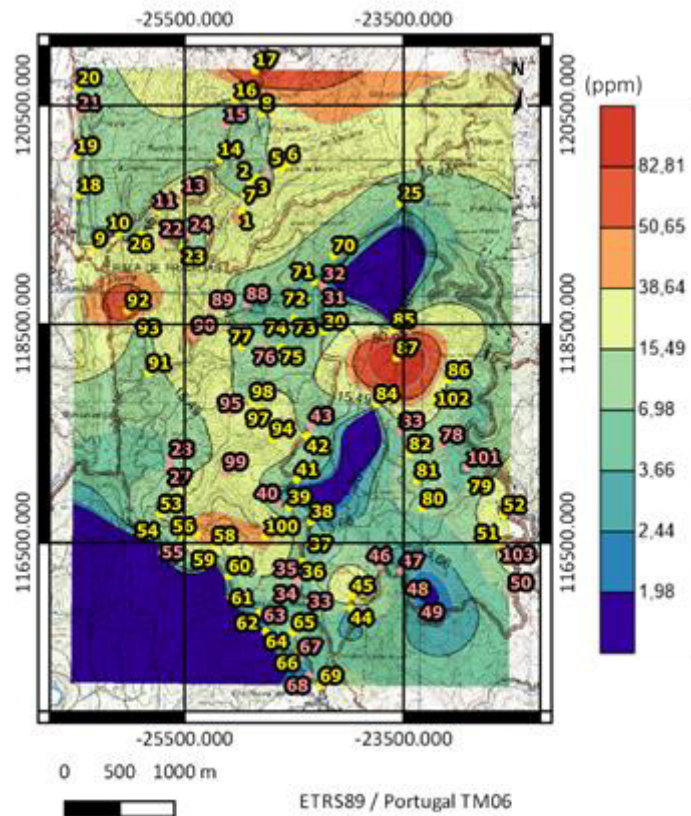


Figura 4.29 - Mapa de teores de Co e Cr tendo em consideração os dois clusters.



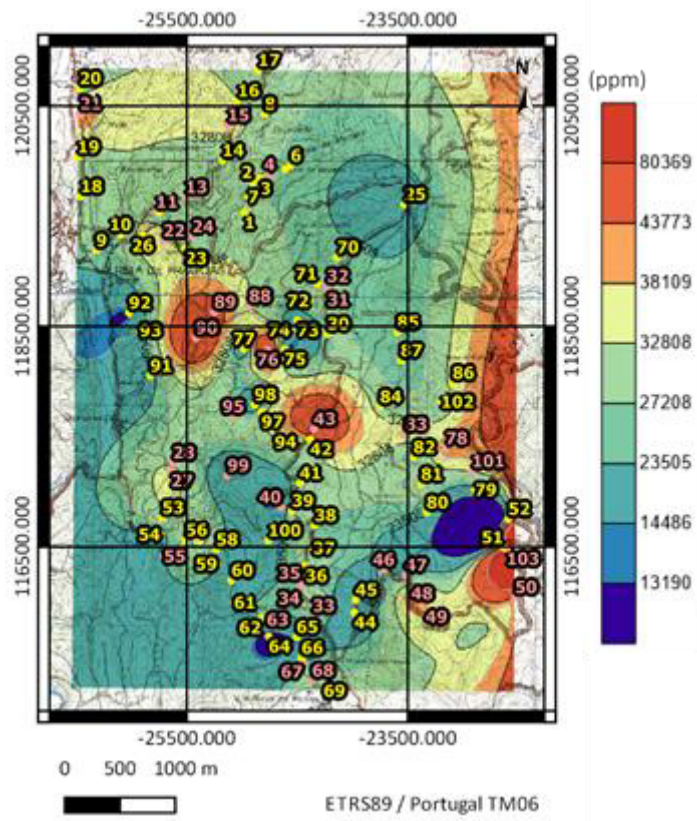
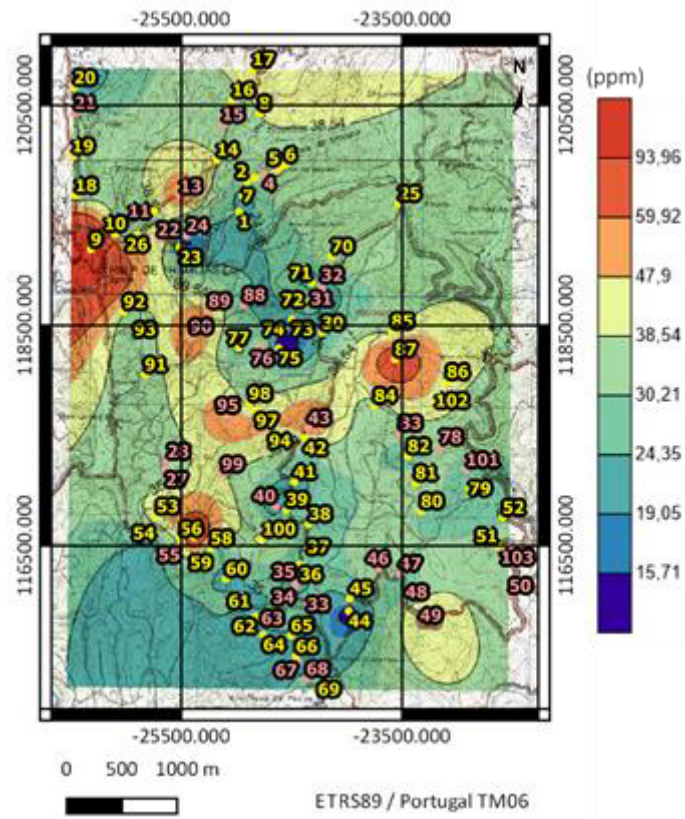


Figura 4.30 - Mapa de teores de Cu e Fe tendo em consideração os dois clusters.

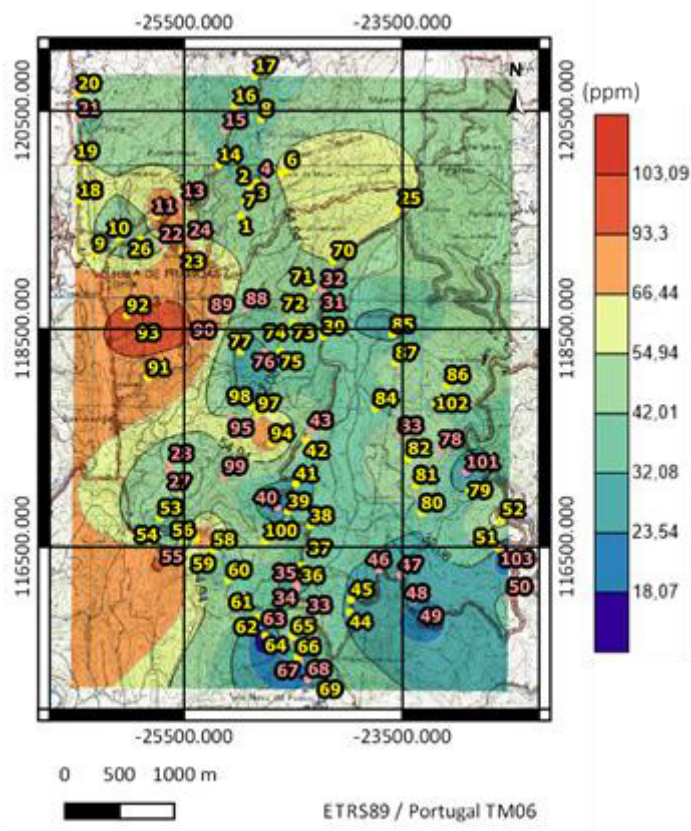
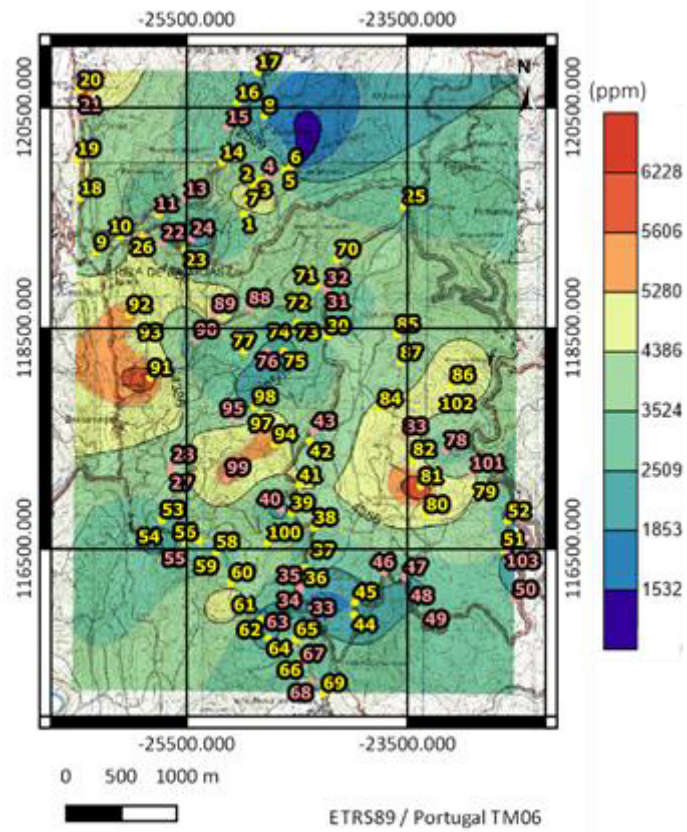


Figura 4.31 - Mapa de teores de K e Li tendo em consideração os dois clusters.

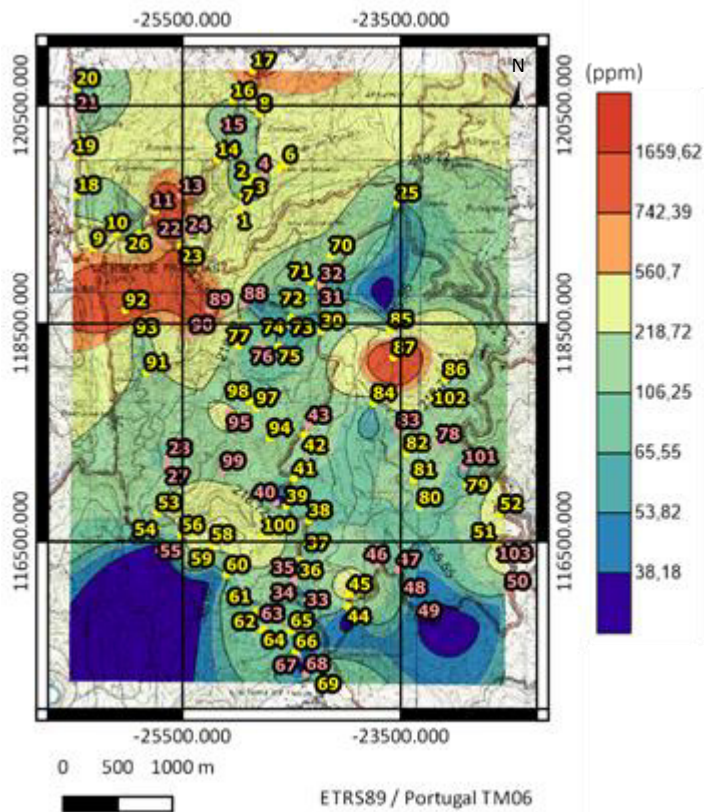
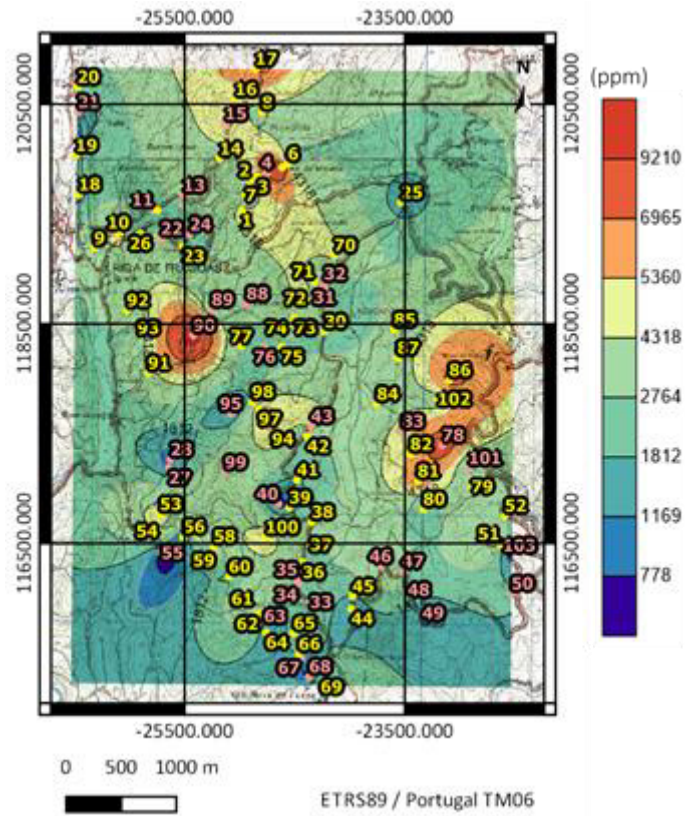


Figura 4.32 - Mapa de teores de Mg e Mn tendo em consideração os dois clusters.

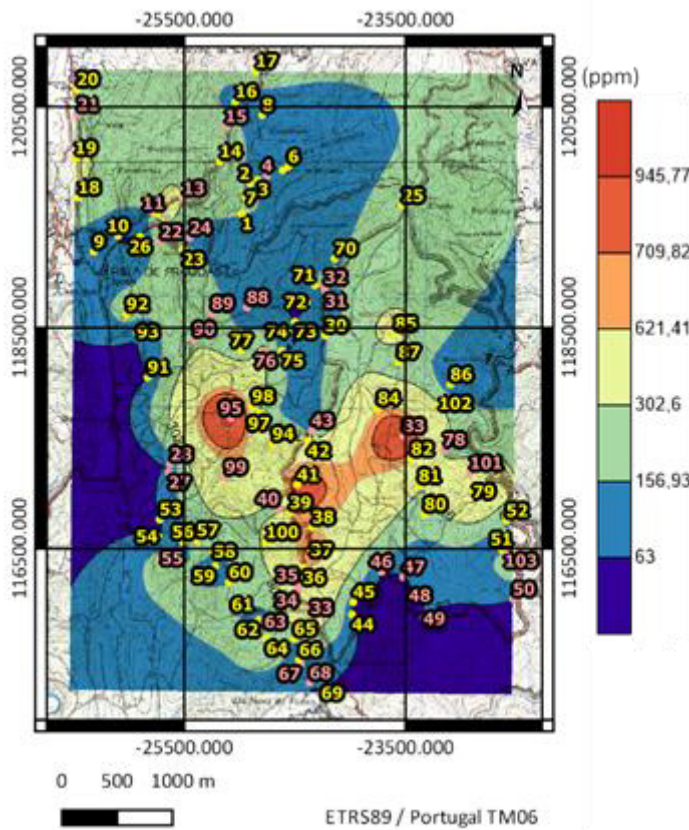
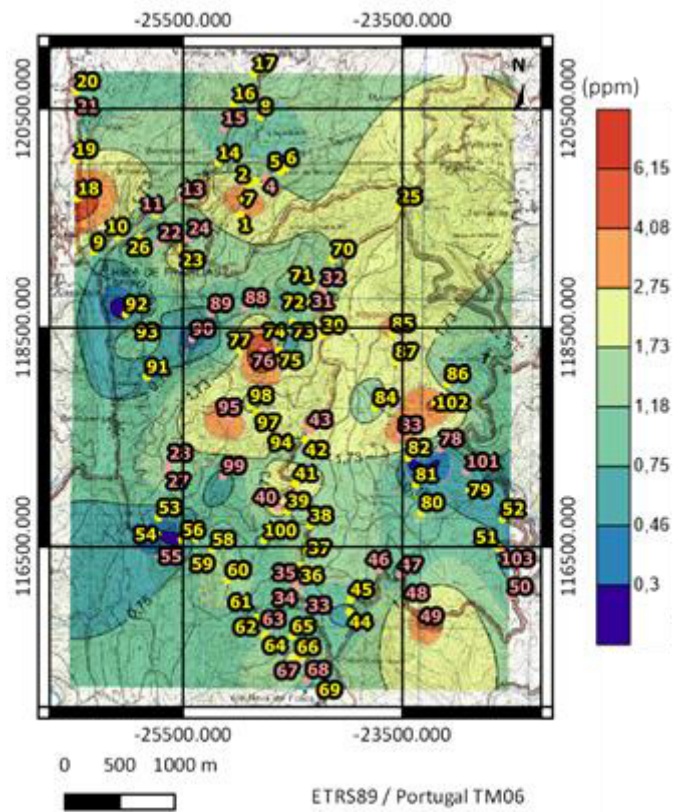


Figura 4.33 - Mapa de teores de Mo e Na tendo em consideração os dois clusters.

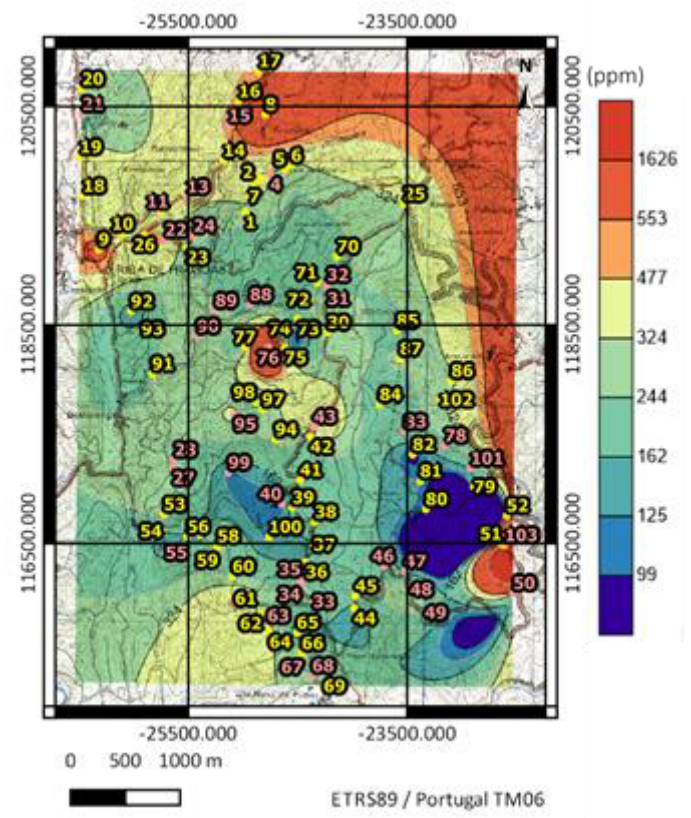
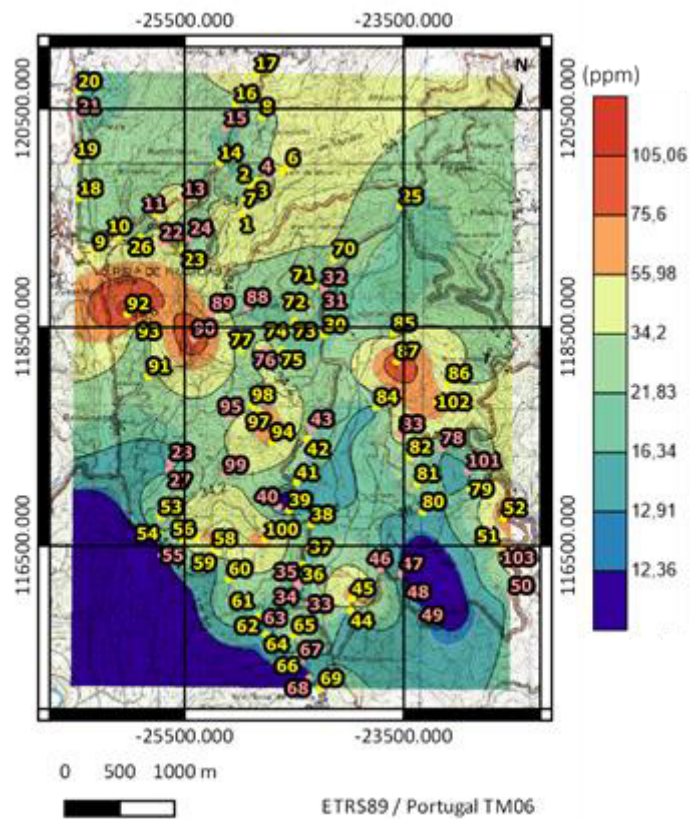


Figura 4.34 - Mapa de teores de Ni e P tendo em consideração os dois clusters.

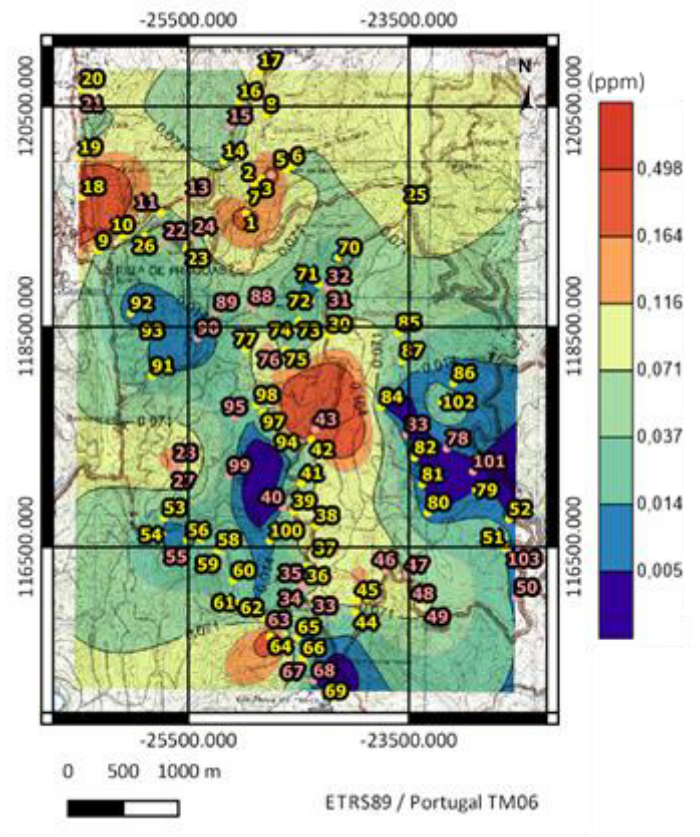
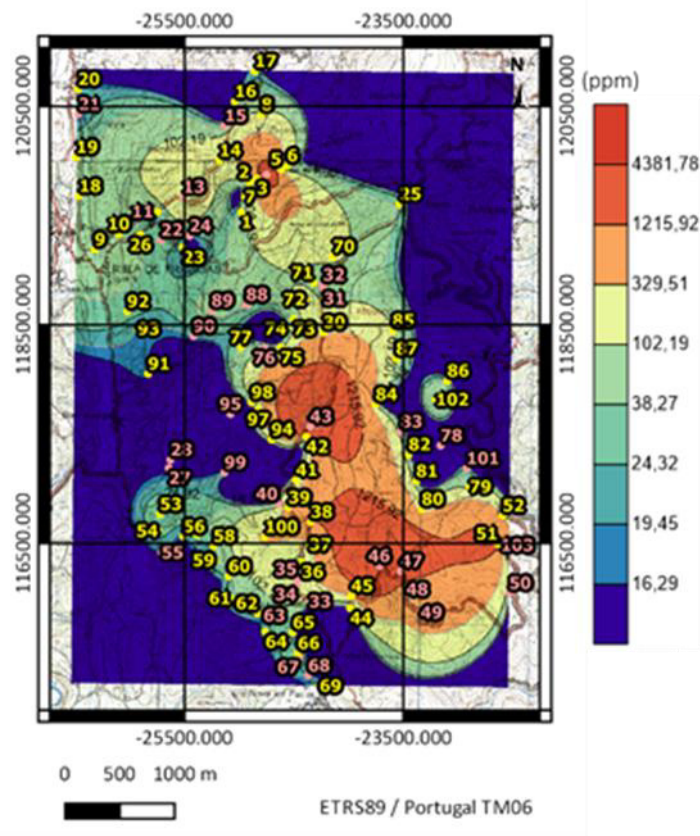


Figura 4.35 - Mapa de teores de Pb e Sb tendo em consideração os dois clusters.

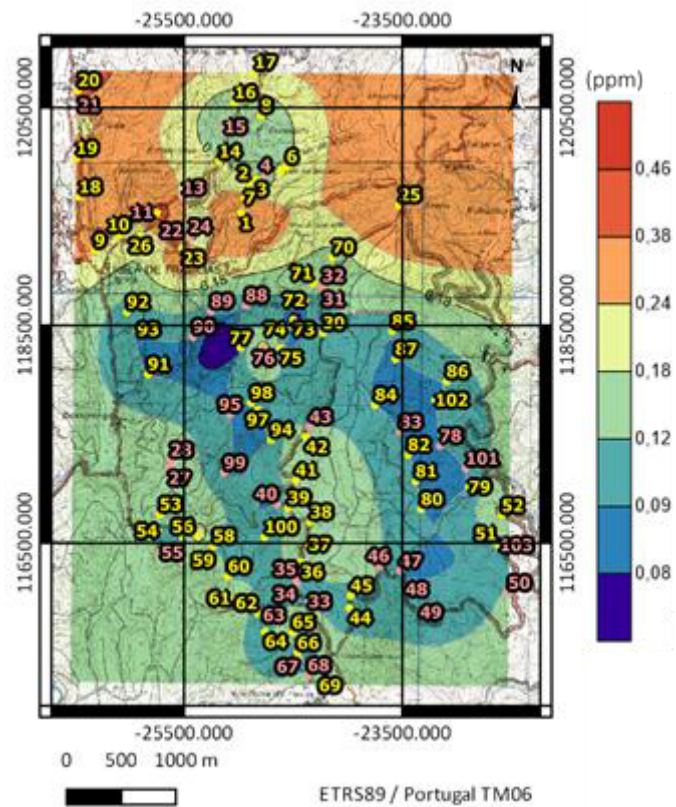
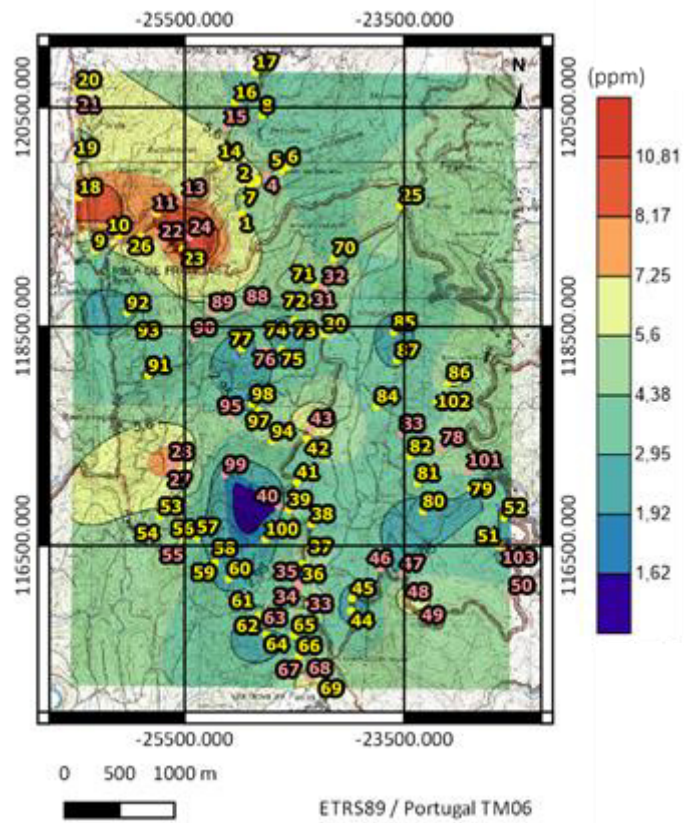


Figura 4.36 - Mapa de teores de Th e Tl tendo em consideração os dois clusters.

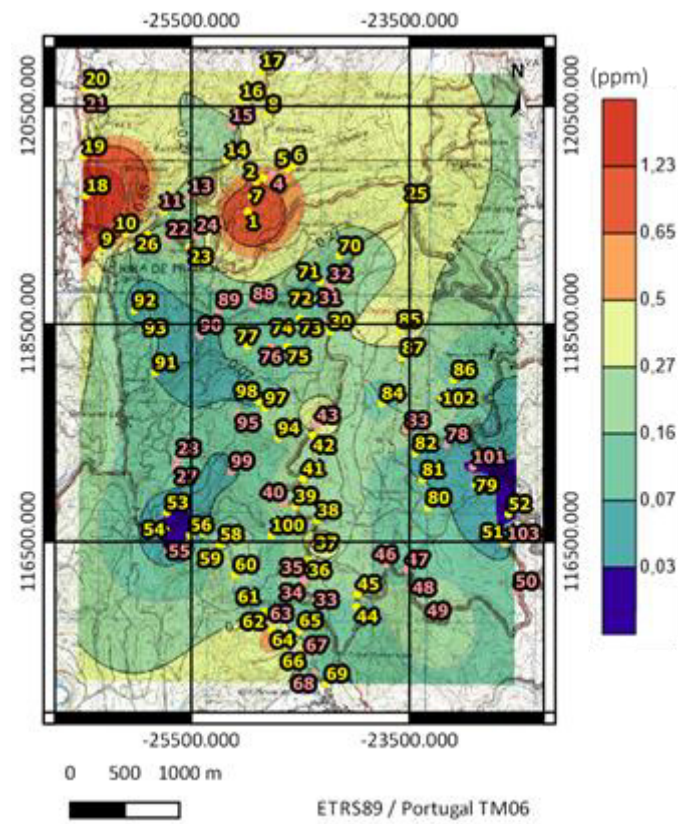
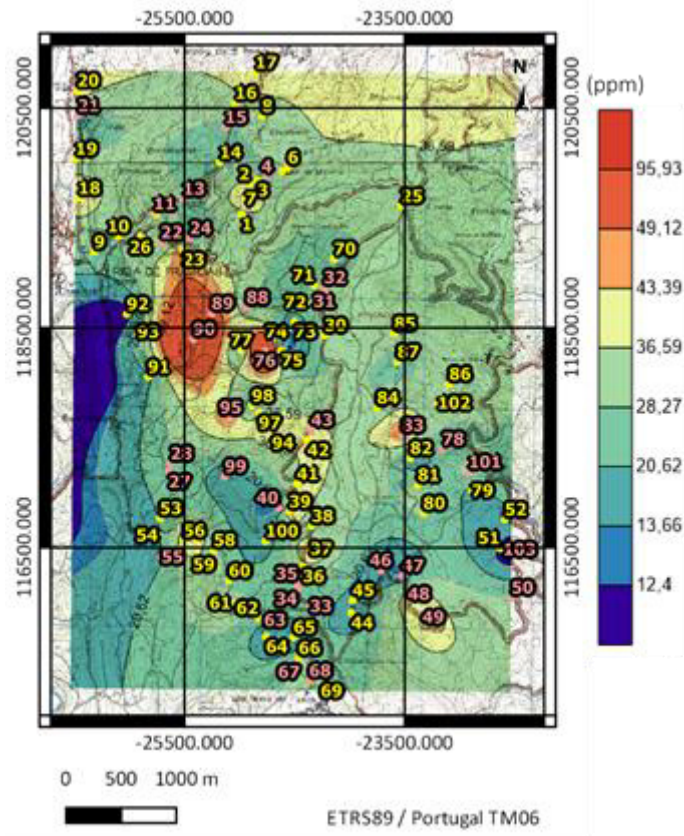


Figura 4.37 - Mapa de teores de V e W tendo em consideração os dois clusters.



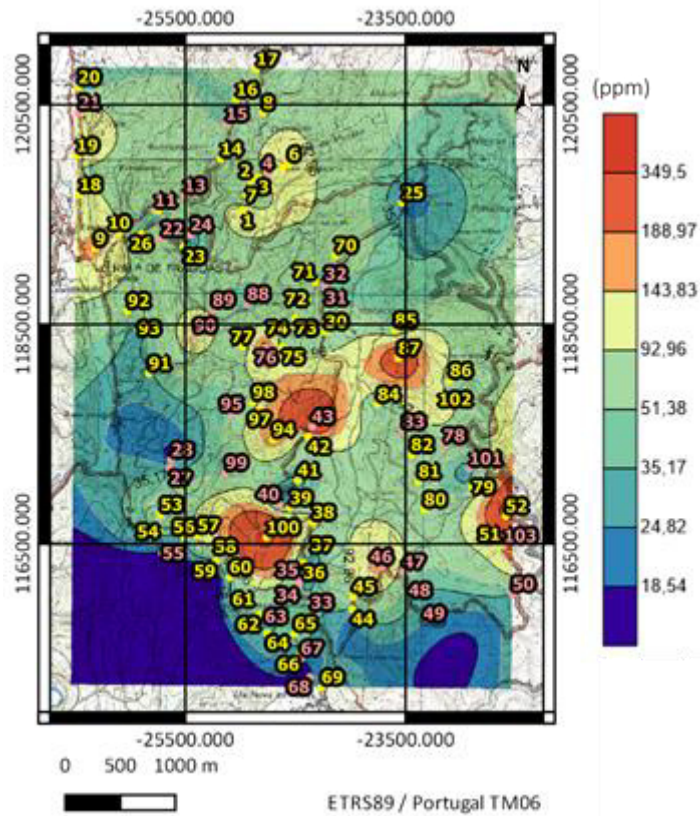


Figura 4.38 - Mapa de teores de Zn tendo em consideração os dois *clusters*.

Analisando globalmente os resultados da cartografia de teores conclui-se o seguinte:

- O grupo 1 (amarelo) poderá estar mais associado aos xistos, uma vez que praticamente todas as amostras associadas a este *cluster* se posicionam em contexto geológico predominantemente xistento caracterizado pela associação dos elementos (Al, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, K, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Sb, Tl, W, Zn).
- O grupo 2 (cor-de-rosa) talvez esteja relacionado com a existência de mineralização na área de estudo, visto que, os elementos químicos que prevalecem neste *cluster* são Ag, As, Bi, Fe, Na, Pb, Th, V.

#### 4.6. RELAÇÃO ENTRE A GEOQUÍMICA E A GEOFÍSICA

Neste subcapítulo apresentam-se vários mapas em que se sobrepõe o mapa da anomalia de Bouguer residual com a cartografia de alguns elementos As, Ag, Pb, Sb e W (Figuras 4.39 a 4.43), com o intuito de comprovar a existência de zonas mineralizadas na zona em estudo.

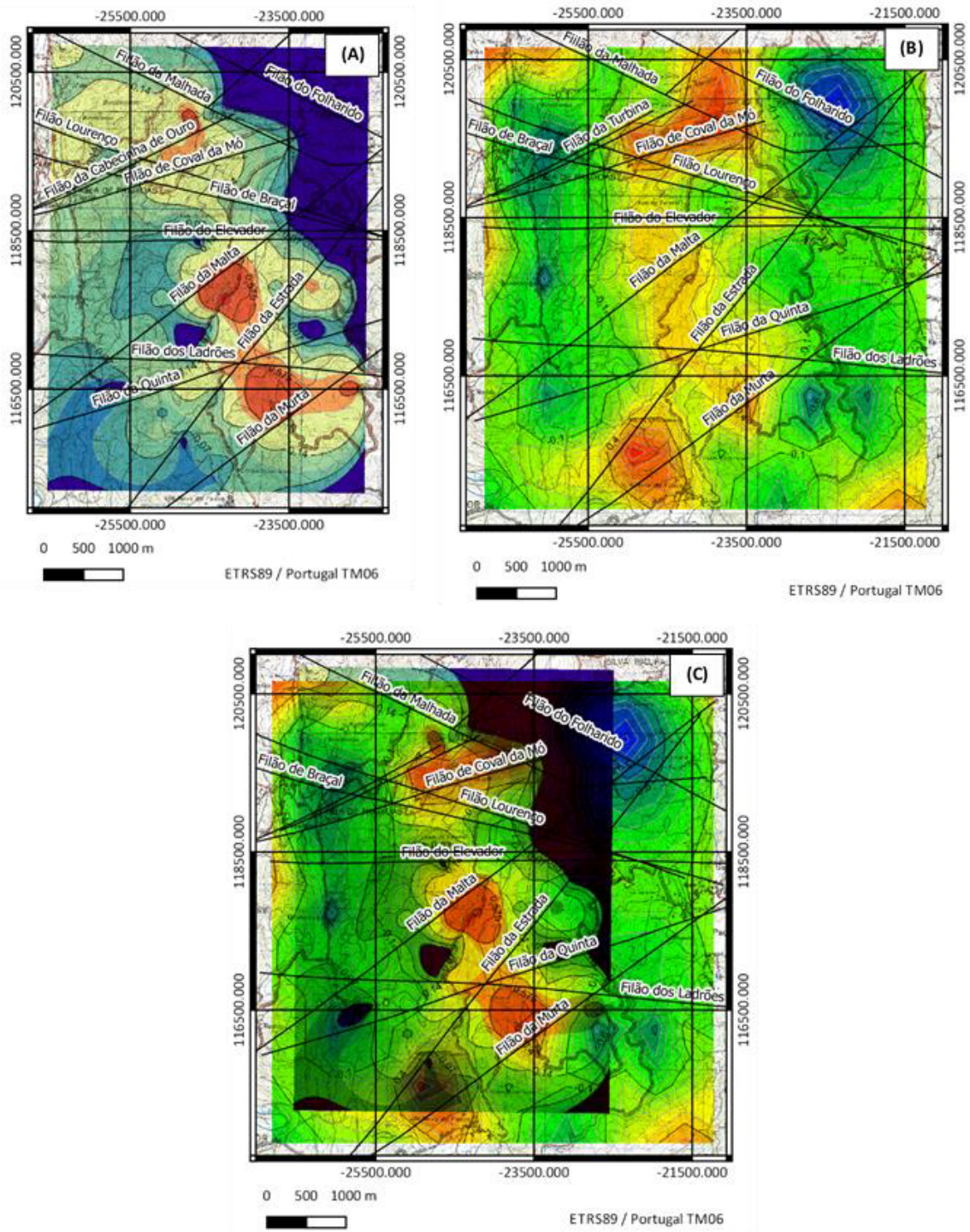


Figura 4.39 - Sobreposição do mapa de teores de Ag (A) e da carta da anomalia de Bouguer residual (B) resulta no mapa (C).

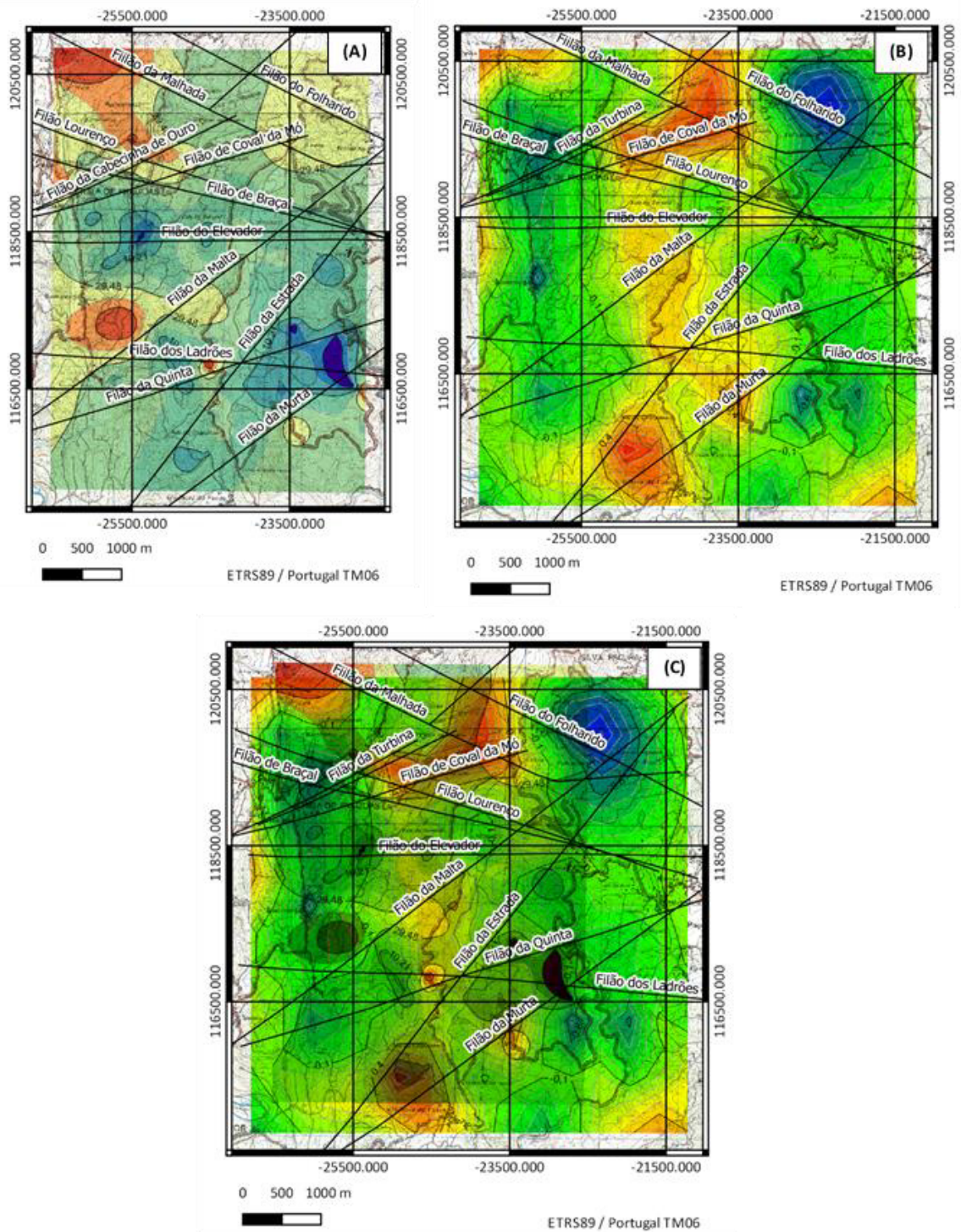


Figura 4.40 - Sobreposição do mapa de teores de As (A) e da carta da anomalia de Bouguer residual (B) resulta no mapa (C).

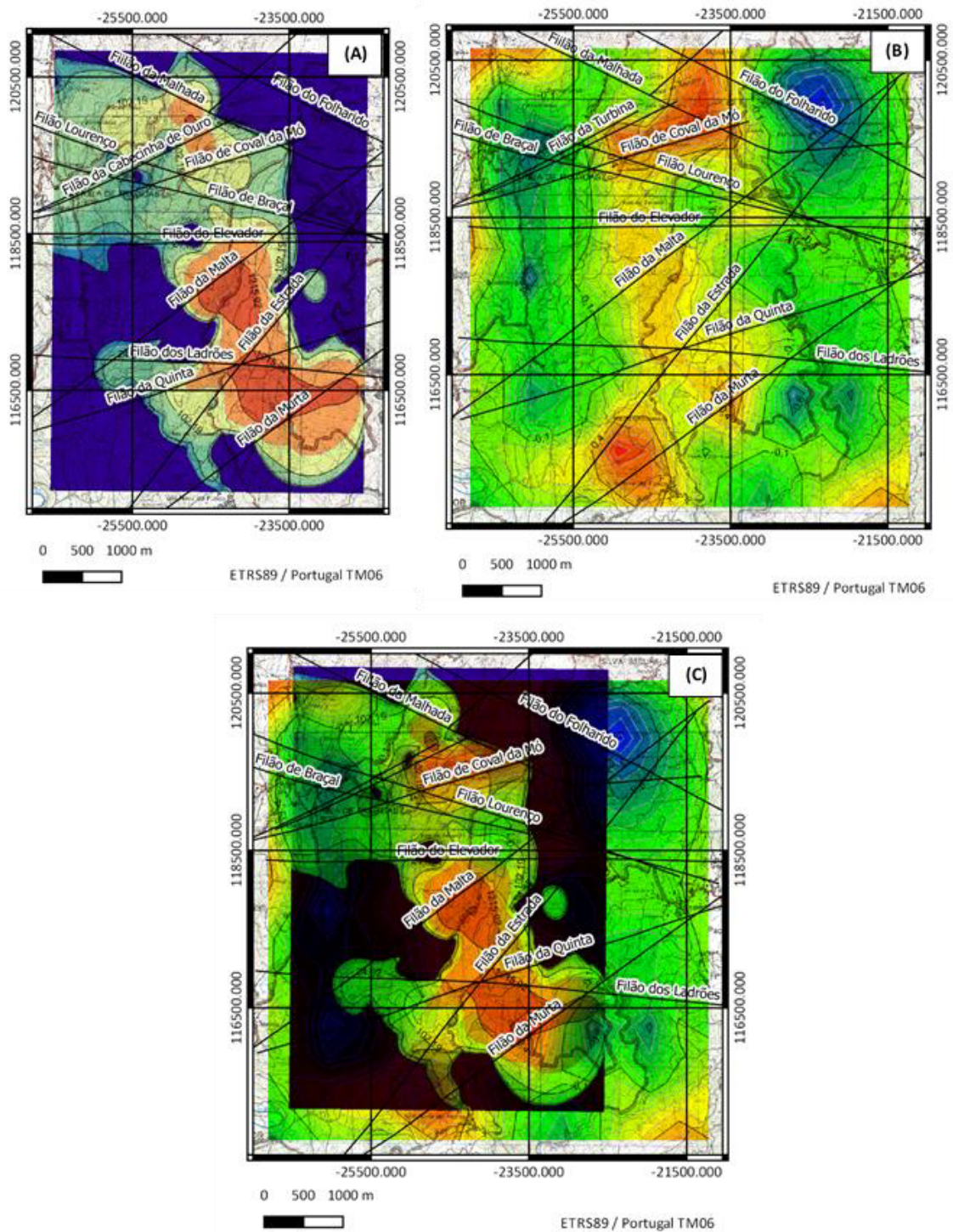


Figura 4.41 - Sobreposição do mapa de teores de Pb (A) e da carta da anomalia de Bouguer residual (B) resulta no mapa (C).

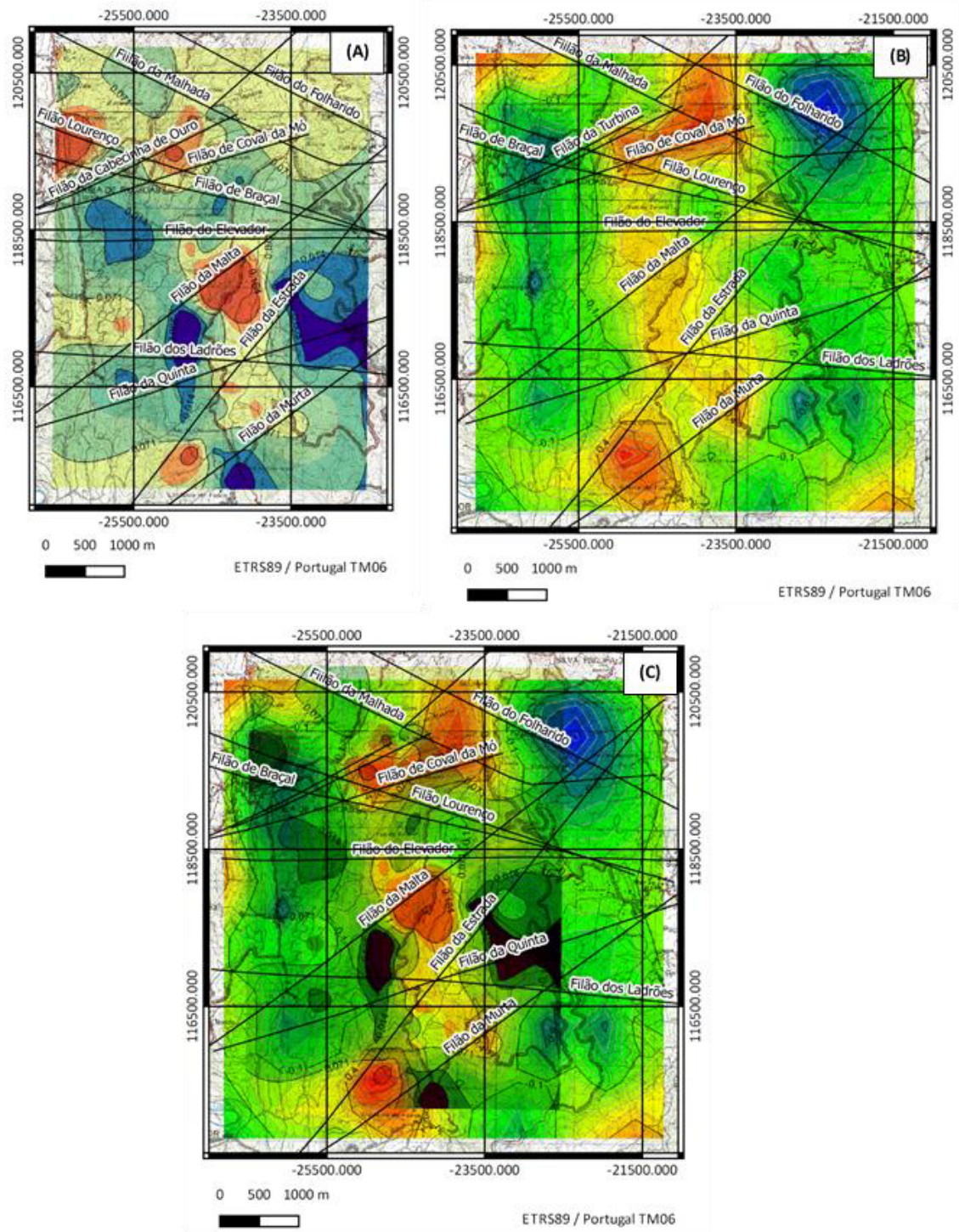


Figura 4.42 - A sobreposição do mapa de teores de Sb (A) e da carta da anomalia de Bouguer residual (B) resulta no mapa (C).

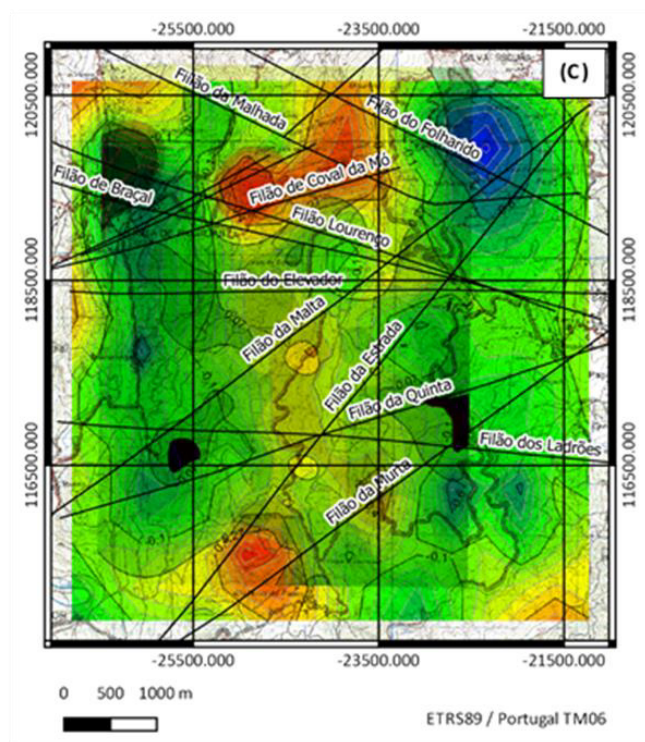
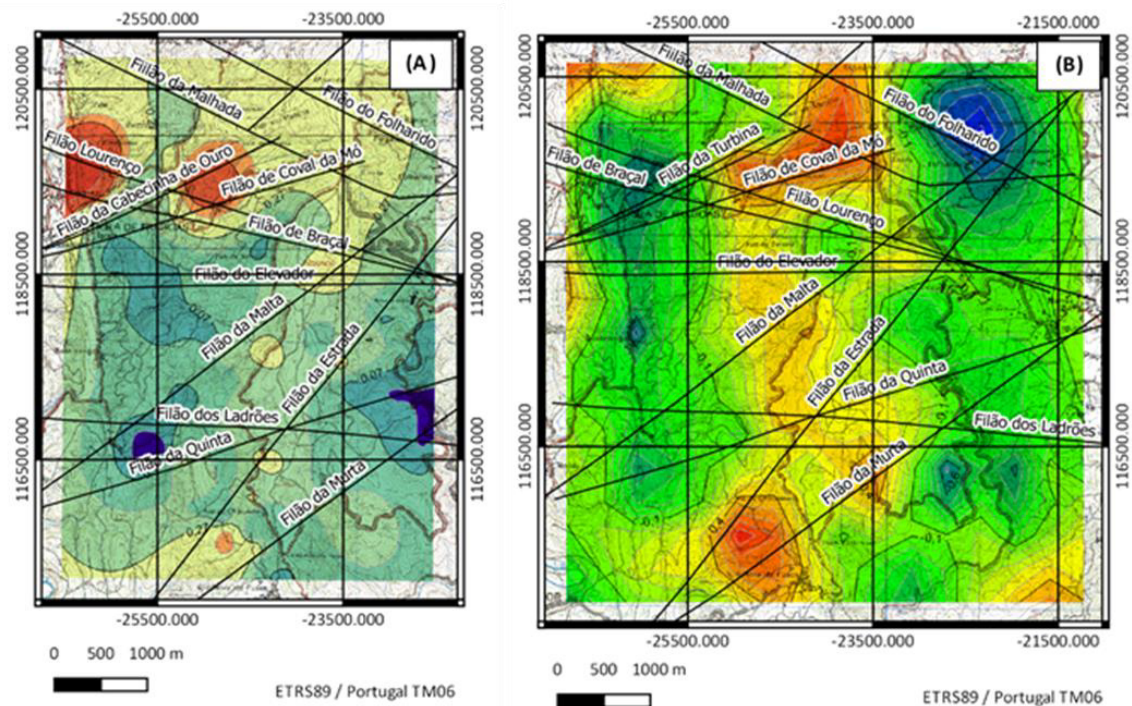


Figura 4.43 - A sobreposição do mapa de teores de W (A) e da carta da anomalia de Bouguer residual (B) resulta no mapa (C).

## CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES

O principal objetivo desta dissertação era investigar a possibilidade da continuidade de mineralização filoniana entre as minhas do Braçal e a Noroeste das mesmas (minas do Coval da Mó).

Na presente dissertação foram analisados dados de uma campanha geofísica e geoquímica. Relativamente à componente geofísica foram analisados dados correspondentes a 125 leituras realizadas em 29 ciclos. No que diz respeito à componente geoquímica foram recolhidas 101 amostras de sedimentos de corrente que foram analisadas para os seguintes elementos: Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Th, Tl, V, W e Zn.

Através da análise das cartas obtidas dos dados geofísicos corrigidos, conclui-se:

- 1) Que os valores mais baixos da anomalia de Bouguer encontram-se na parte Norte da área e os mais elevados na região Sul da área. Tal facto é comprovado com a carta da anomalia de Bouguer de Portugal Continental, isto é, os valores mais baixos encontram-se a Norte e os mais elevados a Sul.
- 2) Que a carta da anomalia de Bouguer regional ainda reflete o comportamento da anomalia de Bouguer de Portugal Continental, tal como era previsto (valores mais elevados a Sul e mais baixos a Norte).
- 3) Com a carta da anomalia de Bouguer residual é possível verificar a existência e evidenciar a presença de zonas anómalas, como é o caso das duas zonas de anomalia negativa em cada lado da região de estudo (uma no lado Oeste e outra no lado Este), e o caso da região anómala positiva no centro da área de estudo. A anomalia negativa do lado Oeste poderá estar relacionada com a tectónica existente do local, mais concretamente com a existência da Faixa de Cisalhamento de Porto-Tomar. A anomalia negativa do lado Este está, provavelmente, associada à existência de granitos e gnaisses nos arredores da região. A zona anómala positiva está relacionada com a presença de filões mineralizados no local (mais a Norte com o filão de Coval da Mó e a Sul com o filão da Murta).

No estudo de prospeção geoquímica realizaram-se a análise de classificação hierárquica ascendente do conjunto de dados e da qual resultaram três *clusters*:

- Grupo 1: P, Fe, Zn, Cd, Cu, Ca, Ni, Co, Mn, Be.
- Grupo 2: Na, Mo, Cr, Li, K, Ba, Mg, V, Al.
- Grupo 3: Sb, W, Bi, Tl, Th, As, Pb, Ag.

Os resultados obtidos através da análise multivariada refletem assinaturas geoquímicas distintas: o primeiro e o segundo grupo indicam claramente a influência do contexto geológico local com o primeiro grupo associado a existência de xistos e o grupo 2 mais rico em potássio associado aos granitos que ocorrem na zona mais a Este. O terceiro grupo está claramente associado à mineralização marcadamente associada à presença de filões ricos em galena argentífera. A mesma análise em Modo Q permitiu agrupar as amostras em dois grandes grupos:

- Grupo 1 constituído pelas amostras: 101, 42, 77, 22, 88, 39, 28, 75, 27, 21, 94, 99, 54, 66, 67, 31, 30, 49, 62, 24, 89, 15, 82, 13, 48, 34, 87, 33, 47, 32, 11, 46, 45, 4, 97.
- Grupo 2 constituído pelas amostras: 64, 91, 76, 60, 59, 7, 98, 5, 74, 73, 72, 78, 69, 3, 2, 55, 38, 41, 36, 68, 16, 79, 35, 29, 23, 86, 14, 9, 25, 40, 19, 56, 65, 43, 18, 12, 96, 44, 37, 20, 53, 52, 6, 63, 50, 90, 93, 81, 70, 10, 92, 100, 84, 83, 95, 85, 80, 17, 61, 8, 71, 51, 1.

Analisando em pormenor estes dois *clusters* concluiu-se que o grupo 1 está associado à influência do contexto geológico local (xistos e granitos - litologia predominante da região) na assinatura geoquímica das amostras em estudo enquanto o grupo 2 evidencia amostras que podem estar associadas ou sob influência de filões mineralizados.

Por fim, realizaram-se mapas de sobreposição da carta da anomalia de Bouguer residual com a cartografia espacial dos elementos As, Ag, Pb, Sb, W. A análise dos mapas resultantes, permite concluir que os dados geofísicos e geoquímicos definem zonas anómalas localizadas entre as minas do Braçal e a Sudoeste das minas do Coval da Mó e que podem refletir a presença de massas mineralizadas em profundidade e também a influência antropogénica das atividades mineiras que se desenvolveram no passado. Os resultados apontam que existe continuidade de mineralização filoniana entre as minas do Braçal e a Noroeste das mesmas (minas do Coval da Mó) e, que essa continuidade se prolonga mais para Sudoeste das minas do Coval da Mó.

Futuramente, seria importante dar continuidade ao estudo alargando as campanhas de geofísica e de geoquímica mais para a zona Norte da área de estudo para se avaliar se existe continuidade da mineralização para Norte ou se pelo contrário se restringe à zona já identificada neste trabalho.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, Fernando (1993). Técnicas tripotenciais e efeitos de orientação em polarização induzida. Universidade de Aveiro.
- BRUN, Jean-Pierre, BURG, Jean-Pierre (1982). Combined thrusting and wrenching in the Ibero-Armorican arc: a corner effect during continental collision. Amsterdam, Printed in the Netherlands, Elsevier Scientific Publishing, Earth and Planetary Science, p.319-332.
- BURG, J. P., IGLESIAS, M., LAURENT, Ph. Matte, RIBEIRO, A. (1981). Variscan intracontinental deformation: the Coimbra-Cordoba shear zone (SW Iberian Peninsula). Amsterdam, Printed in the Netherlands, Elsevier Scientific Publishing Company, Tectonophysics, p.161-177.
- CHAMINÉ, H. I., GOMES, A., TEIXEIRA, J., FONSECA, P. e., PINTO DE JESUS, A., GAMA PEREIRA, L. C., SOARES DE ANDRADE, A. A., FERNANDES, J. P., MOÇO, L. P., FLORES, D., ARAÚJO, M. A., ROCHA, F. T. (2004). Geologia, geomorfologia e estratigrafia dos domínios estruturais de Carvoeiro-Caldas de S. Jorge e de Soutelo-Arrancada do Vouga (faixa de cisalhamento de Porto-Coimbra-Tomar, NW de Portugal): implicações tectonoestratigráficas. Vol. 29, Corunha, Caderno Lab. Xeolóxico de Laxe, p.299-330.
- CHAMINÉ, H. I., GAMA PEREIRA, L. C., FONSECA, P. E., NORONHA, F., LEMOS DE SOUSA, M. J. (2003). Tectonoestratigrafia da faixa de cisalhamento de Porto-Albergaria-a-Velha-Coimbra-Tomar, entre as Zonas Centro- Ibérica e de Ossa-Morena (Maciço Ibérico, W de Portugal). Vol. 28, Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe, Coruña, p.37-78.
- CHAMINÉ, H. I., (2000). Estratigrafia e Estrutura da Faixa Metamórfica de Espinho-Albergaria-a-Velha (Zona de Ossa-Morena): Implicações Geodinâmicas. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Departamento de Geologia.
- CHAMINÉ, H. I., FONSECA, P. E., ROCHA, F. T., MOÇO, L. P., FERNANDES, L.C., GAMA PEREIRA, GOMES, C., LEMOS DE SOUSA, M. J., RIBEIRO, A. (2000). Unidade de Albergaria-a-Velha (Faixa de Cisalhamento Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo): principais resultados de um estudo geológico pluridisciplinar. Vol. 14, Geociências, Rev. Univ. Aveiro.
- CHAMINÉ, H. I., FONSECA, P. E., PEREIRA, E., RIBEIRO, A. (1996a). Estruturas desenvolvidas em ortognaisses da Unidade de Lourosa induzidas pelo carreamento de S. João-de-Ver. Aspectos da deformação no autóctone (Sector Espinho-Albergaria, Zona de Ossa Morena). *In*: 2ª Conferência Anual do Grupo de Geologia Estrutural e Tectónica, Resumos alargados, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, p.45-48.
- CHAMINÉ, H. I., PEREIRA, E., FONSECA, P. E., RIBEIRO, A. (1996b). Aspectos da deformação da unidade de autóctone de S. João-de-Ver (Sector Espinho-Albergaria-a-Velha, Zona de Ossa-Morena). *In*: 2ª Conferência Anual e 3º Encontro de Campo do Grupo de Geologia Estrutural e Tectónica, Resumos alargados, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, p.3-6.
- CHAMINÉ, H. I., RIBEIRO, A., PEREIRA, E. (1995). Cartografia geológica e estratigrafia da faixa de cisalhamento precâmbrica do sector Espinho-Albergaria-a-Velha (Zona de Ossa-Morena). *In*: Sodrê Borges, F., Marques, M., coords, Mem. Mus. Lab. Min. Geol. Fac. Ciênc. Univ. Porto, p.329-333.
- DALLMEYER, R., MARTÍNEZ GARCIA, E. (1990). Introduction to the Pre-Mesozoic Geology of Iberia. In Pre-Mesozoic Geology of Iberia (R. D. Dallmeyer e E. Martínez Garcia eds.), Springer – Verlag.
- DAVIES, J. C. (1986). Statics and data analysis in geology. New York, 2<sup>nd</sup> Ed..
- DENTITH, Michael, MUDGE, Stephen (2014). Geophysic for the Mineral Exploration Geoscientist. Cambridge University Press.

- DIAS, R., RIBEIRO, A. (1995). The Ibero-Armorican Arc: A collision effect against an irregular continent?. Elsevier, Tectonophysics, p.113-128.
- DÍEZ BALDA, M. A., VEGAS, R., GONZALEZ LODEIRO, F. (1990). Structure of Autochthonous Sequences of the Central-Iberian Zone. *In: Pre-Mesozoic Geology of Iberia* (Dallmeyer, R. D. and Martínez Garcia, E. eds), Springer-Verlag, Berlin, p.172-188.
- FARIAS, P., GALLASTEGUI, G., GONZÁLEZ LODEIRO, F., MARQUÍNEZ, J., MARTIN PARRA, L., MARTÍNEZ CATALÁN, J., PAOLO MACIA, J., RODRIGUEZ FERNANDEZ, L. (1987). Aportaciones al conocimiento de la litoestratigrafía y estructura de Galiza Central. *Memórias Fac. Ciênc. Univ. Porto*.
- FERREIRA, A. M. P. J. (2000). Dados geoquímicos e base de sedimentos fluviais de amostragem de baixa densidade de Portugal Continental: Estudo de factores de variação. Universidade de Aveiro, Departamento de Geociências.
- FERREIRA, M. M. S. I., (2004). Dados geoquímicos de base de solos de Portugal Continental, utilizando amostragem de baixa densidade. Universidade de Aveiro, Departamento de Geociências.
- FETT, John (1990). Instruction Manual: Model GeD Metre.
- FIGUEIREDO, Fernando (2001). Gravimetria aplicada à organização geométrica da cobertura Mesoceno-zóica (Baixo Vouga). Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra.
- FILHO, D.O.T. (2010). Catálogo de Experimentos do Laboratório Integrado de Física Geral. Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Física.
- GOMES, A. A. T. (2008). Evolução Geomorfológica da Plataforma Litoral entre Espinho e Águeda. Faculdade de Letras da Universidade do Porto.
- Gonçalves, L. S., (1984). Excursão geológica na região de Albergaria-a-Velha – Oliveira de Azeméis. Universidade de Aveiro.
- HESPANHA, J. P. (1987). Prospeção Magnética – Zona de Braçal/Rio Mau: Relatório de estágio de geofísica. Universidade de Aveiro.
- ISAAKS, Edward H., SRIVASTAVA, Mohan R. (1989). An Introduction to Applied Geoestatistic. Oxford University Press, New York.
- JULIVERT, M., FONTBOTÉ, J., RIBEIRO, A., CONDE, L. (1974). Memoria explicativa del Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares. Instituto Geológico y Minero de España.
- LANDIM, P. M. B., (2000). Introdução aos métodos de estimação espacial para a confecção de mapas. UNESP Departamento de Geologia Aplicada, Laboratório de Geomatématica.
- LOTZE, F. (1945). Zur Gliederung der Varisziden der Iberischen Meseta. *Geotektonische Forschungen*, 6, 78-92 (tradução para castelhano de J. M. Rios).
- LOURENÇO, J. M. (2006). Contribuição para o conhecimento do modelo geológico-estrutural da Bacia de Telões por métodos geofísicos integrados. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Departamento de Geologia, Vila Real.
- LOWRIE, William (2007). *Fundamentals of Geophysics*. 2<sup>nd</sup> Ed., Cambridge University Press.
- MILSOM, John (2003). *Field Geophysics – The Geological Field Guide Series*. Wiley, 3th Ed..
- NORONHA, F., RAMOS, J. M. F., REBELO, J. A., RIBEIRO, A., RIBEIRO, M. L. (1979). Essai de correlation des phases de déformation hercynienne dans le nordouest peninsulaire. *Boletim Da Sociedade Geológica de Portugal XXI, XXI (II-III)*, p.227-237.

- OLIVEIRA, R. J. B. (2014). Caracterização geológica, exploração e tratamento de rochas granito-migmatíticas da pedreira sacramento (Oliveira de Azeméis). Universidade de Aveiro, Departamento de Geociências.
- PARASNIS, D. S., (1997). Principles of Applied Geophysics. 5<sup>th</sup> Ed., Chapman and Hall, London.
- PEREIRA, E. *et al.*, (2006). Carta Geológica de Portugal, Folha 13-D Oliveira de Azeméis. Ministério da Economia e da Inovação, Departamento de Geologia, Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação L. P..
- PEREIRA, Eurico, GONÇALVES, L. Severo M., MOREIRA, Armando (1980). Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50 000. Notícia Explicativa da Folha 13-D. Direção Geral de Geologia e Minas – Serviços Geológicos de Portugal.
- QUESADA, C., ROBARDET, M., GABALDON, V. (1990). Stratigraphy of Ossa-Morena Zone: Synorogenic Phase (Upper Devonian-Carboniferous-Lower Permian). In R. D. Dallmeyer and E. Martínez Garcia (Eds.), Pre-Mesozoic Geology of Iberia, Springer-Verlag, p.273-279.
- REIS, Elizabeth, MELO, Paulo, ANDRADE, Rosa, CALAPEZ, Teresa (2016). Estatística Aplicada. 5ª Ed., Vol. 2, Edições Sílabo.
- REYNOLDS, John M. (1997). An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. John Wiley and Sons Ltd.
- RIBEIRO, A., ROMÃO, J., MUNHÁ, J., RODRIGUES, J., PEREIRA, E., MATEUS, A., ARAÚJO, A. (2013). Relações Tectonoestratigráficas e Fronteiras entre as Zonas Centro-Ibérica e Ossa-Morena do Terreno Ibérico e o Terreno Finisterra. Escolar Editores, *in*: R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha and J. C. Kullberg (Eds.), Geologia de Portugal, Vol. I – Geologia Pré-Mesozóica de Portugal.
- RIBEIRO, A., MUNHÁ, J., DIAS, R., MATEUS, A., PEREIRA, E., RIBEIRO, M., PEDRO, J. (2007). Geodynamic Evolution of the SW Europe Variscides. Tectonics, (6).
- RIBEIRO, A., PEREIRA, E., CHAMINÉ, H. I., RODRIGUES, J. (1995). Tectónica do megadomínio de cisalhamento entre a Zona de Ossa-Morena e a Zona Centro-Ibérica na região de Porto-Lousã. *In*: IV Congresso Nacional Geologia, Porto, p.299-303.
- RIBEIRO, A., PEREIRA, E., DIAS, R. (1990). Allochthonous Sequences – Structure in the Northwest of the Iberian Peninsula. In: Pre-Mesozoic geology of Iberia, (R. D. Dallmeyer, E. Martínez García Eds.), Berlin, Pringer-Verlag, p.220-236.
- RIBEIRO, A., PEREIRA, E., SEVERO, L. (1980). Análise de deformação da zona de cisalhamento de Porto-Tomar no transversal de Oliveira de Azeméis. Comunidade dos Serviços Geológicos de Portugal, 66, p.3-9.
- RIBEIRO, A., ANTUNES, M., T., FERREIRA, M. P., ROCHA, R. B., SOARES, A. F., ZBYSZEWSKI, G., MONTEIRO, J. H. (1979). Introduction à la géologie générale du Portugal. *In*: 26e Congr. Internat. Géol., 1980, Paris, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, p.45.
- RIMBERT, F., ERLING, J.-C., LAKSHMANAN, J., (1987). Variable density Bouguer processing of gravity data from Herault, France. First Break, 5(1), 9-13.
- SEVERO GONÇALVES, L. (1974). Geologie und petrologie des gabiets von Oliveira de Azeméis und Albergaria-a-Velha (Portugal). Freien Universität Berlin.
- SILVA, A. F. (2005). A litoestratigrafia e estrutura do Supergrupo Dúrico-Beirão (Complexo Xisto-Grauváquico), em Portugal, e a sua correlação com as correspondentes sucessões em Espanha. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10400.9/2616>.

SILVA, A., ROMÃO, J., SEQUEIRA, A., RIBEIRO, A. (1988). Geotransversal no Grupo das Beiras (Complexo Xisto-Grauváquico) entre os sinclínórios de Mação e Penha Garcia (Centro-Leste de Portugal). *In: X Reunião Geologia do Oeste Peninsular*, Bragança-Zamora.

SOUSA, B. R. P. L. (2013). As Rochas Metamórficas da Região de Sátão (Zona Centro-Ibérica). Universidade de Aveiro, Departamento de Geociências.

TELFORD, W. M., GELDART, L. P., SHERIFF, R. E. (1990). *Applied Geophysics*. 2<sup>nd</sup> Ed., Cambridge University Press.

VALLE AGUADO, B., SCHALTEGGER, M., MARTÍNEZ CATALÁN, U., NOLAN, J. (2005). U-Pb zircon and monazite geochronology of Variscan magmatism related to syn-convergence extension in Central Northern Portugal. *Lithos*, 82, p.169-184.

VALLE AGUADO, B. (1992). Geologia estructural de la Zona de Cizalla de Porto-Tomar en la región de Oliveira de Azeméis – Serra da Arada (Norte de Portugal). Universidade de Salamanca.

VIEIRA, E., KAMOGAWA, M., LEMOS, S., NÓBREGA, J., NOGUEIRA, A. (2005). Decomposição de amostras de solos assistida por radiação microondas: estratégia para evitar a formação de fluoretos insolúveis. p.547-553.

VIEIRA, S. C. M. (2014). Risco associado à exposição a teores elevados de metais na área mineira da Borralha. Universidade de Aveiro, Departamento de Geociências.

# ANEXOS



**ANEXO 1 – Tabela das leituras realizadas na campanha de geofísica, acompanhadas das coordenadas e da hora de cada leitura.**

| Ponto | Latitude     | Longitude   | Leitura Esq-Dir | Leitura Dir-Esq | Média das leituras | Horas | Data       | Notas  | Δt (h) |
|-------|--------------|-------------|-----------------|-----------------|--------------------|-------|------------|--------|--------|
| 1     | 29547914     | 4510111     | 3727,270        | 3727,240        | 3727,234           | 10:42 | 18/11/2016 | Base 1 | 02:05  |
|       |              |             | 3727,230        | 3727,195        |                    | 10:45 |            |        |        |
| 2     | 29547723     | 4510293     | 3735,745        | 3735,685        | 3735,673           | 11:04 |            |        |        |
|       |              |             | 3735,675        | 3735,585        |                    | 11:06 |            |        |        |
| 3     | 29547493     | 4510395     | 3740,840        | 3740,730        | 3740,843           | 11:21 |            |        |        |
|       |              |             | 3741,005        | 3740,795        |                    | 11:25 |            |        |        |
| 4     | 29547108     | 4510331     | 3750,505        | 3750,650        | 3750,533           | 11:54 |            |        |        |
|       |              |             | 3750,630        | 3750,345        |                    | 11:59 |            |        |        |
| 5     | 29547740     | 4510921     | 3730,240        | 3730,240        | 3730,223           | 12:18 |            |        |        |
|       |              |             | 3730,300        | 3730,110        |                    | 12:23 |            |        |        |
| 1     |              |             | 3727,260        | 3727,265        | 3727,254           | 12:44 |            |        |        |
|       |              |             | 3727,260        | 3727,230        |                    | 12:47 |            |        |        |
| 1     |              |             | 3727,220        | 3727,180        | 3727,194           | 14:04 | 18/11/2016 | Base 1 | 01:46  |
|       |              |             | 3727,225        | 3727,150        | 14:07              |       |            |        |        |
| 6     | 29547742     | 4510616     | 3721,750        | 3721,660        | 3721,710           | 14:27 |            |        |        |
|       |              |             | 3721,720        | 3721,710        |                    | 14:29 |            |        |        |
| 7     | 29549155     | 4510981     | 3710,910        | 3710,855        | 3710,884           | 14:47 |            |        |        |
|       |              |             | 3710,895        | 3710,875        |                    | 14:49 |            |        |        |
| 8     | 40°45'13,742 | 8°25'03,766 | 3707,430        | 3707,350        | 3707,380           | 15:06 |            |        |        |
|       |              |             | 3707,425        | 3707,315        |                    | 15:08 |            |        |        |
| 9     | 40°45'16,148 | 8°25'21,948 | 3732,500        | 3732,450        | 3732,479           | 15:32 |            |        |        |
|       |              |             | 3732,460        | 3732,505        |                    | 15:35 |            |        |        |
| 1     |              |             | 3727,215        | 3727,210        | 3727,219           | 15:48 | Base 1     |        |        |
|       |              |             | 3727,255        | 3727,195        |                    | 15:50 | Base 1     |        |        |
| 10    | 29548164     | 4510472     | 3728,585        | 3728,550        | 3728,566           | 16:03 |            |        |        |
|       |              |             | 3728,580        | 3728,550        |                    | 16:06 |            |        |        |
| 11    | 29548606     | 4510999     | 3730,730        | 3730,730        | 3730,725           | 16:18 | 18/11/2016 |        | 01:19  |
|       |              |             | 3730,790        | 3730,650        |                    | 16:20 |            |        |        |
| 12    | 29548356     | 4511064     | 3730,390        | 3730,335        | 3730,378           | 16:33 |            |        |        |
|       |              |             | 3730,450        | 3730,335        |                    | 16:37 |            |        |        |
| 13    | 29548356     | 4511422     | 3733,195        | 3733,160        | 3733,169           | 16:49 |            |        |        |
|       |              |             | 3733,180        | 3733,140        |                    | 16:52 |            |        |        |

|    |              |             |                      |                      |          |                |            |                    |       |
|----|--------------|-------------|----------------------|----------------------|----------|----------------|------------|--------------------|-------|
| 1  |              |             | 3727,270<br>3727,270 | 3727,240<br>3727,220 | 3727,250 | 17:03<br>17:07 |            | Base 1             |       |
| 1  |              |             | 3727,950<br>3727,925 | 3727,900<br>3727,890 | 3727,916 | 10:14<br>10:18 | 09/12/2016 | Base 1             | 02:03 |
| 14 | 40°44'00,151 | 8°26'03,700 | 3741,720<br>3741,690 | 3741,775<br>3741,760 | 3741,736 | 10:59<br>11:02 |            |                    |       |
| 15 | 40°44'01,296 | 8°26'21,014 | 3741,185<br>3741,335 | 3741,230<br>3741,060 | 3741,203 | 11:19<br>11:22 |            |                    |       |
| 16 | 40°43'41,248 | 8°26'33,002 | 3754,680<br>3754,760 | 3754,730<br>3754,540 | 3754,678 | 11:41<br>11:45 |            |                    |       |
| 17 | 40°44'20,854 | 8°26'39,582 | 3752,905<br>3753,095 | 3752,930<br>3753,100 | 3753,008 | 12:02<br>12:05 |            |                    |       |
| 1  |              |             | 3728,235<br>3728,235 | 3728,175<br>3728,135 | 3728,195 | 12:15<br>12:17 |            | Base 1             |       |
| 1  |              |             | 3728,215<br>3728,230 | 3728,175<br>3728,145 | 3728,191 | 14:11<br>14:13 |            | Base 1             |       |
| 18 | 40°44'23,035 | 8°26'24,549 | 3733,490<br>3733,570 | 3733,460<br>3733,555 | 3733,519 | 14:28<br>14:31 |            |                    |       |
| 19 | 40°44'03,650 | 8°26'37,092 | 3754,175<br>3754,110 | 3753,900<br>3753,850 | 3754,009 | 14:53<br>14:58 |            |                    |       |
| 20 | 40°43'26,325 | 8°26'37,238 | 3756,645<br>3756,610 | 3756,450<br>3756,375 | 3756,520 | 15:15<br>15:19 |            |                    |       |
| 21 | 40°43'27,586 | 8°26'47,636 | 3753,550<br>3753,720 | 3753,440<br>3753,470 | 3753,545 | 15:32<br>15:35 |            |                    |       |
| 22 | 40°43'46,944 | 8°26'52,075 | 3739,120<br>3739,190 | 3739,060<br>3739,085 | 3739,114 | 15:58<br>16:02 |            |                    |       |
| 1  |              |             | 3727,870<br>3727,810 | 3727,950<br>3727,740 | 3727,843 | 16:22<br>16:26 | Base 1     |                    |       |
| 23 | 40°43'06,698 | 8°26'25,882 | 3748,620<br>3748,615 | 3748,395<br>3748,550 | 3748,545 | 10:52<br>10:57 | 13/12/2016 | Base 2 -<br>GAVIÃO | 01:41 |
| 24 | 40°43'14,086 | 8°26'40,812 | 3742,050<br>3742,250 | 3742,030<br>3742,050 | 3742,095 | 11:13<br>11:21 |            |                    |       |
| 25 | 40°43'02,014 | 8°26'50,026 | 3741,435<br>3741,435 | 3741,200<br>3741,205 | 3741,319 | 11:30<br>11:33 |            |                    |       |
| 26 | 40°42'50,702 | 8°26'49,032 | 3746,735             | 3746,780             | 3746,668 | 11:48          |            |                    |       |



|    |              |             |          |          |          |       |            |                         |       |                 |
|----|--------------|-------------|----------|----------|----------|-------|------------|-------------------------|-------|-----------------|
|    |              |             | 3746,495 | 3746,660 |          | 11:52 |            |                         |       |                 |
| 27 | 40°42'52,262 | 8°26'35,646 | 3749,690 | 3749,630 | 3749,650 | 12:20 |            |                         |       |                 |
|    |              |             | 3749,655 | 3749,625 |          | 12:23 |            |                         |       |                 |
| 23 |              |             | 3748,350 | 3748,300 | 3748,370 | 12:28 |            | Base 2 - GAVIÃO         |       |                 |
|    |              |             | 3748,335 | 3748,495 |          | 12:33 |            |                         |       |                 |
| 23 |              |             | 3748,385 | 3748,550 | 3748,489 | 14:31 | 13/12/2016 | Base 2 - GAVIÃO         |       |                 |
|    |              |             | 3748,590 | 3748,430 |          | 14:34 |            |                         |       |                 |
| 28 |              |             | 3734,555 | 3734,600 | 3734,608 | 14:46 |            |                         |       |                 |
|    |              |             | 3734,695 | 3734,580 |          | 14:49 |            |                         |       |                 |
| 29 | 40°43'07,058 | 8°25'42,335 | 3733,995 | 3734,050 | 3734,011 | 15:22 |            |                         | 01:50 |                 |
|    |              |             | 3733,980 | 3734,020 |          | 15:26 |            |                         |       |                 |
| 30 |              |             | 3737,400 | 3737,290 | 3737,365 | 15:44 |            |                         |       |                 |
|    |              |             | 3737,400 | 3737,370 |          | 15:47 |            |                         |       |                 |
| 31 |              |             | 3726,945 | 3726,875 | 3726,895 | 16:03 |            |                         |       |                 |
|    |              |             | 3726,890 | 3726,870 |          | 16:05 |            |                         |       |                 |
| 23 |              |             | 3748,530 | 3748,415 | 3748,524 | 16:17 |            | Base 2 - GAVIÃO         |       |                 |
|    |              |             | 3748,680 | 3748,470 |          | 16:21 |            |                         |       |                 |
| 32 | 40°43'31,702 | 8°26'08,943 | 3728,028 | 3727,950 | 3727,992 | 16:33 | 13/12/2016 | 01:31                   |       |                 |
|    |              |             | 3728,015 | 3727,975 |          | 16:36 |            |                         |       |                 |
| 33 | 40°43'38,724 | 8°26'17,967 | 3738,660 | 3738,660 | 3738,560 | 17:18 |            |                         |       |                 |
|    |              |             | 3738,470 | 3738,450 |          | 17:21 |            |                         |       |                 |
| 34 | 40,72335     | -8,440215   | 3745,540 | 3745,390 | 3745,529 | 17:32 |            |                         |       |                 |
|    |              |             | 3745,620 | 3745,565 |          | 17:35 |            |                         |       |                 |
| 23 |              |             | 3748,520 | 3748,440 | 3748,475 | 17:44 |            |                         |       | Base 2 - GAVIÃO |
|    |              |             | 3748,625 | 3748,315 |          | 17:48 |            |                         |       |                 |
| 35 | 40°42'27,573 | 8°25'08,470 | 3713,780 | 3713,620 | 3713,744 | 09:37 | 15/12/2016 | Base 3 - Casa do Guarda |       |                 |
|    |              |             | 3713,815 | 3713,760 |          | 09:40 |            |                         |       |                 |
| 36 | 40°42'52,798 | 8°25'24,453 | 3711,055 | 3711,015 | 3711,021 | 10:02 |            |                         |       |                 |
|    |              |             | 3711,020 | 3710,995 |          | 10:06 |            |                         |       |                 |
| 37 | 40°42'42,340 | 8°25'46,705 | 3728,910 | 3728,850 | 3728,869 | 10:17 |            |                         | 01:57 |                 |
|    |              |             | 3728,875 | 3728,840 |          | 10:21 |            |                         |       |                 |
| 38 | 40,7105379   | -8,4321718  | 3733,540 | 3733,535 | 3733,531 | 10:53 |            |                         |       |                 |
|    |              |             | 3733,560 | 3733,490 |          | 10:56 |            |                         |       |                 |
| 39 | 40,708178    | -8,434973   | 3738,350 | 3738,280 | 3738,431 | 11:12 |            |                         |       |                 |
|    |              |             | 3738,345 | 3738,750 |          | 11:16 |            |                         |       |                 |

|    |              |             |          |          |          |       |            |               |       |  |
|----|--------------|-------------|----------|----------|----------|-------|------------|---------------|-------|--|
| 35 |              |             | 3713,770 | 3713,680 | 3713,746 | 11:31 | 15/12/2016 | Base 3 - Casa | 01:58 |  |
|    |              |             | 3713,760 | 3713,775 |          | 11:34 |            | do Guarda     |       |  |
| 40 | 40,718871    | -8,423182   | 3720,510 | 3720,415 | 3720,460 | 11:50 |            |               |       |  |
|    |              |             | 3720,510 | 3720,405 |          | 11:54 |            |               |       |  |
| 41 | 40,722878    | -8,42487    | 3720,475 | 3720,390 | 3720,470 | 12:06 |            |               |       |  |
|    |              |             | 3720,465 | 3720,550 |          | 12:10 |            |               |       |  |
| 42 | 40,72809     | -8,420342   | 3708,295 | 3708,325 | 3708,326 | 12:28 |            |               |       |  |
|    |              |             | 3708,395 | 3708,290 |          | 12:32 |            |               |       |  |
| 43 | 40,718517    | -8,417383   | 3700,300 | 3700,310 | 3700,320 | 12:56 |            |               |       |  |
|    |              |             | 3700,390 | 3700,280 |          | 13:00 |            |               |       |  |
| 44 | 40,714343    | -8,420282   | 3699,400 | 3699,295 | 3699,345 | 13:12 |            |               |       |  |
|    |              |             | 3699,385 | 3699,300 |          | 13:15 |            |               |       |  |
| 35 |              |             | 3713,905 | 3713,750 | 3713,773 | 13:25 |            | Base 3 - Casa |       |  |
|    |              |             | 3713,765 | 3713,670 |          | 13:29 |            | do Guarda     |       |  |
| 45 | 40,736003    | -8,417163   | 3678,530 | 3678,460 | 3678,536 | 14:23 | 15/12/2016 | Base 4 -      | 01:53 |  |
|    |              |             | 3678,600 | 3678,555 |          | 14:26 |            | Redondo       |       |  |
| 46 | 40,738697    | -8,41847    | 3687,375 | 3687,475 | 3687,503 | 14:39 |            |               |       |  |
|    |              |             | 3687,325 | 3687,835 |          | 14:44 |            |               |       |  |
| 47 | 40,740512    | -8,414722   | 3682,085 | 3682,035 | 3682,020 | 15:01 |            |               |       |  |
|    |              |             | 3682,075 | 3681,885 |          | 15:04 |            |               |       |  |
| 48 | 40,743803    | -8,41176    | 3695,415 | 3695,385 | 3695,393 | 15:17 |            |               |       |  |
|    |              |             | 3695,415 | 3695,355 |          | 15:22 |            |               |       |  |
| 49 | 40,738453    | -8,424373   | 3719,150 | 3719,015 | 3719,031 | 15:47 |            |               |       |  |
|    |              |             | 3718,965 | 3718,995 |          | 15:50 |            |               |       |  |
| 45 |              |             | 3678,600 | 3678,515 | 3678,474 | 16:12 |            | Base 4 -      |       |  |
|    |              |             | 3678,400 | 3678,380 |          | 16:16 |            | Redondo (26)  |       |  |
| 45 | 40°44'09,534 | 8°25'01,214 | 3678,745 | 3678,440 | 3678,526 | 10:43 | 16/12/2016 | Base 4 -      | 02:04 |  |
|    |              |             | 3678,490 | 3678,430 |          | 10:47 |            | Redondo       |       |  |
| 50 | 40°45'09,667 | 8°24'50,468 | 3693,150 | 3693,260 | 3693,210 | 11:06 |            |               |       |  |
|    |              |             | 3693,340 | 3693,090 |          | 11:11 |            |               |       |  |
| 51 | 40°44'58,981 | 8°24'44,276 | 3690,890 | 3690,865 | 3690,818 | 11:25 |            |               |       |  |
|    |              |             | 3690,885 | 3690,630 |          | 11:29 |            |               |       |  |
| 52 | 40°44'44,533 | 8°25'07,264 | 3705,070 | 3705,055 | 3705,063 | 12:05 |            |               |       |  |
|    |              |             | 3705,095 | 3705,030 |          | 12:08 |            |               |       |  |
| 53 | 40°44'40,573 | 8°25'25,655 | 3711,925 | 3711,855 | 3711,890 | 12:24 |            |               |       |  |

|    |              |             |          |          |          |       |            |                     |       |
|----|--------------|-------------|----------|----------|----------|-------|------------|---------------------|-------|
|    |              |             | 3711,920 | 3711,860 |          | 12:27 |            |                     |       |
| 45 |              |             | 3678,475 | 3678,590 | 3678,498 | 12:45 |            | Base 4 -<br>Redondo |       |
|    |              |             | 3678,450 | 3678,475 |          | 12:47 |            |                     |       |
| 45 |              |             | 3678,490 | 3678,510 | 3678,433 | 14:27 | 16/12/2016 | Base 4 -<br>Redondo | 01:58 |
|    |              |             | 3678,450 | 3678,280 |          | 14:30 |            |                     |       |
| 54 | 40°44'08,062 | 8°24'29,614 | 3703,610 | 3703,480 | 3703,816 | 14:48 |            |                     |       |
|    |              |             | 3704,640 | 3703,535 |          | 14:50 |            |                     |       |
| 55 | 40°44'08,182 | 8°24'12,106 | 3717,000 | 3716,900 | 3716,934 | 15:03 |            |                     |       |
|    |              |             | 3716,925 | 3716,910 |          | 15:12 |            |                     |       |
| 56 | 40,72991     | -8,40601    | 3733,795 | 3733,735 | 3733,759 | 15:53 |            |                     |       |
|    |              |             | 3733,770 | 3733,735 |          | 15:56 |            |                     |       |
| 45 |              |             | 3678,750 | 3678,700 | 3678,681 | 16:22 |            | Base 4 -            |       |
|    |              |             | 3678,755 | 3678,520 |          | 16:25 |            | Redondo             |       |
| 57 | 40°43'28,232 | 8°25'02,046 | 3690,020 | 3689,985 | 3689,966 | 16:39 | 16/12/2016 |                     | 01:11 |
|    |              |             | 3690,030 | 3689,830 |          | 16:44 |            |                     |       |
| 58 | 40°43'49,790 | 8°24'59,798 | 3694,000 | 3693,910 | 3693,970 | 16:57 |            |                     |       |
|    |              |             | 3694,065 | 3693,905 |          | 17:01 |            |                     |       |
| 59 | 40°44'03,295 | 8°24'49,337 | 3696,030 | 3695,970 | 3695,988 | 17:16 |            |                     |       |
|    |              |             | 3696,000 | 3695,950 |          | 17:20 |            |                     |       |
| 45 |              |             | 3678,745 | 3678,635 | 3678,648 | 17:30 |            | Base 4 -<br>Redondo |       |
|    |              |             | 3678,700 | 3678,510 |          | 17:33 |            |                     |       |
| 23 |              |             | 3748,765 | 3748,625 | 3748,715 | 09:58 | 20/12/2016 | Base 2 -<br>GAVIÃO  | 02:00 |
|    |              |             | 3748,840 | 3748,630 |          | 10:01 |            |                     |       |
| 60 | 40°42'17,111 | 8°26'40,218 | 3750,035 | 3750,150 | 3750,081 | 10:19 |            |                     |       |
|    |              |             | 3750,160 | 3749,980 |          | 10:24 |            |                     |       |
| 61 | 40°42'30,377 | 8°26'37,106 | 3747,615 | 3747,525 | 3747,533 | 10:38 |            |                     |       |
|    |              |             | 3747,595 | 3747,395 |          | 10:41 |            |                     |       |
| 62 | 40°42'30,112 | 8°26'55,211 | 3744,235 | 3744,395 | 3744,264 | 10:58 |            |                     |       |
|    |              |             | 3744,230 | 3744,195 |          | 11:02 |            |                     |       |
| 63 | 40°42'06,498 | 8°26'54,918 | 3751,260 | 3750,995 | 3751,123 | 11:19 |            |                     |       |
|    |              |             | 3751,235 | 3751,000 |          | 11:22 |            |                     |       |
| 64 | 40°42'15,684 | 8°26'21,935 | 3746,270 | 3746,040 | 3746,148 | 11:37 |            |                     |       |
|    |              |             | 3745,995 | 3746,285 |          | 11:43 |            |                     |       |
| 23 |              |             | 3748,800 | 3748,865 | 3748,850 | 11:54 |            | Base 2 -            |       |
|    |              |             | 3748,885 | 3748,850 |          | 11:58 | 20/12/2016 | GAVIÃO              | 01:12 |

|    |              |             |                      |                      |          |                |                            |                            |       |
|----|--------------|-------------|----------------------|----------------------|----------|----------------|----------------------------|----------------------------|-------|
| 65 | 40°42'48,559 | 8°26'25,941 | 3754,945<br>3755,010 | 3754,925<br>3754,915 | 3754,949 | 12:38<br>12:40 |                            |                            |       |
| 23 |              |             | 3748,785<br>3748,875 | 3748,635<br>3748,660 | 3748,739 | 13:02<br>13:06 |                            |                            |       |
| 45 |              |             | 3678,495<br>3678,805 | 3678,570<br>3678,740 | 3678,653 | 14:29<br>14:33 | 20/12/2016                 | Base 4 -<br>Redondo        | 01:40 |
| 66 | 40°44'00,872 | 8°25'29,722 | 3716,905<br>3716,960 | 3716,875<br>3716,965 | 3716,926 | 15:00<br>15:03 |                            |                            |       |
| 67 | 40,733036    | -8,43       | 3724,155<br>3724,075 | 3724,030<br>3724,035 | 3724,074 | 15:16<br>15:19 |                            |                            |       |
| 68 | 40,729922    | -8,42985    | 3723,355<br>3723,455 | 3723,440<br>3723,430 | 3723,420 | 15:36<br>15:40 |                            |                            |       |
| 69 | 40,730798    | -8,424371   | 3709,860<br>3709,970 | 3709,965<br>3709,895 | 3709,923 | 15:51<br>15:54 |                            |                            |       |
| 45 |              |             | 3678,495<br>3678,735 | 3678,530<br>3678,700 | 3678,615 | 16:06<br>16:09 |                            | Base 4 -<br>Redondo        |       |
| 35 |              |             | 3714,969<br>3714,665 | 3714,660<br>3714,625 | 3714,730 | 09:41<br>09:44 |                            | Base 3 - Casa<br>do Guarda |       |
| 70 | 40°42'13,213 | 8°25'12,124 | 3726,965<br>3726,945 | 3726,880<br>3726,925 | 3726,929 | 10:05<br>10:07 |                            |                            |       |
| 71 | 40°42'10,214 | 8°25'24,704 | 3731,530<br>3731,540 | 3731,540<br>3731,505 | 3731,529 | 10:16<br>10:20 |                            |                            |       |
| 72 | 40°42'11,298 | 8°25'44,176 | 3736,095<br>3736,160 | 3736,140<br>3736,135 | 3736,133 | 10:31<br>10:34 |                            |                            |       |
| 73 | 40°42'10,671 | 8°26'01,883 | 3745,730<br>3745,400 | 3745,410<br>3745,380 | 3745,480 | 10:49<br>10:51 |                            |                            |       |
| 74 | 40°42'24,411 | 8°26'18,466 | 3745,850<br>3745,805 | 3745,775<br>3745,780 | 3745,803 | 11:12<br>11:16 |                            |                            |       |
| 35 |              |             | 3714,530<br>3714,690 | 3714,660<br>3714,590 | 3714,618 | 11:34<br>11:36 | Base 3 - Casa<br>do Guarda |                            |       |
| 75 | 40°42'33,690 | 8°25'24,803 | 3726,740<br>3726,725 | 3726,710<br>3726,675 | 3726,713 | 11:50<br>11:53 |                            |                            |       |
| 76 | 40°42'30,768 | 8°25'37,016 | 3732,400<br>3732,430 | 3732,380<br>3732,390 | 3732,400 | 12:02<br>12:05 |                            |                            |       |
| 77 | 40°42'14,933 | 8°24'46,563 | 3726,535             | 3726,610             | 3726,581 | 12:25          |                            |                            |       |

|    |              |             |          |          |          |       |  |  |
|----|--------------|-------------|----------|----------|----------|-------|--|--|
|    |              |             | 3726,620 | 3726,560 |          | 12:28 |  |  |
| 78 | 40°42'13,188 | 8°24'30,226 | 3733,450 | 3733,480 | 3733,458 | 12:39 |  |  |
|    |              |             | 3733,530 | 3733,370 |          | 12:41 |  |  |
| 79 | 40°42'29,347 | 8°24'53,609 | 3731,830 | 3731,890 | 3731,824 | 12:57 |  |  |
|    |              |             | 3731,815 | 3731,760 |          | 13:00 |  |  |
| 80 | 40°42'29,542 | 8°24'33,030 | 3729,990 | 3730,060 | 3730,071 | 13:15 |  |  |
|    |              |             | 3730,160 | 3730,075 |          | 13:16 |  |  |
| 35 |              |             | 3714,480 | 3714,610 | 3714,596 | 13:28 |  |  |
|    |              |             | 3714,680 | 3714,615 |          | 13:31 |  |  |
| 35 |              |             | 3714,610 | 3714,690 | 3714,651 | 14:07 |  |  |
|    |              |             | 3714,670 | 3714,635 |          | 14:10 |  |  |
| 81 | 40°42'45,911 | 8°24'50,230 | 3716,750 | 3716,690 | 3716,728 | 14:21 |  |  |
|    |              |             | 3716,755 | 3716,715 |          | 14:24 |  |  |
| 82 | 40°42'49,887 | 8°24'31,292 | 3713,950 | 3713,980 | 3713,983 | 14:41 |  |  |
|    |              |             | 3714,000 | 3714,000 |          | 14:45 |  |  |
| 83 | 40°42'24,668 | 8°24'12,090 | 3729,710 | 3729,700 | 3729,685 | 14:58 |  |  |
|    |              |             | 3729,675 | 3729,655 |          | 15:01 |  |  |
| 84 | 40°42'12,922 | 8°24'15,823 | 3741,580 | 3741,610 | 3741,570 | 15:12 |  |  |
|    |              |             | 3741,625 | 3741,465 |          | 15:18 |  |  |
| 85 | 40°42'37,366 | 8°23'54,935 | 3717,570 | 3717,650 | 3717,605 | 15:37 |  |  |
|    |              |             | 3717,645 | 3717,555 |          | 15:40 |  |  |
| 35 |              |             | 3714,660 | 3714,750 | 3714,690 | 15:55 |  |  |
|    |              |             | 3714,700 | 3714,650 |          | 15:59 |  |  |
| 86 | 40°43'10,675 | 8°24'48,218 | 3700,980 | 3701,040 | 3701,050 | 16:11 |  |  |
|    |              |             | 3701,100 | 3701,080 |          | 16:14 |  |  |
| 87 | 40°43'01,652 | 8°24'31,248 | 3704,950 | 3704,880 | 3704,919 | 16:23 |  |  |
|    |              |             | 3704,955 | 3704,890 |          | 16:26 |  |  |
| 88 | 40°42'48,422 | 8°24'11,297 | 3708,200 | 3708,010 | 3708,091 | 16:35 |  |  |
|    |              |             | 3708,090 | 3708,065 |          | 16:37 |  |  |
| 35 |              |             | 3714,860 | 3714,730 | 3714,739 | 16:52 |  |  |
|    |              |             | 3714,690 | 3714,675 |          | 16:55 |  |  |
| 45 |              |             | 3679,400 | 3679,400 | 3679,349 | 10:18 |  |  |
|    |              |             | 3679,410 | 3679,185 |          | 10:22 |  |  |
| 89 | 40°44'57,673 | 8°24'29,609 | 3701,810 | 3701,740 | 3701,763 | 10:35 |  |  |
|    |              |             | 3701,770 | 3701,730 |          | 10:37 |  |  |

|     |              |             |          |          |          |       |            |                  |       |            |               |       |            |                  |       |            |                  |       |            |  |       |
|-----|--------------|-------------|----------|----------|----------|-------|------------|------------------|-------|------------|---------------|-------|------------|------------------|-------|------------|------------------|-------|------------|--|-------|
| 90  | 40°44'54,649 | 8°24'15,537 | 3713,845 | 3713,805 | 3713,828 | 10:52 | 12/01/2017 |                  | 01:40 |            |               |       |            |                  |       |            |                  |       |            |  |       |
|     |              |             | 3713,840 | 3713,820 |          | 10:54 |            |                  |       |            |               |       |            |                  |       |            |                  |       |            |  |       |
| 91  | 40°44'55,629 | 8°24'00,022 | 3723,720 | 3723,640 | 3723,681 | 11:20 |            |                  |       | 12/01/2017 |               | 01:40 |            |                  |       |            |                  |       |            |  |       |
|     |              |             | 3723,690 | 3723,675 |          | 11:23 |            |                  |       |            |               |       |            |                  |       |            |                  |       |            |  |       |
| 45  |              |             | 3679,120 | 3679,400 | 3679,216 | 12:20 |            |                  |       |            |               |       | 12/01/2017 | Base 4 - Redondo | 01:40 |            |                  |       |            |  |       |
|     |              |             | 3679,185 | 3679,160 |          | 12:23 |            |                  |       |            |               |       |            |                  |       |            |                  |       |            |  |       |
| 45  |              |             | 3679,240 | 3679,380 | 3679,300 | 13:02 |            |                  |       |            |               |       |            |                  |       | 12/01/2017 | Base 4 - Redondo | 01:40 |            |  |       |
|     |              |             | 3679,385 | 3679,195 |          | 13:06 |            |                  |       |            |               |       |            |                  |       |            |                  |       |            |  |       |
| 92  | 40°44'23,785 | 8°24'27,352 | 3701,750 | 3701,610 | 3701,686 | 13:25 |            |                  |       |            |               |       |            |                  |       |            |                  |       | 12/01/2017 |  | 01:40 |
|     |              |             | 3701,725 | 3701,660 |          | 13:28 |            |                  |       |            |               |       |            |                  |       |            |                  |       |            |  |       |
| 93  | 40°44'22,818 | 8°24'09,604 | 3728,640 | 3728,580 | 3728,604 | 14:01 | 12/01/2017 |                  | 01:40 |            |               |       |            |                  |       |            |                  |       |            |  |       |
|     |              |             | 3728,635 | 3728,560 |          | 14:04 |            |                  |       |            |               |       |            |                  |       |            |                  |       |            |  |       |
| 94  | 40°44'37,998 | 8°24'15,687 | 3715,580 | 3715,730 | 3715,661 | 14:20 |            |                  |       | 12/01/2017 |               | 01:40 |            |                  |       |            |                  |       |            |  |       |
|     |              |             | 3715,680 | 3715,655 |          | 14:21 |            |                  |       |            |               |       |            |                  |       |            |                  |       |            |  |       |
| 45  |              |             | 3679,420 | 3679,220 | 3679,270 | 14:31 |            |                  |       |            |               |       | 12/01/2017 | Base 4 - Redondo | 01:40 |            |                  |       |            |  |       |
|     |              |             | 3679,240 | 3679,200 |          | 14:42 |            |                  |       |            |               |       |            |                  |       |            |                  |       |            |  |       |
| 95  | 40°43'39,374 | 8°24'40,448 | 3703,890 | 3703,850 | 3703,876 | 15:00 |            |                  |       |            |               |       |            |                  |       | 12/01/2017 |                  | 02:24 |            |  |       |
|     |              |             | 3703,910 | 3703,855 |          | 15:03 |            |                  |       |            |               |       |            |                  |       |            |                  |       |            |  |       |
| 96  | 40°43'35,950 | 8°24'27,428 | 3718,195 | 3718,160 | 3718,165 | 15:14 |            |                  |       |            |               |       |            |                  |       |            |                  |       | 12/01/2017 |  | 02:24 |
|     |              |             | 3718,140 | 3718,165 |          | 15:17 |            |                  |       |            |               |       |            |                  |       |            |                  |       |            |  |       |
| 97  | 40°43'27,256 | 8°24'32,271 | 3718,150 | 3718,170 | 3718,161 | 15:30 | 12/01/2017 |                  | 02:24 |            |               |       |            |                  |       |            |                  |       |            |  |       |
|     |              |             | 3718,165 | 3718,160 |          | 15:33 |            |                  |       |            |               |       |            |                  |       |            |                  |       |            |  |       |
| 98  | 40°43'14,954 | 8°24'13,614 | 3722,775 | 3722,740 | 3722,739 | 15:53 |            |                  |       | 12/01/2017 |               | 02:24 |            |                  |       |            |                  |       |            |  |       |
|     |              |             | 3722,740 | 3722,700 |          | 15:54 |            |                  |       |            |               |       |            |                  |       |            |                  |       |            |  |       |
| 99  | 40°43'24,110 | 8°24'15,788 | 3731,670 | 3731,550 | 3731,615 | 16:09 |            |                  |       |            |               |       | 12/01/2017 |                  | 02:24 |            |                  |       |            |  |       |
|     |              |             | 3731,670 | 3731,570 |          | 16:11 |            |                  |       |            |               |       |            |                  |       |            |                  |       |            |  |       |
| 100 | 40°43'07,357 | 8°23'54,100 | 3731,030 | 3731,105 | 3731,089 | 16:24 |            |                  |       |            |               |       |            |                  |       | 12/01/2017 |                  | 02:24 |            |  |       |
|     |              |             | 3731,170 | 3731,050 |          | 16:24 |            |                  |       |            |               |       |            |                  |       |            |                  |       |            |  |       |
| 101 | 40°42'54,108 | 8°23'55,838 | 3722,560 | 3722,610 | 3722,589 | 16:34 |            |                  |       |            |               |       |            |                  |       |            |                  |       | 12/01/2017 |  | 02:24 |
|     |              |             | 3722,605 | 3722,580 |          | 16:36 |            |                  |       |            |               |       |            |                  |       |            |                  |       |            |  |       |
| 45  |              |             | 3679,530 | 3679,540 | 3679,491 | 16:51 | 12/01/2017 | Base 4 - Redondo | 02:24 |            |               |       |            |                  |       |            |                  |       |            |  |       |
|     |              |             | 3679,565 | 3679,330 |          | 16:55 |            |                  |       |            |               |       |            |                  |       |            |                  |       |            |  |       |
| 102 | 40°42'15,377 | 8°23'05,656 | 3716,060 | 3716,030 | 3716,029 | 09:46 |            |                  |       | 25/01/2017 | Base 5 - Fojo | 02:00 |            |                  |       |            |                  |       |            |  |       |
|     |              |             | 3716,015 | 3716,010 |          | 09:49 |            |                  |       |            |               |       |            |                  |       |            |                  |       |            |  |       |
| 103 | 40°34'47,283 | 8°23'50,616 | 3712,420 | 3712,490 | 3712,474 | 10:14 |            |                  |       |            |               |       | 25/01/2017 | Base 5 - Fojo    | 02:00 |            |                  |       |            |  |       |

|     |              |             |          |          |          |            |               |       |
|-----|--------------|-------------|----------|----------|----------|------------|---------------|-------|
|     |              |             | 3712,490 | 3712,495 |          | 10:17      |               |       |
| 104 | 40°43'29,336 | 8°23'41,283 | 3712,880 | 3712,850 | 3712,849 | 10:31      |               |       |
|     |              |             | 3712,840 | 3712,825 |          | 10:33      |               |       |
| 105 | 40°43'12,655 | 8°23'22,798 | 3710,640 | 3710,710 | 3710,700 | 10:48      |               |       |
|     |              |             | 3710,750 | 3710,700 |          | 10:52      |               |       |
| 106 | 40°43'05,441 | 8°23'37,362 | 3725,685 | 3725,600 | 3725,623 | 11:03      |               |       |
|     |              |             | 3725,605 | 3725,600 |          | 11:06      |               |       |
| 107 | 40°42'55,848 | 8°23'33,156 | 3739,935 | 3739,860 | 3739,830 | 11:23      |               |       |
|     |              |             | 3739,875 | 3739,650 |          | 11:25      |               |       |
| 102 |              |             | 3716,060 | 3716,120 | 3716,093 | 11:43      | Base 5 - Fojo |       |
|     |              |             | 3716,125 | 3716,065 |          | 11:46      | Base 5 - Fojo |       |
| 108 | 40°42'55,995 | 8°23'04,512 | 3704,980 | 3705,005 | 3704,986 | 11:58      |               |       |
|     |              |             | 3704,990 | 3704,970 |          | 12:01      |               |       |
| 109 | 40°42'51,363 | 8°23'19,507 | 3716,975 | 3716,975 | 3716,970 | 12:18      |               |       |
|     |              |             | 3716,970 | 3716,960 |          | 12:21      |               |       |
| 110 | 40°42'37,629 | 8°23'31,465 | 3736,820 | 3736,930 | 3736,869 | 12:49      |               |       |
|     |              |             | 3736,960 | 3736,765 |          | 12:53      |               |       |
| 102 |              |             | 3716,040 | 3716,120 | 3716,091 | 13:18      |               |       |
|     |              |             | 3716,085 | 3716,120 |          | 13:22      |               |       |
| 102 |              |             | 3716,115 | 3716,055 | 3716,070 | 13:49      |               |       |
|     |              |             | 3716,060 | 3716,050 |          | 13:52      |               |       |
| 111 | 40°42'34,728 | 8°23'03,127 | 3708,890 | 3708,940 | 3708,923 | 14:05      |               |       |
|     |              |             | 3708,965 | 3708,895 |          | 14:07      |               |       |
| 112 | 40°42'28,855 | 8°23'18,598 | 3724,950 | 3724,930 | 3724,948 | 14:43      |               |       |
|     |              |             | 3724,980 | 3724,930 |          | 14:46      |               |       |
| 113 | 40°42'14,824 | 8°23'39,482 | 3733,010 | 3733,050 | 3733,029 | 15:05      |               |       |
|     |              |             | 3733,040 | 3733,015 |          | 15:07      |               |       |
| 114 | 40°42'11,121 | 8°23'58,122 | 3732,810 | 3732,800 | 3732,783 | 15:20      |               |       |
|     |              |             | 3732,770 | 3732,750 |          | 15:23      |               |       |
| 115 | 40°42'12,420 | 8°23'25,089 | 3719,810 | 3719,890 | 3719,895 | 15:37      |               |       |
|     |              |             | 3719,990 | 3719,890 |          | 15:39      |               |       |
| 102 |              |             | 3716,080 | 3716,125 | 3716,089 | 15:45      |               |       |
|     |              |             | 3716,080 | 3716,070 |          | 15:47      |               |       |
| 1   |              |             | 3731,290 | 3731,150 | 3731,200 | 10:04      |               |       |
|     |              |             | 3731,225 | 3731,135 |          | 10:06      |               |       |
|     |              |             |          |          |          | 03/03/2017 | Base 1        | 01:50 |

|     |              |             |          |          |          |       |            |       |        |
|-----|--------------|-------------|----------|----------|----------|-------|------------|-------|--------|
| 116 | 40°45'13,578 | 8°26'03,018 | 3713,515 | 3713,600 | 3713,581 | 10:30 | 03/03/2017 | 01:51 |        |
|     |              |             | 3713,600 | 3713,610 |          | 10:34 |            |       |        |
| 117 | 40°44'59,186 | 8°26'23,107 | 3730,770 | 3730,760 | 3730,760 | 10:46 |            |       |        |
|     |              |             | 3730,795 | 3730,715 |          | 10:50 |            |       |        |
| 118 | 40°45'13,253 | 8°26'22,329 | 3730,680 | 3730,710 | 3730,695 | 11:03 |            |       |        |
|     |              |             | 3730,670 | 3730,720 |          | 11:06 |            |       |        |
| 119 | 40°45'10,049 | 8°26'40,574 | 3743,490 | 3743,510 | 3743,478 | 11:21 |            |       |        |
|     |              |             | 3743,530 | 3743,380 |          | 11:25 |            |       |        |
| 120 | 40°44'54,374 | 8°26'42,738 | 3749,370 | 3749,320 | 3749,380 | 11:38 |            |       |        |
|     |              |             | 3749,520 | 3749,310 |          | 11:40 |            |       |        |
| 1   |              |             | 3731,150 | 3731,155 | 3731,176 | 11:52 |            |       | Base 1 |
|     |              |             | 3731,250 | 3731,150 |          | 11:54 |            |       |        |
| 1   |              |             | 3731,145 | 3731,145 | 3731,123 | 13:44 | Base 1     |       |        |
|     |              |             | 3731,140 | 3731,060 |          | 13:46 |            |       |        |
| 121 | 40°45'10,017 | 8°27'00,761 | 3741,390 | 3741,430 | 3741,369 | 14:03 |            |       |        |
|     |              |             | 3741,340 | 3741,315 |          | 14:07 |            |       |        |
| 122 | 40°44'56,430 | 8°27'01,761 | 3735,630 | 3735,740 | 3735,674 | 14:20 |            |       |        |
|     |              |             | 3735,725 | 3735,600 |          | 14:24 |            |       |        |
| 123 | 40°44'38,136 | 8°26'51,621 | 3749,760 | 3749,690 | 3749,720 | 14:41 |            |       |        |
|     |              |             | 3749,740 | 3749,690 |          | 14:44 |            |       |        |
| 124 | 40°44'19,494 | 8°26'51,497 | 3752,380 | 3752,320 | 3752,383 | 14:53 |            |       |        |
|     |              |             | 3752,330 | 3752,500 |          | 14:56 |            |       |        |
| 125 | 40°44'01,104 | 8°26'58,719 | 3744,920 | 3744,950 | 3744,949 | 15:14 |            |       |        |
|     |              |             | 3744,975 | 3744,950 |          | 15:17 |            |       |        |
| 1   |              |             | 3731,060 | 3731,145 | 3731,095 | 15:32 | Base 1     |       |        |
|     |              |             | 3731,115 | 3731,060 |          | 15:35 |            |       |        |



ANEXO 2 – Tabela das correções efetuadas nas leituras medidas.

| Ponto | Média hora | Média leitura [mGal] | Leitura corrigida [mGal] | Altitude [m] | Maré   | Corr. Maré [mGal] | Δt [h] | Δt [min] | Taxa de deriva [mGal/min] | testação-base [h] | testação-base [min] | Corr. Deriva [mGal] | Leit. corrig. c/ corr. maré e corr. deriva [mGal] | dg - diferença em relação à base | Correção - Fecho ao Redondo [mGal] | dg - diferença total ao redondo | Em g absoluto [mGal] | Corr. Altitude [mGal] | gabs. corr. Altitude [mGal] | Corr. Latitude [m/s <sup>2</sup> ] | Corr. Latitude [mgal] | gabs. corr. Latitude [mgal] | Corr. de Bouguer [mGal] | gcorr. Bouguer [mGal] | Corr. Terreno [mGal] | gcorr. Terreno [mGal] |  |  |
|-------|------------|----------------------|--------------------------|--------------|--------|-------------------|--------|----------|---------------------------|-------------------|---------------------|---------------------|---|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|--|--|
| 1     | 10:43      | 3727,234             | 3820,530                 | 186,618      | -0,086 | 3820,444          | 2:02   | 122      | 3,907E-04                 | 0:00              | 0                   | 0,000               | 3820,444  | 0,000                            | 3769,308                           | 51,136                          | 980216,216           | 57,590                | 980273,806                  | 9,802                              | 980234,991            | 38,815                      | 20,179                  | 18,637                | 0,546                | 19,183                |  |  |
| 2     | 11:05      | 3735,673             | 3829,206                 | 142,570      | -0,083 | 3829,123          |        |          |                           | 0:21              | 21                  | 0,008               | 3829,115  | 8,671                            | 3777,979                           | 59,807                          | 980224,887           | 43,997                | 980268,884                  | 9,802                              | 980235,150            | 33,734                      | 15,416                  | 18,318                | 0,740                | 19,058                |  |  |
| 3     | 11:23      | 3740,843             | 3834,521                 | 114,620      | -0,079 | 3834,442          |        |          |                           | 0:39              | 39                  | 0,015               | 3834,427  | 13,983                           | 3783,291                           | 65,119                          | 980230,199           | 35,372                | 980265,571                  | 9,802                              | 980235,242            | 30,329                      | 12,394                  | 17,935                | 0,891                | 18,826                |  |  |
| 4     | 11:56      | 3750,533             | 3844,483                 | 66,630       | -0,071 | 3844,412          |        |          |                           | 1:13              | 73                  | 0,029               | 3844,384  | 23,940                           | 3793,248                           | 75,076                          | 980240,156           | 20,562                | 980260,718                  | 9,802                              | 980235,190            | 25,528                      | 7,205                   | 18,323                | 0,960                | 19,283                |  |  |
| 5     | 12:20      | 3730,223             | 3823,602                 | 170,218      | -0,065 | 3823,537          |        |          |                           | 1:37              | 97                  | 0,038               | 3823,499  | 3,055                            | 3772,363                           | 54,192                          | 980219,272           | 52,529                | 980271,801                  | 9,802                              | 980235,660            | 36,141                      | 18,405                  | 17,735                | 0,748                | 18,483                |  |  |
| 1     | 12:45      | 3727,254             | 3820,550                 | 186,618      | -0,059 | 3820,492          |        |          |                           | 2:02              | 122                 | 0,048               | 3820,444  | 0,000                            | 3769,308                           |                                 |                      |                       |                             |                                    |                       |                             |                         |                       | 20,179               |                       |  |  |
| 1     | 14:05      | 3727,194             | 3820,488                 | 186,618      | -0,042 | 3820,447          | 1:43   | 103      | 2,690E-04                 | 0:00              | 0                   | 0,000               | 3820,447  | 0,000                            | 3769,311                           |                                 |                      | 57,590                |                             |                                    |                       |                             | 20,179                  |                       |                      |                       |  |  |
| 6     | 14:28      | 3721,710             | 3814,850                 | 214,947      | -0,039 | 3814,811          |        |          |                           | 0:22              | 22                  | 0,006               | 3814,805  | -5,641                           | 3763,669                           | 45,495                          | 980210,575           | 66,333                | 980276,907                  | 9,802                              | 980234,921            | 41,986                      | 23,242                  | 18,744                | 0,600                | 19,344                |  |  |
| 7     | 14:48      | 3710,884             | 3803,720                 | 265,031      | -0,038 | 3803,682          |        |          |                           | 0:42              | 42                  | 0,011               | 3803,671  | -16,776                          | 3752,535                           | 34,360                          | 980199,440           | 81,789                | 980281,229                  | 9,802                              | 980235,714            | 45,514                      | 28,657                  | 16,857                | 1,057                | 17,914                |  |  |
| 8     | 15:07      | 3707,380             | 3800,118                 | 281,537      | -0,038 | 3800,080          |        |          |                           | 1:01              | 61                  | 0,016               | 3800,064  | -20,383                          | 3748,927                           | 30,753                          | 980195,833           | 86,882                | 980282,715                  | 9,802                              | 980236,192            | 46,523                      | 30,442                  | 16,081                | 1,085                | 17,166                |  |  |
| 9     | 15:33      | 3732,479             | 3825,922                 | 152,181      | -0,039 | 3825,884          |        |          |                           | 1:28              | 88                  | 0,024               | 3825,860  | 5,413                            | 3774,724                           | 56,549                          | 980221,629           | 46,963                | 980268,592                  | 9,802                              | 980236,228            | 32,364                      | 16,455                  | 15,909                | 1,251                | 17,160                |  |  |
| 1     | 15:49      | 3727,219             | 3820,514                 | 186,618      | -0,040 | 3820,474          |        |          |                           | 1:43              | 103                 | 0,028               | 3820,447  | 0,000                            | 3769,311                           |                                 |                      |                       |                             | 57,590                             |                       |                             |                         |                       | 20,179               |                       |  |  |
| 1     | 15:49      | 3727,219             | 3820,514                 | 186,618      | -0,040 | 3820,474          | 1:43   | 103      | 0,028                     | 3820,447          | 0,000               | 3769,311            |   |                                  |                                    |                                 |                      |                       |                             |                                    |                       |                             | 20,179                  |                       |                      |                       |  |  |
| 10    | 16:04      | 3728,566             | 3821,900                 | 182,486      | -0,042 | 3821,858          | 1:16   | 76       | 2,660E-04                 | 0:15              | 15                  | 0,004               | 3821,854  | 1,380                            | 3770,718                           | 52,516                          | 980217,596           | 56,315                | 980273,911                  | 9,802                              | 980235,300            | 38,611                      | 19,732                  | 18,879                | 0,698                | 19,577                |  |  |
| 11    | 16:19      | 3730,725             | 3824,119                 | 160,320      | -0,044 | 3824,075          |        |          |                           | 0:30              | 30                  | 0,008               | 3824,067  | 3,593                            | 3772,931                           | 54,729                          | 980219,809           | 49,475                | 980269,284                  | 9,802                              | 980235,694            | 33,590                      | 17,335                  | 16,255                | 1,322                | 17,577                |  |  |
| 12    | 16:35      | 3730,378             | 3823,762                 | 167,254      | -0,046 | 3823,716          |        |          |                           | 0:46              | 46                  | 0,012               | 3823,703  | 3,229                            | 3772,567                           | 54,365                          | 980219,445           | 51,615                | 980271,060                  | 9,802                              | 980235,774            | 35,285                      | 18,085                  | 17,201                | 0,788                | 17,989                |  |  |
| 13    | 16:50      | 3733,169             | 3826,631                 | 153,395      | -0,049 | 3826,583          |        |          |                           | 1:01              | 61                  | 0,016               | 3826,566  | 6,092                            | 3775,430                           | 57,228                          | 980222,308           | 47,338                | 980269,646                  | 9,802                              | 980236,061            | 33,585                      | 16,586                  | 16,999                | 0,782                | 17,781                |  |  |
| 1     | 17:05      | 3727,250             | 3820,546                 | 186,618      | -0,052 | 3820,495          |        |          |                           | 1:16              | 76                  | 0,020               | 3820,474  | 0,000                            | 3769,338                           |                                 |                      |                       |                             |                                    |                       |                             |                         |                       | 20,179               |                       |  |  |
| 1     | 10:16      | 3727,916             | 3821,231                 | 186,618      | -0,011 | 3821,220          |        |          |                           | 2:00              | 120                 | 1,967E-03           | 0:00  | 0                                | 0,000                              | 3821,220                        | 0,000                | 3770,084              |                             |                                    | 57,590                |                             |                         |                       |                      | 20,179                |  |  |
| 14    | 11:00      | 3741,736             | 3835,440                 | 114,126      | -0,029 | 3835,411          | 0:44   | 44       | 0,087                     |                   |                     |                     | 3835,324  | 14,104                           | 3784,188                           | 65,240                          | 980230,320           | 35,219                | 980265,539                  | 9,802                              | 980234,363            | 31,177                      | 12,340                  | 18,836                | 0,961                | 19,797                |  |  |
| 15    | 11:20      | 3741,203             | 3834,891                 | 122,650      | -0,038 | 3834,853          | 1:04   | 64       | 0,126                     |                   |                     |                     | 3834,727  | 13,507                           | 3783,591                           | 64,643                          | 980229,723           | 37,850                | 980267,573                  | 9,802                              | 980234,396            | 33,177                      | 13,262                  | 19,915                | 0,618                | 20,533                |  |  |
| 16    | 11:43      | 3754,678             | 3848,745                 | 51,467       | -0,048 | 3848,697          | 1:27   | 87       | 0,171                     |                   |                     |                     | 3848,526  | 27,306                           | 3797,390                           | 78,442                          | 980243,522           | 15,883                | 980259,405                  | 9,802                              | 980233,895            | 25,510                      | 5,565                   | 19,945                | 0,805                | 20,750                |  |  |
| 17    | 12:03      | 3753,008             | 3847,028                 | 60,032       | -0,056 | 3846,972          | 1:47   | 107      | 0,210                     |                   |                     |                     | 3846,761  | 25,541                           | 3795,625                           | 76,677                          | 980241,757           | 18,526                | 980260,283                  | 9,802                              | 980234,877            | 25,406                      | 6,491                   | 18,915                | 0,708                | 19,623                |  |  |
| 1     | 12:16      | 3728,195             | 3821,518                 | 186,618      | -0,062 | 3821,456          | 2:00   | 120      | 0,236                     |                   |                     |                     | 3821,220  | 0,000                            | 3770,084                           |                                 |                      |                       |                             |                                    |                       |                             |                         |                       | 20,179               |                       |  |  |
| 1     | 14:12      | 3728,191             | 3821,514                 | 186,618      | -0,090 | 3821,424          | 2:12   | 132      | -2,491E-03                | 0:00              | 0                   | 0,000               | 3821,424  | 0,000                            | 3770,288                           |                                 |                      | 57,590                |                             |                                    |                       |                             | 20,179                  |                       |                      |                       |  |  |
| 18    | 14:29      | 3733,519             | 3826,991                 | 161,639      | -0,090 | 3826,901          |        |          |                           | 0:17              | 17                  | -0,042              | 3826,944  | 5,519                            | 3775,808                           | 56,656                          | 980221,736           | 49,882                | 980271,617                  | 9,802                              | 980234,933            | 36,684                      | 17,478                  | 19,207                | 0,797                | 20,004                |  |  |
| 19    | 14:55      | 3754,009             | 3848,057                 | 55,835       | -0,088 | 3847,970          |        |          |                           | 0:43              | 43                  | -0,107              | 3848,077  | 26,653                           | 3796,941                           | 77,789                          | 980242,869           | 17,231                | 980260,099                  | 9,802                              | 980234,448            | 25,651                      | 6,037                   | 19,614                | 0,817                | 20,431                |  |  |
| 20    | 15:17      | 3756,520             | 3850,639                 | 44,494       | -0,084 | 3850,556          |        |          |                           | 1:05              | 65                  | -0,162              | 3850,718  | 29,293                           | 3799,582                           | 80,429                          | 980245,509           | 13,731                | 980259,240                  | 9,802                              | 980233,524            | 25,716                      | 4,811                   | 20,905                | 1,108                | 22,013                |  |  |
| 21    | 15:33      | 3753,545             | 3847,581                 | 61,282       | -0,080 | 3847,501          |        |          |                           | 1:21              | 81                  | -0,202              | 3847,703  | 26,279                           | 3796,567                           | 77,415                          | 980242,495           | 18,912                | 980261,406                  | 9,802                              | 980233,555            | 27,852                      | 6,626                   | 21,225                | 0,933                | 22,158                |  |  |
| 22    | 16:00      | 3739,114             | 3832,744                 | 140,640      | -0,070 | 3832,673          |        |          |                           | 1:48              | 108                 | -0,269              | 3832,942  | 11,518                           | 3781,806                           | 62,654                          | 980227,734           | 43,402                | 980271,136                  | 9,802                              | 980234,035            | 37,101                      | 15,207                  | 21,894                | 0,529                | 22,423                |  |  |
| 1     | 16:24      | 3727,843             | 3821,155                 | 186,618      | -0,060 | 3821,096          | 2:12   | 132      | -0,329                    | 3821,424          | 0,000               | 3770,288            |   |                                  |                                    |                                 |                      |                       |                             |                                    |                       | 20,179                      |                         |                       |                      |                       |  |  |
| 23    | 10:54      | 3748,545             | 3842,440                 | 88,424       | -0,027 | 3842,413          | 1:36   | 96       | -1,869E-03                | 0:00              | 0                   | 0,000               | 3842,413  | 0,000                            | 3770,552                           | 71,861                          | 980236,941           | 27,288                | 980264,229                  | 9,802                              | 980233,035            | 31,194                      | 9,561                   | 21,633                | 0,376                | 22,009                |  |  |
| 24    | 11:17      | 3742,095             | 3835,809                 | 123,972      | -0,023 | 3835,786          |        |          |                           | 0:22              | 22                  | -0,041              | 3835,827  | -6,587                           | 3763,966                           | 65,274                          | 980230,354           | 38,258                | 980268,612                  | 9,802                              | 980233,215            | 35,397                      | 13,405                  | 21,992                | 0,478                | 22,470                |  |  |
| 25    | 11:31      | 3741,319             | 3835,011                 | 131,370      | -0,022 | 3834,989          |        |          |                           | 0:37              | 37                  | -0,069              | 3835,058  | -7,356                           | 3763,197                           | 64,505                          | 980229,585           | 40,541                | 980270,126                  | 9,802                              | 980232,918            | 37,208                      | 14,205                  | 23,003                | 0,450                | 23,453                |  |  |
| 26    | 11:50      | 3746,668             | 3840,510                 | 103,890      | -0,022 | 3840,488          |        |          |                           | 0:55              | 55                  | -0,103              | 3840,591  | -1,823                           | 3768,730                           | 70,038                          | 980235,118           | 32,060                | 980267,179                  | 9,802                              | 980232,637            | 34,542                      | 11,233                  | 23,308                | 0,434                | 23,742                |  |  |
| 27    | 12:21      | 3749,650             | 3843,576                 | 83,989       | -0,025 | 3843,552          |        |          |                           | 1:27              | 87                  | -0,163              | 3843,714  | 1,301                            | 3771,853                           | 73,162                          | 980238,242           | 25,919                | 980264,161                  | 9,802                              | 980232,676            | 31,485                      | 9,082                   | 22,403                | 0,392                | 22,795                |  |  |
| 23    | 12:30      | 3748,370             | 3842,260                 | 88,424       | -0,026 | 3842,234          |        |          |                           | 1:36              | 96                  | -0,179              | 3842,413  | 0,000                            | 3770,552                           |                                 |                      |                       |                             |                                    |                       |                             |                         |                       | 9,561                |                       |  |  |
| 23    | 14:32      | 3748,489             | 3842,382                 | 88,424       | -0,069 | 3842,313          | 1:46   | 106      | 1,738E-06                 | 0:00              | 0                   | 0,000               | 3842,313  | 0,000                            | 3770,452                           |                                 |                      | 27,288                |                             |                                    |                       |                             | 9,561                   |                       |                      |                       |  |  |
| 28    | 14:47      | 3734,608             | 3828,111                 | 156,675      | 0,076  | 3828,186          |        |          |                           | 0:15              | 15                  | 0,000               | 3828,186  | -14,127                          | 3756,325                           | 57,734                          | 980222,814           | 48,350                | 980271,164                  | 9,802                              | 980232,965            | 38,199                      | 16,941                  | 21,258                | 0,524                | 21,782                |  |  |
| 29    | 15:24      | 3734,011             | 3827,498                 | 154,596      | -0,090 | 3827,407          |        |          |                           | 0:51              | 51                  | 0,000               | 3827,407  | -14,906                          | 3755,546                           | 56,955                          | 980222,035           | 47,708                | 980269,743                  | 9,802                              | 980233,048            | 36,696                      | 16,716                  | 19,980                | 0,815                | 20,795                |  |  |

|    |       |          |          |         |        |          |  |      |    |      |     |        |          |         |          |        |            |         |            |       |            |        |        |        |       |        |
|----|-------|----------|----------|---------|--------|----------|--|------|----|------|-----|--------|----------|---------|----------|--------|------------|---------|------------|-------|------------|--------|--------|--------|-------|--------|
| 30 | 15:45 | 3737,365 | 3830,946 | 138,661 | -0,097 | 3830,848 |  |      |    | 1:13 | 73  | 0,000  | 3830,848 | -11,465 | 3758,987 | 60,396 | 980225,476 | 42,791  | 980268,267 | 9,802 | 980233,599 | 34,668 | 14,993 | 19,675 | 0,831 | 20,506 |
| 31 | 16:04 | 3726,895 | 3820,181 | 195,936 | -0,102 | 3820,079 |  |      |    | 1:31 | 91  | 0,000  | 3820,079 | -22,234 | 3748,218 | 49,627 | 980214,707 | 60,466  | 980275,173 | 9,802 | 980233,888 | 41,285 | 21,186 | 20,098 | 0,587 | 20,685 |
| 23 | 16:19 | 3748,524 | 3842,418 | 88,424  | -0,105 | 3842,313 |  |      |    | 1:46 | 106 | 0,000  | 3842,313 | 0,000   | 3770,452 |        |            |         |            |       |            |        |        |        |       |        |
| 23 | 16:19 | 3748,524 | 3842,418 | 88,424  | -0,105 | 3842,313 |  |      |    | 1:46 | 106 | 0,000  | 3842,313 | 0,000   | 3770,452 |        |            |         |            |       |            |        |        |        |       |        |
| 32 | 16:34 | 3727,992 | 3821,309 | 190,020 | -0,107 | 3821,202 |  |      |    | 0:15 | 15  | -0,008 | 3821,210 | -21,104 | 3749,349 | 50,757 | 980215,837 | 58,640  | 980274,477 | 9,802 | 980233,656 | 40,821 | 20,546 | 20,275 | 0,737 | 21,012 |
| 33 | 17:19 | 3738,560 | 3832,174 | 137,627 | -0,106 | 3832,069 |  | 1:27 | 87 | 1:00 | 60  | -0,030 | 3832,099 | -10,214 | 3760,238 | 61,647 | 980226,727 | 42,472  | 980269,199 | 9,802 | 980233,830 | 35,368 | 14,881 | 20,487 | 0,616 | 21,103 |
| 34 | 17:33 | 3745,529 | 3839,339 | 102,269 | -0,103 | 3839,236 |  |      |    | 1:14 | 74  | -0,038 | 3839,274 | -3,039  | 3767,413 | 68,822 | 980233,902 | 31,560  | 980265,462 | 9,802 | 980233,466 | 31,996 | 11,058 | 20,938 | 0,623 | 21,561 |
| 23 | 17:46 | 3748,475 | 3842,368 | 88,424  | -0,099 | 3842,269 |  |      |    | 1:27 | 87  | -0,044 | 3842,313 | 0,000   | 3770,452 |        |            |         |            |       |            |        |        |        |       |        |
| 35 | 9:38  | 3713,744 | 3806,660 | 254,969 | -0,091 | 3806,570 |  |      |    | 0:00 | 0   | 0,000  | 3806,570 | 0,000   | 3770,254 | 36,315 | 980201,395 | 78,683  | 980280,079 | 9,802 | 980232,063 | 48,016 | 27,569 | 20,447 | 0,708 | 21,155 |
| 36 | 10:04 | 3711,021 | 3803,861 | 271,761 | -0,082 | 3803,780 |  |      |    | 0:25 | 25  | 0,010  | 3803,770 | -2,800  | 3767,454 | 33,515 | 980198,595 | 83,865  | 980282,461 | 9,802 | 980232,689 | 49,771 | 29,385 | 20,387 | 0,773 | 21,160 |
| 37 | 10:19 | 3728,869 | 3822,211 | 186,007 | -0,076 | 3822,135 |  |      |    | 0:40 | 40  | 0,016  | 3822,119 | 15,549  | 3785,804 | 51,865 | 980216,945 | 57,402  | 980274,346 | 9,802 | 980232,430 | 41,917 | 20,113 | 21,804 | 0,433 | 22,237 |
| 38 | 10:54 | 3733,531 | 3827,004 | 161,164 | -0,062 | 3826,942 |  |      |    | 1:16 | 76  | 0,030  | 3826,912 | 20,343  | 3790,597 | 56,658 | 980221,738 | 49,735  | 980271,473 | 9,802 | 980232,320 | 39,153 | 17,426 | 21,726 | 0,509 | 22,235 |
| 39 | 11:14 | 3738,431 | 3832,042 | 140,970 | -0,055 | 3831,987 |  |      |    | 1:35 | 95  | 0,037  | 3831,950 | 25,380  | 3795,635 | 61,696 | 980226,776 | 43,503  | 980270,279 | 9,802 | 980232,109 | 38,170 | 15,243 | 22,927 | 0,308 | 23,235 |
| 35 | 11:32 | 3713,746 | 3806,663 | 254,969 | -0,048 | 3806,614 |  |      |    | 1:54 | 114 | 0,045  | 3806,570 | 0,000   | 3770,254 |        |            |         |            |       |            |        |        |        |       |        |
| 35 | 11:32 | 3713,746 | 3806,663 | 254,969 | -0,048 | 3806,614 |  |      |    | 1:54 | 114 | 0,045  | 3806,570 | 0,000   | 3770,254 |        |            |         |            |       |            |        |        |        |       |        |
| 40 | 11:52 | 3720,460 | 3813,565 | 224,356 | -0,042 | 3813,523 |  |      |    | 0:19 | 19  | 0,008  | 3813,515 | 6,901   | 3777,200 | 43,216 | 980208,296 | 69,236  | 980277,533 | 9,802 | 980233,065 | 44,467 | 24,259 | 20,208 | 0,644 | 20,852 |
| 41 | 12:08 | 3720,470 | 3813,576 | 225,251 | -0,038 | 3813,537 |  |      |    | 0:35 | 35  | 0,014  | 3813,524 | 6,909   | 3777,208 | 43,224 | 980208,304 | 69,512  | 980277,817 | 9,802 | 980233,424 | 44,393 | 24,356 | 20,037 | 0,708 | 20,745 |
| 42 | 12:30 | 3708,326 | 3801,090 | 283,726 | -0,034 | 3801,057 |  |      |    | 0:57 | 57  | 0,023  | 3801,034 | -5,580  | 3764,719 | 30,735 | 980195,815 | 87,558  | 980283,373 | 9,802 | 980233,890 | 49,483 | 30,679 | 18,804 | 0,956 | 19,760 |
| 43 | 12:58 | 3700,320 | 3792,859 | 323,191 | -0,030 | 3792,829 |  |      |    | 1:25 | 85  | 0,034  | 3792,795 | -13,820 | 3756,480 | 22,496 | 980187,576 | 99,737  | 980287,312 | 9,802 | 980233,034 | 54,279 | 34,946 | 19,333 | 0,830 | 20,163 |
| 44 | 13:13 | 3699,345 | 3791,854 | 326,552 | -0,030 | 3791,824 |  |      |    | 1:41 | 101 | 0,040  | 3791,784 | -14,831 | 3755,468 | 21,485 | 980186,565 | 100,774 | 980287,338 | 9,802 | 980232,661 | 54,678 | 35,309 | 19,369 | 1,179 | 20,548 |
| 35 | 13:27 | 3713,773 | 3806,690 | 254,969 | -0,030 | 3806,660 |  |      |    | 1:54 | 114 | 0,045  | 3806,614 | 0,000   | 3770,299 |        |            |         |            |       |            |        |        |        |       |        |
| 45 | 14:24 | 3678,536 | 3770,463 | 425,049 | -0,038 | 3770,425 |  |      |    | 0:00 | 0   | 0,000  | 3770,425 | 0,000   |          | 0,000  | 980165,080 | 131,170 | 980296,250 | 9,802 | 980234,597 | 61,653 | 45,960 | 15,694 | 2,039 | 17,733 |
| 46 | 14:41 | 3687,503 | 3779,680 | 383,827 | -0,043 | 3779,637 |  |      |    | 0:17 | 17  | -0,016 | 3779,653 | 9,228   |          | 9,228  | 980174,308 | 118,449 | 980292,757 | 9,802 | 980234,843 | 57,914 | 41,502 | 16,412 | 1,649 | 18,061 |
| 47 | 15:02 | 3682,020 | 3774,044 | 409,761 | -0,049 | 3773,995 |  |      |    | 0:38 | 38  | -0,035 | 3774,030 | 3,606   |          | 3,606  | 980168,686 | 126,452 | 980295,138 | 9,802 | 980235,001 | 60,137 | 44,307 | 15,830 | 1,680 | 17,510 |
| 48 | 15:19 | 3695,393 | 3787,791 | 347,887 | -0,055 | 3787,736 |  |      |    | 0:55 | 55  | -0,051 | 3787,786 | 17,362  |          | 17,362 | 980182,442 | 107,358 | 980289,800 | 9,802 | 980235,296 | 54,504 | 37,616 | 16,888 | 0,786 | 17,674 |
| 49 | 15:48 | 3719,031 | 3812,096 | 228,977 | -0,065 | 3812,031 |  |      |    | 1:24 | 84  | -0,078 | 3812,109 | 41,684  |          | 41,684 | 980206,764 | 70,662  | 980277,426 | 9,802 | 980234,817 | 42,609 | 24,759 | 17,851 | 1,071 | 18,922 |
| 45 | 16:14 | 3678,474 | 3770,399 | 425,049 | -0,075 | 3770,324 |  |      |    | 1:49 | 109 | -0,101 | 3770,425 | 0,000   |          |        |            |         |            |       |            |        |        |        |       |        |
| 45 | 10:45 | 3678,526 | 3770,453 | 425,049 | -0,080 | 3770,373 |  |      |    | 0:00 | 0   | 0,000  | 3770,373 | 0,000   |          |        |            |         |            |       |            |        |        |        |       |        |
| 50 | 11:08 | 3693,210 | 3785,547 | 359,631 | -0,072 | 3785,475 |  |      |    | 0:23 | 23  | 0,002  | 3785,474 | 15,101  |          | 15,101 | 980180,181 | 110,982 | 980291,163 | 9,802 | 980236,090 | 55,072 | 38,886 | 16,186 | 0,943 | 17,129 |
| 51 | 11:27 | 3690,818 | 3783,088 | 371,239 | -0,065 | 3783,023 |  |      |    | 0:42 | 42  | 0,003  | 3783,019 | 12,646  |          | 12,646 | 980177,726 | 114,564 | 980292,291 | 9,802 | 980235,825 | 56,466 | 40,141 | 16,325 | 0,865 | 17,190 |
| 52 | 12:06 | 3705,063 | 3797,735 | 303,123 | -0,051 | 3797,683 |  |      |    | 1:21 | 81  | 0,007  | 3797,677 | 27,304  |          | 27,304 | 980192,384 | 93,544  | 980285,928 | 9,802 | 980235,466 | 50,462 | 32,776 | 17,686 | 0,692 | 18,378 |
| 53 | 12:25 | 3711,890 | 3804,754 | 268,582 | -0,046 | 3804,709 |  |      |    | 1:40 | 100 | 0,008  | 3804,701 | 34,327  |          | 34,327 | 980199,407 | 82,884  | 980282,292 | 9,802 | 980235,367 | 46,925 | 29,041 | 17,883 | 0,819 | 18,702 |
| 45 | 12:46 | 3678,498 | 3770,423 | 425,049 | -0,040 | 3770,383 |  |      |    | 2:01 | 121 | 0,010  | 3770,373 | 0,000   |          |        |            |         |            |       |            |        |        |        |       |        |
| 45 | 14:28 | 3678,433 | 3770,356 | 425,049 | -0,032 | 3770,325 |  |      |    | 0:00 | 0   | 0,000  | 3770,325 | 0,000   |          |        |            |         |            |       |            |        |        |        |       |        |
| 54 | 14:49 | 3703,816 | 3796,454 | 300,364 | -0,034 | 3796,419 |  |      |    | 0:20 | 20  | 0,040  | 3796,379 | 26,055  |          | 26,055 | 980191,135 | 92,692  | 980283,827 | 9,802 | 980234,559 | 49,268 | 32,478 | 16,790 | 1,188 | 17,978 |
| 55 | 15:07 | 3716,934 | 3809,940 | 230,256 | -0,037 | 3809,903 |  |      |    | 0:39 | 39  | 0,078  | 3809,825 | 39,500  |          | 39,500 | 980204,580 | 71,057  | 980275,637 | 9,802 | 980234,562 | 41,075 | 24,897 | 16,178 | 0,805 | 16,983 |
| 56 | 15:54 | 3733,759 | 3827,238 | 139,440 | -0,049 | 3827,189 |  |      |    | 1:26 | 86  | 0,172  | 3827,017 | 56,693  |          | 56,693 | 980221,773 | 43,031  | 980264,804 | 9,802 | 980234,053 | 30,751 | 15,077 | 15,674 | 1,201 | 16,875 |
| 45 | 16:23 | 3678,681 | 3770,612 | 425,049 | -0,058 | 3770,554 |  |      |    | 1:55 | 115 | 0,230  | 3770,325 | 0,000   |          |        |            |         |            |       |            |        |        |        |       |        |
| 45 | 16:23 | 3678,681 | 3770,612 | 425,049 | -0,058 | 3770,554 |  |      |    | 1:55 | 115 | 0,230  | 3770,325 | 0,000   |          |        |            |         |            |       |            |        |        |        |       |        |
| 57 | 16:41 | 3689,966 | 3782,213 | 373,463 | -0,063 | 3782,150 |  |      |    | 0:18 | 18  | -0,014 | 3782,164 | 11,610  |          | 11,610 | 980176,690 | 115,251 | 980291,940 | 9,802 | 980233,570 | 58,370 | 40,382 | 17,989 | 1,408 | 19,397 |
| 58 | 16:59 | 3693,970 | 3786,328 | 355,857 | -0,069 | 3786,260 |  |      |    | 0:35 | 35  | -0,028 | 3786,288 | 15,733  |          | 15,733 | 980180,813 | 109,817 | 980290,631 | 9,802 | 980234,105 | 56,526 | 38,478 | 18,047 | 0,992 | 19,039 |
| 59 | 17:18 | 3695,988 | 3788,402 | 340,364 | -0,074 | 3788,328 |  |      |    | 0:54 | 54  | -0,043 | 3788,372 | 17,817  |          | 17,817 | 980182,897 | 105,036 | 980287,933 | 9,802 | 980234,441 | 53,493 | 36,803 | 16,690 | 1,262 | 17,952 |
| 45 | 17:31 | 3678,648 | 3770,577 | 425,049 | -0,077 | 3770,500 |  |      |    | 1:08 | 68  | -0,055 | 3770,554 | 0,000   |          |        |            |         |            |       |            |        |        |        |       |        |
| 23 | 9:59  | 3748,715 | 3842,615 | 88,424  | -0,055 | 3842,559 |  |      |    | 0:00 | 0   | 0,000  | 3842,559 | 0,000   | 3770,698 |        |            |         |            |       |            |        |        |        |       |        |
| 60 | 10:21 | 3750,081 | 3844,020 | 87,764  | -0,062 | 3843,958 |  |      |    | 0:22 | 22  | 0,023  | 3843,935 | 1,375   | 3772,074 | 73,236 | 980238,316 | 27,084  | 980265,400 | 9,802 | 980231,803 | 33,598 | 9,490  | 24,108 | 0,214 | 24,322 |

|    |       |          |          |         |        |          |      |     |            |          |       |          |          |         |          |        |            |         |            |       |            |        |        |        |        |        |        |
|----|-------|----------|----------|---------|--------|----------|------|-----|------------|----------|-------|----------|----------|---------|----------|--------|------------|---------|------------|-------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 61 | 10:39 | 3747,533 | 3841,399 | 98,986  | -0,066 | 3841,333 |      |     |            | 0:40     | 40    | 0,041    | 3841,291 | -1,268  | 3769,430 | 70,593 | 980235,673 | 30,547  | 980266,220 | 9,802 | 980232,132 | 34,088 | 10,703 | 23,385 | 0,590  | 23,975 |        |
| 62 | 11:00 | 3744,264 | 3838,038 | 118,772 | -0,070 | 3837,968 |      |     |            | 1:00     | 60    | 0,062    | 3837,906 | -4,653  | 3766,045 | 67,208 | 980232,288 | 36,653  | 980268,941 | 9,802 | 980232,126 | 36,815 | 12,843 | 23,973 | 0,480  | 24,453 |        |
| 63 | 11:20 | 3751,123 | 3845,090 | 83,075  | -0,073 | 3845,017 |      |     |            | 1:21     | 81    | 0,084    | 3844,934 | 2,374   | 3773,073 | 74,235 | 980239,315 | 25,637  | 980264,952 | 9,802 | 980231,539 | 33,413 | 8,983  | 24,430 | 0,436  | 24,866 |        |
| 64 | 11:40 | 3746,148 | 3839,975 | 106,353 | -0,074 | 3839,901 |      |     |            | 1:40     | 100   | 0,103    | 3839,798 | -2,762  | 3767,937 | 69,099 | 980234,179 | 32,821  | 980267,000 | 9,802 | 980231,767 | 35,233 | 11,500 | 23,733 | 0,397  | 24,130 |        |
| 23 | 11:56 | 3748,850 | 3842,754 | 88,424  | -0,075 | 3842,679 |      |     |            | 1:56     | 116   | 0,120    | 3842,559 | 0,000   | 3770,698 |        |            | 27,288  |            |       |            |        |        |        |        | 9,561  |        |
| 23 | 11:56 | 3748,850 | 3842,754 | 88,424  | -0,075 | 3842,679 | 1:08 | 68  | -1,589E-03 | 1:56     | 116   | 0,120    | 3842,559 | 0,000   | 3770,698 |        |            |         |            |       |            |        |        | 9,561  |        |        |        |
| 65 | 12:39 | 3754,949 | 3849,024 | 53,284  | -0,072 | 3848,952 |      |     |            | 0:43     | 43    | -0,068   | 3849,020 | 6,341   | 3777,159 | 78,202 | 980243,282 | 16,443  | 980259,726 | 9,802 | 980232,584 | 27,142 | 5,761  | 21,380 | 0,767  | 22,147 |        |
| 23 | 13:04 | 3748,739 | 3842,639 | 88,424  | -0,068 | 3842,571 |      |     |            | 1:08     | 68    | -0,108   | 3842,679 | 0,000   | 3770,818 |        |            |         |            |       |            |        |        |        |        | 9,561  |        |
| 45 | 14:31 | 3678,653 | 3770,582 | 425,049 | -0,048 | 3770,535 | 1:36 | 96  | -1,234E-04 | 0:00     | 0     | 0,000    | 3770,535 | 0,000   |          |        |            | 131,170 |            |       |            |        |        | 45,960 |        |        |        |
| 66 | 15:01 | 3716,926 | 3809,932 | 244,521 | -0,039 | 3809,893 |      |     |            | 0:30     | 30    | -0,004   | 3809,897 | 39,362  |          | 39,362 | 980204,442 | 75,459  | 980279,901 | 9,802 | 980234,381 | 45,521 | 26,440 | 19,081 | 0,768  | 19,849 |        |
| 67 | 15:17 | 3724,074 | 3817,281 | 209,079 | -0,035 | 3817,246 |      |     |            | 0:46     | 46    | -0,006   | 3817,252 | 46,717  |          | 46,717 | 980211,797 | 64,522  | 980276,319 | 9,802 | 980234,333 | 41,986 | 22,607 | 19,379 | 0,708  | 20,087 |        |
| 68 | 15:38 | 3723,420 | 3816,609 | 213,239 | -0,029 | 3816,580 |      |     |            | 1:07     | 67    | -0,008   | 3816,588 | 46,054  |          | 46,054 | 980211,134 | 65,806  | 980276,939 | 9,802 | 980234,054 | 42,885 | 23,057 | 19,828 | 0,520  | 20,348 |        |
| 69 | 15:52 | 3709,923 | 3802,732 | 278,118 | -0,025 | 3802,707 |      |     |            | 1:21     | 81    | -0,010   | 3802,717 | 32,182  |          | 32,182 | 980197,262 | 85,827  | 980283,089 | 9,802 | 980234,132 | 48,957 | 30,072 | 18,885 | 0,845  | 19,730 |        |
| 45 | 16:07 | 3678,615 | 3770,544 | 425,049 | -0,021 | 3770,523 | 1:36 | 96  | -0,012     | 3770,535 | 0,000 |          |          |         |          |        | 131,170    |         |            |       |            |        | 45,960 |        |        |        |        |
| 35 | 9:42  | 3714,730 | 3807,674 | 254,969 | -0,052 | 3807,622 | 1:52 | 112 | -8,331E-04 | 0:00     | 0     | 0,000    | 3807,622 | 0,000   | 3771,307 |        |            |         | 78,683     |       |            |        |        |        | 27,569 |        |        |
| 70 | 10:06 | 3726,929 | 3820,216 | 196,053 | -0,044 | 3820,172 |      |     |            | 0:23     | 23    | -0,019   | 3820,191 | 12,569  | 3783,876 | 48,884 | 980213,964 | 60,502  | 980274,466 | 9,802 | 980231,706 | 42,760 | 21,199 | 21,561 | 0,408  | 21,969 |        |
| 71 | 10:18 | 3731,529 | 3824,945 | 175,334 | -0,041 | 3824,905 |      |     |            | 0:35     | 35    | -0,029   | 3824,934 | 17,311  | 3788,619 | 53,627 | 980218,707 | 54,108  | 980272,815 | 9,802 | 980231,631 | 41,183 | 18,958 | 22,225 | 0,404  | 22,629 |        |
| 72 | 10:32 | 3736,133 | 3829,679 | 153,461 | -0,037 | 3829,641 |      |     |            | 0:50     | 50    | -0,042   | 3829,683 | 22,061  | 3793,368 | 58,376 | 980223,456 | 47,358  | 980270,814 | 9,802 | 980231,658 | 39,155 | 16,593 | 22,562 | 0,370  | 22,932 |        |
| 73 | 10:50 | 3745,480 | 3839,289 | 106,411 | -0,034 | 3839,255 |      |     |            | 1:07     | 67    | -0,056   | 3839,311 | 31,689  | 3802,996 | 68,004 | 980233,084 | 32,838  | 980265,922 | 9,802 | 980231,643 | 34,280 | 11,506 | 22,774 | 0,467  | 23,241 |        |
| 74 | 11:14 | 3745,803 | 3839,620 | 109,539 | -0,031 | 3839,590 |      |     |            | 1:31     | 91    | -0,076   | 3839,666 | 32,043  | 3803,351 | 68,359 | 980233,439 | 33,804  | 980267,242 | 9,802 | 980231,984 | 35,258 | 11,844 | 23,414 | 0,215  | 23,629 |        |
| 35 | 11:35 | 3714,618 | 3807,559 | 254,969 | -0,029 | 3807,529 | 1:52 | 112 | -0,093     | 3807,622 | 0,000 | 3771,307 |          |         |          |        |            | 78,683  |            |       |            |        |        | 27,569 |        |        |        |
| 35 | 11:35 | 3714,618 | 3807,559 | 254,969 | -0,029 | 3807,529 | 1:54 | 114 | -3,706E-04 | 1:52     | 112   | -0,093   | 3807,622 | 0,000   | 3771,307 |        |            |         | 78,683     |       |            |        |        |        | 27,569 |        |        |
| 75 | 11:51 | 3726,713 | 3819,994 | 199,107 | -0,030 | 3819,964 |      |     |            | 0:16     | 16    | -0,006   | 3819,970 | 12,441  | 3783,655 | 48,756 | 980213,836 | 61,444  | 980275,281 | 9,802 | 980232,215 | 43,066 | 21,529 | 21,537 | 0,470  | 22,007 |        |
| 76 | 12:03 | 3732,400 | 3825,841 | 174,994 | -0,030 | 3825,811 |      |     |            | 0:28     | 28    | -0,010   | 3825,821 | 18,292  | 3789,506 | 54,607 | 980219,687 | 54,003  | 980273,690 | 9,802 | 980232,142 | 41,548 | 18,922 | 22,627 | 0,374  | 23,001 |        |
| 77 | 12:26 | 3726,581 | 3819,859 | 189,457 | -0,033 | 3819,825 |      |     |            | 0:51     | 51    | -0,019   | 3819,844 | 12,315  | 3783,529 | 48,630 | 980213,710 | 58,466  | 980272,177 | 9,802 | 980231,749 | 40,428 | 20,486 | 19,942 | 0,590  | 20,532 |        |
| 78 | 12:40 | 3733,458 | 3826,928 | 147,292 | -0,036 | 3826,892 |      |     |            | 1:05     | 65    | -0,024   | 3826,916 | 19,387  | 3790,601 | 55,702 | 980220,782 | 45,454  | 980266,237 | 9,802 | 980231,705 | 34,531 | 15,926 | 18,605 | 0,960  | 19,565 |        |
| 79 | 12:58 | 3731,824 | 3825,249 | 160,574 | -0,040 | 3825,208 |      |     |            | 1:23     | 83    | -0,031   | 3825,239 | 17,710  | 3788,924 | 54,025 | 980219,105 | 49,553  | 980268,658 | 9,802 | 980232,107 | 36,551 | 17,363 | 19,189 | 1,119  | 20,308 |        |
| 80 | 13:15 | 3730,071 | 3823,447 | 169,764 | -0,045 | 3823,402 |      |     |            | 1:40     | 100   | -0,037   | 3823,439 | 15,909  | 3787,123 | 52,225 | 980217,305 | 52,389  | 980269,694 | 9,802 | 980232,112 | 37,582 | 18,356 | 19,226 | 0,640  | 19,866 |        |
| 35 | 13:29 | 3714,596 | 3807,537 | 254,969 | -0,050 | 3807,487 | 1:54 | 114 | -0,042     | 3807,529 | 0,000 | 3771,214 |          |         |          |        |            | 78,683  |            |       |            |        |        | 27,569 |        |        |        |
| 35 | 14:08 | 3714,651 | 3807,593 | 254,969 | -0,064 | 3807,529 | 1:48 | 108 | 4,203E-05  | 0:00     | 0     | 0,000    | 3807,529 | 0,000   | 3771,214 |        |            |         | 78,683     |       |            |        |        |        | 27,569 |        |        |
| 81 | 14:22 | 3716,728 | 3809,728 | 242,921 | -0,069 | 3809,658 |      |     |            | 0:14     | 14    | 0,001    | 3809,658 | 2,129   | 3773,343 | 38,444 | 980203,524 | 74,965  | 980278,489 | 9,802 | 980232,518 | 45,971 | 26,267 | 19,705 | 0,649  | 20,354 |        |
| 82 | 14:43 | 3713,983 | 3806,906 | 255,748 | -0,077 | 3806,828 |      |     |            | 0:34     | 34    | 0,001    | 3806,827 | -0,702  | 3770,512 | 35,613 | 980200,693 | 78,924  | 980279,617 | 9,802 | 980232,617 | 47,000 | 27,653 | 19,346 | 0,692  | 20,038 |        |
| 83 | 14:59 | 3729,685 | 3823,050 | 167,087 | -0,083 | 3822,967 |      |     |            | 0:51     | 51    | 0,002    | 3822,964 | 15,435  | 3786,649 | 51,750 | 980216,830 | 51,563  | 980268,393 | 9,802 | 980231,991 | 36,403 | 18,067 | 18,336 | 0,751  | 19,087 |        |
| 84 | 15:15 | 3741,570 | 3835,269 | 103,398 | -0,089 | 3835,180 |      |     |            | 1:06     | 66    | 0,003    | 3835,178 | 27,648  | 3798,862 | 63,964 | 980229,044 | 31,909  | 980260,952 | 9,802 | 980231,699 | 29,254 | 11,180 | 18,073 | 0,902  | 18,975 |        |
| 85 | 15:38 | 3717,605 | 3810,630 | 227,503 | -0,095 | 3810,535 |      |     |            | 1:30     | 90    | 0,004    | 3810,531 | 3,002   | 3774,216 | 39,317 | 980204,397 | 70,207  | 980274,605 | 9,802 | 980232,306 | 42,299 | 24,599 | 17,699 | 0,823  | 18,522 |        |
| 35 | 15:57 | 3714,690 | 3807,633 | 254,969 | -0,099 | 3807,534 |      |     |            | 1:48     | 108   | 0,005    | 3807,529 | 0,000   | 3771,214 |        |            |         |            |       | 78,683     |        |        |        |        |        | 27,569 |
| 35 | 15:57 | 3714,690 | 3807,633 | 254,969 | -0,099 | 3807,534 | 0:56 | 56  | 8,325E-04  | 1:48     | 108   | 0,005    | 3807,529 | 0,000   | 3771,214 |        |            |         | 78,683     |       |            |        |        |        | 27,569 |        |        |
| 86 | 16:12 | 3701,050 | 3793,610 | 320,833 | -0,102 | 3793,508 |      |     |            | 0:15     | 15    | 0,012    | 3793,495 | -14,038 | 3757,180 | 22,277 | 980187,357 | 99,009  | 980286,366 | 9,802 | 980233,134 | 53,232 | 34,691 | 18,541 | 0,932  | 19,473 |        |
| 87 | 16:24 | 3704,919 | 3797,587 | 300,209 | -0,103 | 3797,484 |      |     |            | 0:27     | 27    | 0,022    | 3797,462 | -10,072 | 3761,146 | 26,243 | 980191,323 | 92,644  | 980283,968 | 9,802 | 980232,909 | 51,058 | 32,461 | 18,597 | 0,683  | 19,280 |        |
| 88 | 16:36 | 3708,091 | 3800,849 | 271,771 | -0,103 | 3800,745 |      |     |            | 0:39     | 39    | 0,032    | 3800,713 | -6,821  | 3764,398 | 29,494 | 980194,574 | 83,869  | 980278,443 | 9,802 | 980232,581 | 45,862 | 29,386 | 16,476 | 0,897  | 17,373 |        |
| 35 | 16:53 | 3714,739 | 3807,683 | 254,969 | -0,103 | 3807,580 | 0:56 | 56  | 0,047      | 3807,534 | 0,000 | 3771,219 |          |         |          |        |            | 78,683  |            |       |            |        |        | 27,569 |        |        |        |
| 45 | 10:20 | 3679,349 | 3771,298 | 425,049 | -0,052 | 3771,246 | 2:01 | 121 | -9,083E-04 | 0:00     | 0     | 0,000    | 3771,246 | 0,000   |          |        |            | 131,170 |            |       |            |        |        | 45,960 |        |        |        |
| 89 | 10:36 | 3701,763 | 3794,342 | 315,087 | -0,462 | 3793,880 |      |     |            | 0:16     | 16    | -0,015   | 3793,895 | 22,648  |          | 22,648 | 980187,728 | 97,236  | 980284,964 | 9,802 | 980235,792 | 49,172 | 34,070 | 15,102 | 0,709  | 15,811 |        |
| 90 | 10:53 | 3713,828 | 3806,746 | 247,845 | -0,041 | 3806,706 |      |     |            | 0:33     | 33    | -0,030   | 3806,736 | 35,489  |          | 35,489 | 980200,569 | 76,485  | 980277,054 | 9,802 | 980235,717 | 41,337 | 26,799 | 14,538 | 0,807  | 15,345 |        |
| 91 | 11:21 | 3723,681 | 3816,877 | 190,680 | -0,033 | 3816,844 |      |     |            | 1:01     | 61    | -0,055   | 3816,900 | 45,653  |          | 45,653 | 980210,733 | 58,844  | 980269,577 | 9,802 | 980235,741 | 33,836 | 20,618 | 13,218 | 1,013  | 14,231 |        |



|     |       |          |          |         |       |          |  |  |  |      |     |       |          |        |          |        |            |        |            |       |            |        |        |        |       |        |
|-----|-------|----------|----------|---------|-------|----------|--|--|--|------|-----|-------|----------|--------|----------|--------|------------|--------|------------|-------|------------|--------|--------|--------|-------|--------|
| 124 | 14:54 | 3752,383 | 3846,385 | 85,518  | 0,066 | 3846,451 |  |  |  | 1:09 | 69  | 0,006 | 3846,445 | 21,881 | 3795,309 | 73,017 | 980238,097 | 26,391 | 980264,488 | 9,802 | 980234,843 | 29,645 | 9,247  | 20,398 | 0,524 | 20,922 |
| 125 | 15:15 | 3744,949 | 3838,743 | 129,664 | 0,071 | 3838,814 |  |  |  | 1:30 | 90  | 0,008 | 3838,806 | 14,242 | 3787,670 | 65,378 | 980230,458 | 40,014 | 980270,472 | 9,802 | 980234,387 | 36,086 | 14,020 | 22,065 | 0,260 | 22,325 |
| 1   | 15:33 | 3731,095 | 3824,499 | 186,618 | 0,074 | 3824,573 |  |  |  | 1:48 | 108 | 0,009 | 3824,564 | 0,000  | 3773,428 |        |            | 57,590 |            |       |            |        | 20,179 |        |       |        |



Anexo 3 – Outliers existentes em cada amostra recolhida.

| Amostra | Ag | Al | As | Ba | Be | Bi | Ca | Cd | Co | Cr | Cu | Fe | K | Li | Mg | Mn | Mo | Na | Ni | P | Pb | Sb | Th | Tl | V | W | Zn |  |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|----|----|----|----|----|----|---|----|----|----|----|---|---|----|--|
| 1       |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 2       |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 3       |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 4       |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 5       |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 6       |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 7       |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 8       |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 9       |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 10      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 11      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 12      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 13      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 14      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 15      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 16      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 17      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 18      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 19      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 20      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 21      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 22      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 23      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 24      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 25      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 26      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 27      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 28      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 30      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 31      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 32      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 33      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 34      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 35      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 36      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 37      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 38      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 39      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 40      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 41      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 42      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 43      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 44      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 45      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 46      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 47      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 48      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |
| 49      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |   |    |  |





**Anexo 4 - Correspondência entre o número da amostra que é dado pelo programa STATISCA e o número que foi atribuído quando colhida.**

| <b>Nº elemento</b> | <b>Nº amostra colhida</b> | <b>Nº elemento</b> | <b>Nº amostra colhida</b> | <b>Nº elemento</b> | <b>Nº amostra colhida</b> |
|--------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|
| 1                  | 1                         | 35                 | 36                        | 69                 | 70                        |
| 2                  | 2                         | 36                 | 37                        | 70                 | 71                        |
| 3                  | 3                         | 37                 | 38                        | 71                 | 72                        |
| 4                  | 4                         | 38                 | 39                        | 72                 | 73                        |
| 5                  | 5                         | 39                 | 40                        | 73                 | 74                        |
| 6                  | 6                         | 40                 | 41                        | 74                 | 75                        |
| 7                  | 7                         | 41                 | 42                        | 75                 | 76                        |
| 8                  | 8                         | 42                 | 43                        | 76                 | 77                        |
| 9                  | 9                         | 43                 | 44                        | 77                 | 78                        |
| 10                 | 10                        | 44                 | 45                        | 78                 | 79                        |
| 11                 | 11                        | 45                 | 46                        | 79                 | 80                        |
| 12                 | 12                        | 46                 | 47                        | 80                 | 81                        |
| 13                 | 13                        | 47                 | 48                        | 81                 | 82                        |
| 14                 | 14                        | 48                 | 49                        | 82                 | 83                        |
| 15                 | 15                        | 49                 | 50                        | 83                 | 84                        |
| 16                 | 16                        | 50                 | 51                        | 84                 | 85                        |
| 17                 | 17                        | 51                 | 52                        | 85                 | 86                        |
| 18                 | 18                        | 52                 | 53                        | 86                 | 87                        |
| 19                 | 19                        | 53                 | 54                        | 87                 | 88                        |
| 20                 | 20                        | 54                 | 55                        | 88                 | 89                        |
| 21                 | 21                        | 55                 | 56                        | 89                 | 90                        |
| 22                 | 22                        | 56                 | 57                        | 90                 | 91                        |
| 23                 | 23                        | 57                 | 58                        | 91                 | 92                        |
| 24                 | 24                        | 58                 | 59                        | 92                 | 93                        |
| 25                 | 25                        | 59                 | 60                        | 93                 | 94                        |
| 26                 | 26                        | 60                 | 61                        | 94                 | 95                        |
| 27                 | 27                        | 61                 | 62                        | 95                 | 97                        |
| 28                 | 28                        | 62                 | 63                        | 96                 | 98                        |
| 29                 | 30                        | 63                 | 64                        | 97                 | 99                        |
| 30                 | 31                        | 64                 | 65                        | 98                 | 100                       |
| 31                 | 32                        | 65                 | 66                        | 99                 | 101                       |
| 32                 | 33                        | 66                 | 67                        | 100                | 102                       |
| 33                 | 34                        | 67                 | 68                        | 101                | 103                       |
| 34                 | 35                        | 68                 | 69                        |                    |                           |