

Prospecção Geofísica na região do Braçal - Malhada (Sever do Vouga)

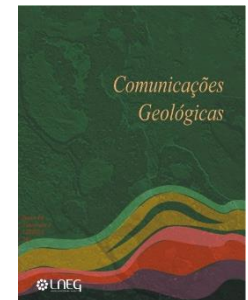
Geophysical Exploration in the Braçal - Malhada region (Sever do Vouga)

V. Valente¹, A. Martins¹, J. Ribeiro¹, F. Almeida¹, M. Matias^{1*}

Recebido em 31/03/2021 / Aceite em 24/09/2021

Publicado online em novembro de 2021

© 2021 LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia IP



Artigo original
Original article

Resumo: A região das Minas do Braçal, Malhada, Coval da Mó, cerca de 30 km a nordeste de Aveiro, situa-se na parte NW do Maciço Ibérico, mais concretamente na região noroeste da Zona de Cisalhamento Porto-Tomar. A atividade mineira nesta região remonta à ocupação romana da Península, intensificou-se a meados do século XIX e cessou na década de setenta do século passado. Esta região tem sido objeto de estudos geológicos aprofundados e alvo de campanhas de Prospecção, ainda que dispersas. Este trabalho apresenta uma campanha de Prospecção Geofísica numa área de cerca de 42 km² na região envolvente das antigas minas do Braçal, Malhada e Coval da Mó. A campanha incluiu mapeamentos magnético, de campo total, e gravimétrico. Os dados foram processados de modo a extrair e potenciar a informação geológica, estrutural e mineira. Assim são apresentados mapas regionais, residuais, de gradientes e desconvolução de Euler interpretados com a informação geológica e mineira conhecida.

Palavras-chave: Braçal-Malhada, Gravimetria, Magnetometria, Modelação, Prospecção.

Abstract: The Braçal-Malhada, Coval da Mó mines region, 30 km northeast of Aveiro, is located on the NW part of the Iberian Massif in the area of the Porto-Tomar shear Zone. Mining activity dates from the Roman occupation times of the Iberian Peninsula, reached its peak in mid-19th century and finished in the 60/70's of the last century. Several geological studies have been undertaken in this region, but only limited and sparse exploration surveys have been done in the area.

This work presents the results of a Geophysical Exploration survey over an area of about 42 km². The survey consisted of magnetic (total field) and gravity mapping. Data were processed to extract regional, and produce residuals, gradients, and Euler deconvolution maps to be compared with local geological, tectonic and mining information.

Keywords: Braçal-Malhada, Gravimetry, Magnetometry, Modelling, Exploration.

¹ Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, 3810-093 Aveiro, Portugal.

*Autor correspondente/Corresponding author: mmatias@ua.pt

1. Introdução

As antigas Minas do Braçal – Malhada exploraram mineralizações relacionadas com o chamado “Grande Filão Metalífero das Beiras”, Ribeiro (1860), nomenclatura utilizada para designar um conjunto de mineralizações, com orientação geral N-S e cerca de 10km de largura, que se estendem aproximadamente de São João da Madeira até Coimbra. A mineralização é do tipo Cu-Pb-Zn com

Au e Ag como subprodutos, Gonçalves e Hespanha de Oliveira (1987). Convém referir que não se trata de um filão, mas sim de vários, muitos com orientações diferentes da do alongamento da faixa e, segundo Chaminé (2000) estes filões podem ocorrer em qualquer tipo de rocha da região (graníticas, xistosas ou quartzíticas), existindo mesmo alguns que atravessam estas litologias sem alteração, Gonçalves e Hespanha de Oliveira (1987).

A campanha de prospecção geofísica localizou-se no centro-norte de Portugal, a Nordeste de Aveiro, entre Sever do Vouga e Albergaria-a-Velha, e abrange uma área de cerca de 42 km², limitada aproximadamente entre as latitudes de 40,69° N a 40,75° N, e longitudes de 8,37° W a 8,45° W, figura 1.

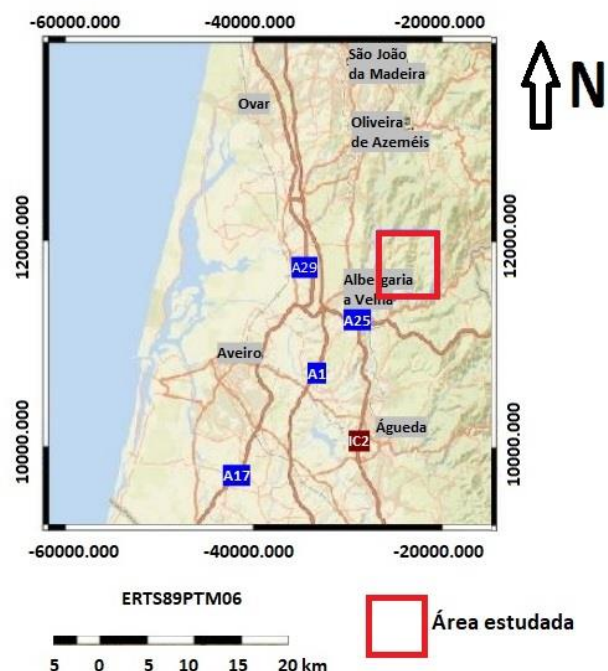


Figura 1. Localização da área em estudo (delimitada pelo retângulo a vermelho).

Figure 1. Study Area (red rectangle area).

Trata-se de uma região montanhosa, com variações topográficas significativas, e ocupada por zonas florestais, com predominância do eucalipto, que dificulta o trabalho de campo e a utilização de uma grelha regular para efetuar as medidas de campo. A zona estudada localiza-se geologicamente na parte Noroeste do Maciço Ibérico, em estreita ligação com a 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), figura 2.

Esta região tem sido alvo de vários trabalhos geológicos, por exemplo, Severo Gonçalves (1974), Aguado (1992), Chaminé *et al.* (1995), Chaminé (2000), Chaminé *et al.* (2003), Ribeiro *et al.* (1980), Ribeiro *et al.* (1995). Os Serviços Geológicos de Portugal publicaram duas cartas à escala 1:50000 da região, folha 13-D, Oliveira de Azeméis, em 1980, Pereira *et al.* (1980) e (2006), Pereira *et al.* (2006), e a carta 1:100000 foi publicada em Chaminé (2000). Mais recentemente Gomes (2008) publicou um mapa geológico da zona em estudo e Oliveira (2014) publicou um mapa litológico, à escala 1:15000.

No entanto, a maior parte, senão mesmo a totalidade da informação que se tem da região, é de natureza superficial a que se pode adicionar informação recolhida nos relatórios da atividade mineira que, como mencionado anteriormente, cessou há mais de cinquenta anos.

Os métodos de prospeção geofísica têm sido utilizados de modo disperso e inconsistente na região. Após alguns trabalhos iniciais efetuados por técnicos do extinto Serviço de Fomento Mineiro, na década de setenta, que consistiram na realização de uma campanha utilizando o método Turam, Gonçalves e Hespanha (1987) realizaram um mapeamento magnético (componente

vertical do campo) restrito às proximidades das Minas do Braçal e da Malhada e, posteriormente, Almeida (1993), alguns perfis de Polarização Induzida na zona das minas.

Tendo em conta estes trabalhos e todas as informações geológicas e mineiras a eles associados, recentemente realizou-se uma extensa campanha de prospeção geofísica e cartografia geológica numa área de 42 km² na região das minas do Braçal-Malhada, Valente (2017), Martins (2017) e Valente *et al.* (2018).

A região em estudo está descrita em Severo Gonçalves (1974), à escala 1:80000. Os dados desta carta foram georreferenciados em SIG e serviram como base de novos trabalhos de campo e cartografia descritos em Valente (2017) e Martins (2017). A rápida e intensa cobertura da zona em estudo foi possível utilizando dispositivos móveis com posicionamento em tempo real, aplicação de telemóvel QField. Assim, foi possível obter no campo, em tempo real, a posição do utilizador e visualizar toda a informação georeferenciada das observações em Severo Gonçalves (1974) bem como as cartas militares 1:25000 da região, cartas 164 e 175 da série M888.

Os trabalhos de prospeção geofísica consistiram no mapeamento magnético, campo total, e gravimétrico da área considerada. Os dados foram processados de modo a extrair informação que pudesse ser interpretada e correlacionada com os dados de geologia e de trabalhos mineiros da área em estudo.

As campanhas magnética e gravimétrica, incluindo meios aéreos, são usadas de um modo rotineiro para auxiliar no mapeamento geológico e, também, para identificar alvos a ser estudados posteriormente. De facto, estes métodos permitem recolher dados de forma rápida e económica, existindo uma grande experiência na sua utilização em trabalhos de índole regional,

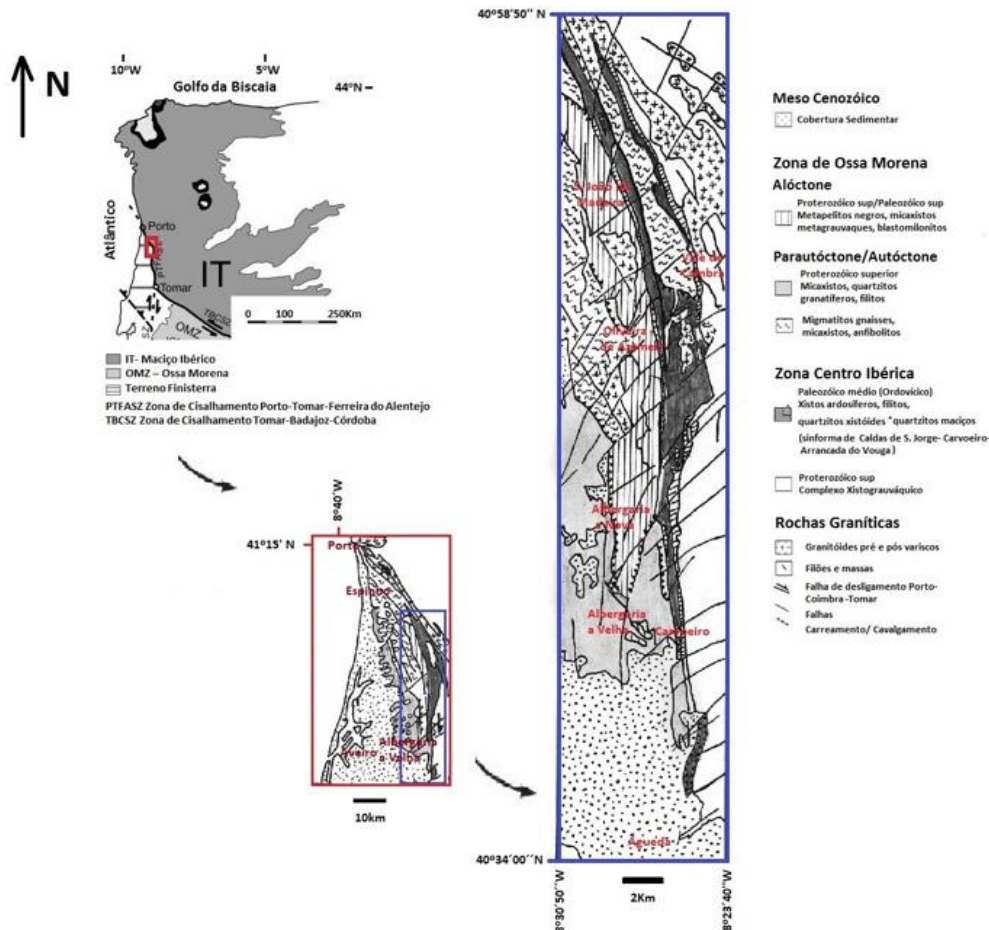


Figura 2. Contexto Geológico das Minas Braçal-Malhada (retângulo a vermelho). Adaptado de Ribeiro *et al.* (2010) e Teixeira *et al.* (2007).

Figure 2. Geology context of Braçal-Malhada mining area (red rectangle). Adapted from Ribeiro *et al.* (2010) e Teixeira *et al.* (2007).

numa fase inicial de projetos de prospeção, Gibson *et al.* (1998), Hinze *et al.* (2013), Milsom (1989). Adicionalmente, os dados recolhidos numa dada altura podem ser facilmente reutilizáveis e adicionados a dados de outras campanhas feitas anterior ou posteriormente. Também estão disponíveis e facilmente implementáveis várias técnicas de processamento de dados que permitem otimizar a extração de informação dos dados de campanhas de prospeção magnética e gravimétrica, Fairhead (2015), Mantlik *et al.* (2010).

Os fundamentos dos métodos e processamento de dados pode ser encontrado, por exemplo, em Blakely (1995) e LaFehr *et al.* (2012).

O problema clássico da complexidade e morosidade das correções topográficas em dados de gravimetria foi ultrapassado pela digitalização de mapas, como descrito em Almeida *et al.* (2018), e pela possibilidade de obter coordenadas geográficas e altitude de qualquer estação com precisão adequada recorrendo a campanhas de GPS, Lourenço (2006) e testes no local, Almeida *et al.* (2018).

Assim, as finalidades deste trabalho são:

- Obter pela primeira vez um mapeamento gravimétrico e magnético da região envolvente das minas do Braçal-Malhada, Coval da Mó;
- Processar os dados dos mapas gravimétrico e magnético de modo a extrair informação geológica, estrutural e mineira daquela região.

2. Mapa geológico da região e breves notas sobre a história mineira da região

Como mencionado na introdução, devido à complexidade da geologia da região, diversos autores nela desenvolveram trabalhos de monta. Desde já se adverte que não é finalidade deste trabalho discutir ou apresentar novos dados sobre a geologia da região. Por isso, para apoiar as campanhas de prospeção geofísica, Valente (2017) e Martins (2017) apresentaram uma síntese dos trabalhos de cartografia geológica e estrutural da área em questão, complementada com observações e trabalhos de cartografia geológica realizados onde se efetuaram os mapeamentos geofísicos.

A cartografia geológica da região sobre a qual se efetuaram trabalhos de prospeção geofísica foi obtida a partir de cartografia de campo auxiliada pelo mapa, na escala 1:80000, Severo Gonçalves (1974), único documento disponível que abrange esta área na totalidade. Por isso, como foi descrito anteriormente, todos os dados cartográficos em Severo Gonçalves (1974) foram georreferenciados para servirem com base das operações de campo.

Assim, o mapa geológico obtido, na figura 3, adaptado de Valente (2017) e Martins (2017) foi a base da campanha de prospeção geofísica na região envolvente das minas do Braçal-Malhada, Coval da Mó e, para facilitar a localização imediata no terreno, foi implantado sobre as cartas militares da zona.

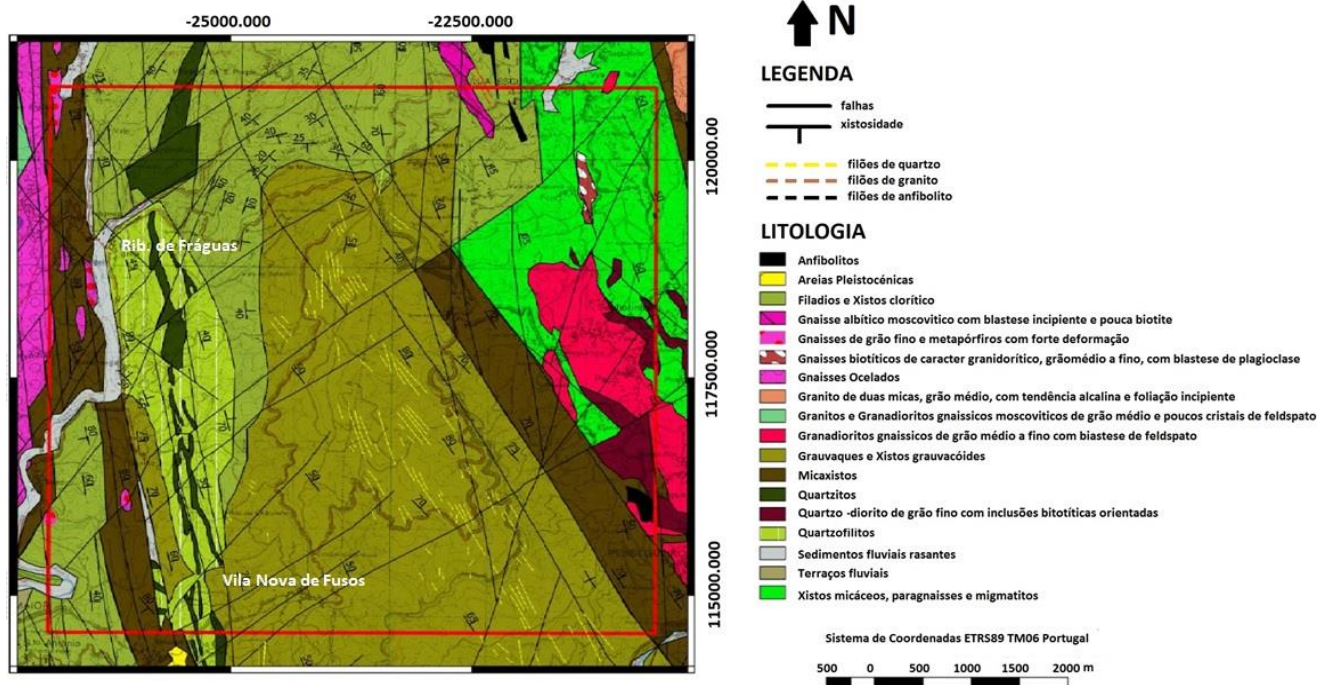


Figura 3. Mapa geológico da região baseado em Severo Gonçalves (1974) e adaptado de Valente (2017) e Martins (2017).

Figure 3. Geological map of the area, based in Severo Gonçalves (1974) and adapted from Valente (2017) and Martins (2017).

Os trabalhos mineiros na região das Minas do Braçal – Malhada desenvolveram-se desde os tempos da ocupação romana da Península Ibérica (Braz Martins, 2011). Contudo a atividade mineira intensificou-se partir de meados do séc. XIX, com a introdução de máquinas a vapor e novos sistemas de bombagem, tendo cessado na década de sessenta do século XX. A história mineira da região foi sistematizada por Simões e Maia (1988) a partir dos registos das Camaras Municipais da região e de documentos do, entretanto extinto, Serviço de Fomento Mineiro.

No início do século XX, realizaram-se trabalhos para Oeste das Minas do Braçal, seguindo ou investigando a continuidade da mineralização para Oeste, até às Minas do Coval da Mò.

A atividade mineira nesta região está compilada em Almeida (1993). A mineralização ocorre em filões implantados ao longo das fraturas principais, com orientação variável e posseja bastante irregular. Estes filões, com inclinação para Sul, apresentam uma associação de calcite, galena e pirite, com quartzo brechificado, e mineralizam caixas de falha argilosas. A galena, por vezes argéntifera, foi o principal mineral explorado nestas minas.

As mineralizações estão associadas a fraturas que ocorrem na região em particular às orientações N-S a N15W, N60W a N80W (que corresponde às mineralizações do Braçal e Oeste Braçal) e N45E a N60E.

A figura 4 mostra as localizações das minas e filões sobrepostos ao mapa geológico da figura 3.

3. Trabalho de campo de Geofísica

A recolha de dados foi condicionada pela topografia do terreno, cobertura arbórea e falta de acessos e, por estes motivos, não foi possível utilizar uma grelha regular de medidas. Assim, usaram-se os caminhos existentes e programaram-se os pontos de medida de

modo a cobrir tão regularmente quanto possível toda a área em questão.

A programação das medidas de gravimetria teve o cuidado adicional de modo a localizá-las em pontos onde as correções topográficas respeitantes às zonas próximas do ponto de medida fossem desprezáveis. Estes cuidados adicionais não permitiram que o espaçamento entre as medidas gravimétricas fosse o mesmo que o das medidas magnéticas. Toda a informação topográfica necessária à campanha gravimétrica foi obtida com a utilização de “Differential Global Positioning System” e a precisão necessária à execução destas medidas levou a tempos de estacionamento longos.

3.1 Mapeamento Magnético

O mapeamento magnético consistiu na medida do campo magnético total, com um magnetómetro de protões Geometrics de precisão de 1 nTesla. Efetuaram-se medidas em 1013 estações, com um espaçamento médio de cerca de 120 m, ou seja, a largura das anomalias deve ser superior a 480 m. De facto, como as anomalias magnéticas são dipolares, a sua definição requer cinco pontos de medida, ou seja, uma largura mínima de 480 m.

O Observatório Geofísico e Astronómico de Coimbra (OGAC) dista 62 km do ponto mais afastado da campanha de campo. Como esta distância é aceitável, Kearey *et al.* (2002), Lourenço (2006) e Breiner (1999), os registos do campo magnético obtidos no OGAC foram usados para verificar a estabilidade no tempo do campo magnético terrestre durante o trabalho de campo, e para efetuar as correções necessárias da deriva diurna acumulada aos dados de prospeção magnética.

O mapa magnético da região obteve-se utilizando a krigagem como método de interpolação, utilizando parâmetros de interpolação que respeitam a distância original entre as medidas,

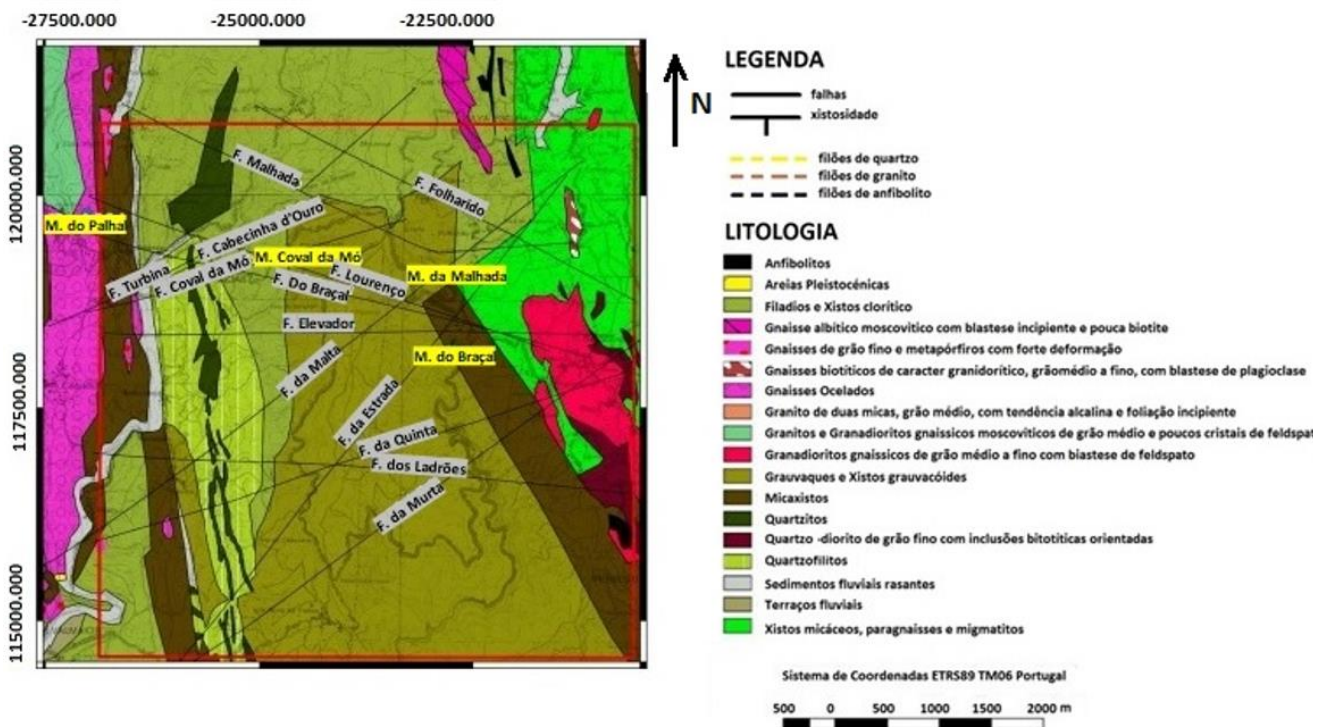


Figura 4. Mapa Geológico com a localização das minas e filões, baseado em Severo Gonçalves (1974), adaptado de Valente (2017) e Martins (2017).

Figure 4. Geological Map with mines and veins location, based in Severo Gonçalves (1974), adapted from Valente (2017) e Martins (2017).

ou seja, a malha utilizada não foi inferior á distância entre as medidas de campo.

3.2 Mapeamento gravimétrico

O mapeamento gravimétrico da região foi feito com o gravímetro Lacoste-Romberg 998, um espaçamento médio de 370 m entre medidas, de acordo com as condicionantes já abordadas anteriormente. A largura das anomalias registadas deve ser superior a 740 m. Uma vez que, as anomalias gravimétricas têm caracter polar, são necessários pelos menos três pontos para definir uma anomalia, pelo que, a largura mínima das anomalias deve ser 740 m.

O mapeamento gravimétrico necessitou de uma base principal localizada na estação topográfica de 1ª ordem do Redondo e quatro bases secundárias para limitar os tempos dos circuitos. A cobertura da zona dos granitoides, na parte oriental da região, impunha pelo menos mais uma base secundária com grandes dificuldades de acesso pelo que não foram efetuadas medidas sobre aquelas formações, pois também não existem mineralizações conhecidas nesta região.

Cada medida gravimétrica resulta da média de quatro leituras no mesmo ponto, de modo a eliminar flutuações locais nas leituras, muitas vezes responsáveis por efeitos erráticos, e erros inerentes á toma de numa só medida.

Na redução dos dados de gravimetria, a estimativa da densidade assume particular importância. Durante a campanha recolheram-se amostras frescas das rochas aflorantes em toda a área estudada e obteve-se um valor médio de 2,58 g/cm³ para as medidas da densidade, posteriormente utilizado em todas as reduções. A justeza da utilização deste valor foi confirmada, uma

vez que permitiu obter uma correlação entre a distribuição da anomalia de Bouguer e a topografia de 0,00013, ou seja 0,01%.

4. Mapas magnético – campo total – e de anomalia de Bouguer

Os mapas Magnético de Campo Total e de Anomalia de Bouguer apresentam-se na figura 5. Como já foi mencionado anteriormente, estes mapas foram obtidos por krigagem observando uma malha de 350 m, ou seja, ligeiramente superior ao espaçamento inicial das medidas de modo a evitar a inclusão de artefactos originados pelo processo de interpolação.

O mapa magnético, à esquerda na figura 5, apresenta valores que variam de 43100 a 45900 nT, dentro da ordem de grandeza dos valores do campo para a região. São claramente identificados dois grandes alinhamentos, A e B, com direção aproximada N-S e NNO-SSE, respetivamente, e outros alinhamentos, I, II e III com direções variando de N45E a N60E. Na parte Este do mapa, A1, surgem os valores mais baixos de campo magnético.

Por sua vez, o mapa de anomalia de Bouguer, à direita na figura 5, mostra variações de valores de cerca de 10 mGal e uma tendência crescente de NE para SO o que está de acordo com a distribuição regional de valores da anomalia de Bouguer em Portugal Continental. O mapa revela uma região central L5 onde os valores são consistentemente mais elevados e, embora menos destacados e mais difíceis de identificar, dois alinhamentos A, sensivelmente N-S, e B, NNO-SSE, mais dois II e III de direção aproximada N45E.

Comparando os alinhamentos definidos nestes mapas com os mapas da figura 3 é claro que os alinhamentos têm natureza

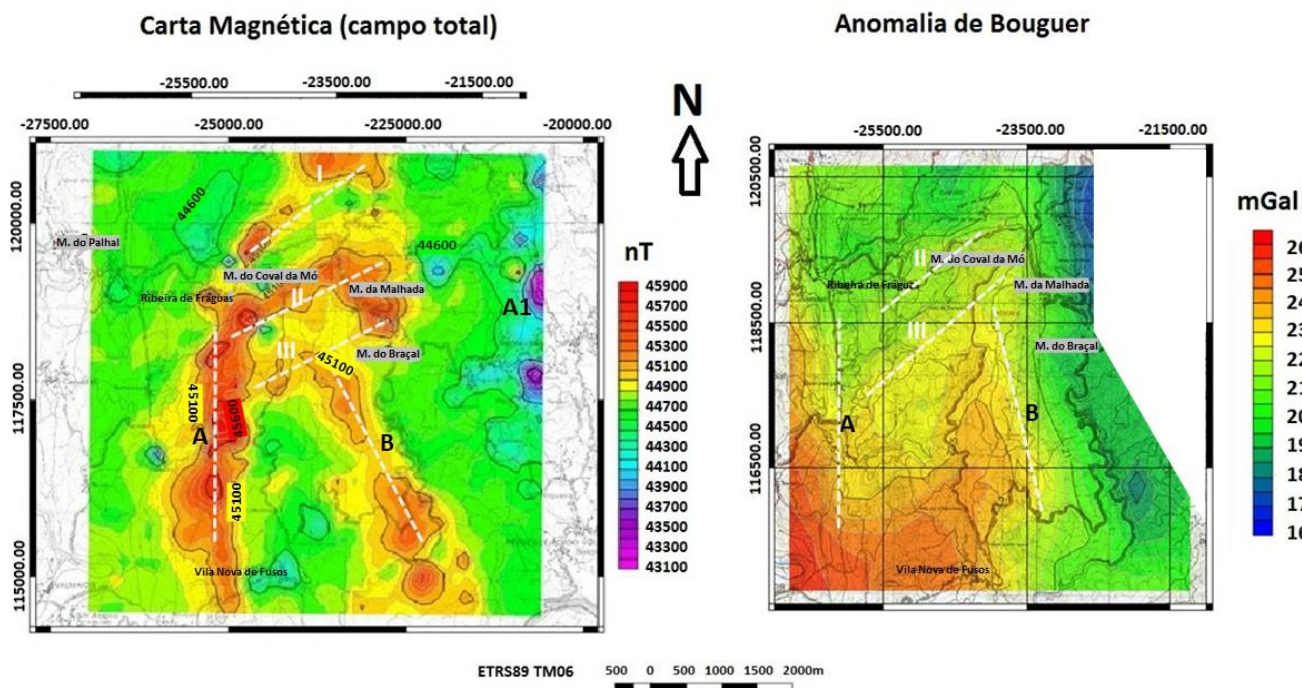


Figura 5. Mapa magnético – campo total – e mapa de anomalia de Bouguer.

Figure 5. Magnetic map – total field – and Bouguer anomaly map.

estrutural, ou seja, os alinhamentos A e B estão relacionados com a direção geral da zona de cisalhamento enquanto os alinhamentos I a III estão relacionados com falhas na região. A zona onde se registaram valores mais baixos de campo magnético é a A1, no mapa à esquerda da figura 5, e corresponde à zona onde afloram os granitos e granitoides.

A zona central, compreendida entre os alinhamentos A, B e III corresponde a uma região onde predominam grauvaques e xistos grauvacóides.

5. Mapa magnético residual e Mapa gravimétrico residual

A partir dos mapas magnético de campo total e de anomalia de Bouguer obtiveram-se os mapas residuais na figura 6. Nesta figura o mapa da esquerda representa a residual magnética com implantação das falhas da região, o mapa do centro representa a residual magnética com os filões e, por fim, o mapa da direita representa a residual gravimétrica sobre o fundo geológico.

No caso da residual magnética, a componente regional do campo foi avaliada, em separado, de duas maneiras distintas. Assim, recorreu-se a interpolação polinomial de segundo grau das medidas e, separadamente, a modelação recorrendo ao IGRF12 – National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Para que a comparação entre os dados do modelo IGRF12 e os dados de campo não fossem de algum modo afetados por artefactos matemáticos, o modelo IGRF12 foi gerado com um espaçamento entre pontos de 111 m para a grelha ser comparável com a das medidas de campo. Após análise dos resultados decidiu-se utilizar a componente residual obtida pela simples subtração matricial entre os dados regionais obtidos por interpolação polinomial de segunda ordem e os dados de campo.

O processamento dos dados de gravimetria para obter uma carta residual requer alguma reflexão. A extensão da campanha não permitiu, por motivos logísticos, obter medidas afastadas da região em estudo que possibilitassem a remoção da componente

regional. Por este motivo, a residual gravimétrica foi obtida pela simples subtração matricial entre os dados de campo e uma superfície polinomial de segundo grau, obtida a partir dos dados de campo e usando um espaçamento de 350 m.

O mapa da esquerda da figura 6 mostra os alinhamentos magnéticos, alguns já identificados no mapa magnético regional da figura 5. Assim os alinhamentos a tracejado A e B na figura 6 têm uma direção geral concordante com a do cisalhamento. A branco, na figura 6, também estão marcados os alinhamentos I a VI, que coincidem com falhas interpretadas localmente e direção que varia entre N45E e N60E. Contudo o alinhamento IV não aparece associado a nenhuma falha interpretada localmente.

Sobre o complexo das Minas Braçal-Malhada desenvolve-se uma anomalia magnética positiva. No mapa à esquerda da figura 6 esta anomalia parece estar delimitada a Este e Oeste por duas falhas interpretadas com direção aproximada N45W e, a Norte e a Sul, por outras duas outras falhas, mas agora de orientação N45E. Na região das Minas do Coval da Mó a região anómala desenvolve-se imediatamente a Sul das Minas e de uma falha interpretada N45E. Nesta região, os filões pendem para Sul o que pode justificar o aparente deslocamento da anomalia.

As formações de Grauvaques e Xistos Grauvacóides, entre os alinhamentos A, B e III estão também definidas e delimitadas.

No centro da figura 6, representa-se a anomalia residual magnética sobre os filões cartografados da região. A anomalia positiva associada ao Complexo Braçal- Malhada, encontra-se associada a quatro filões, Lourenço, Braçal, Malta e Estrada, que delimitam a anomalia em todas as direções exceto a NE. Nesta direção o Filão da Malhada é deflectido para Este e não fecha a anomalia. No entanto a continuação deste filão fecharia completamente a anomalia.

Na figura 6 é claro que os filões Braçal e Lourenço se estendem para Oeste das Minas do Braçal-Malhada, em direção às Minas do Coval da Mó, sobre uma anomalia magnética positiva. Esta anomalia tem direção semelhante à da galeria Lourenço e aos trabalhos de Oeste Braçal, realizados no início do séc. XX, que

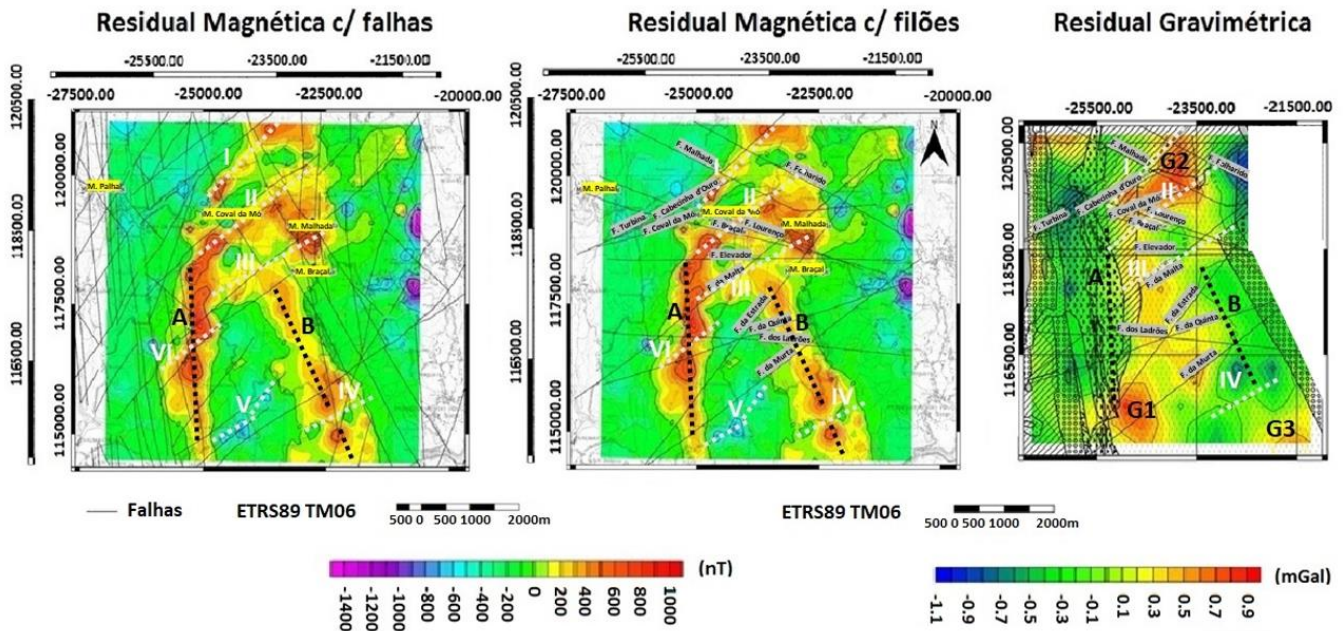


Figura 6. Mapa da anomalia magnética residual sobre falhas (esquerda), sobre filões (centro) e mapa residual da anomalia de Bouguer (sobre geologia e filões) à direita.

Figure 6. Magnetic residual map of the magnetic anomaly over Faults (left), over veins (centre) and Bouguer anomaly residual map over the geology and the veins.

passam por trabalhos de pesquisa anteriores de Schiappa de Azevedo em meados do século XIX, Almeida (1993) Severo Gonçalves (1974).

O alinhamento positivo A é interrompido a Norte e o corpo responsável por este alinhamento deve ter uma geometria vertical, ou próxima da vertical, pois só são definidos valores positivos do campo, estando eventualmente os polos negativos muito profundos e sobrepostos espacialmente aos positivos.

À direita da figura 6 representa-se o mapa da anomalia residual de Bouguer, obtida com os constrangimentos anteriormente expressos, sobre o fundo geológico e filões. O fundo geológico encontra-se aqui representado dum modo semelhante ao da figura 4. Neste mapa são distintos os alinhamentos A e B, tracejado preto, que correspondem aos alinhamentos N-S e NNO-SSE já identificados nas cartas magnéticas. Também se identificam os alinhamentos I a IV, tracejado branco, com direções entre o N45E e N60E que correspondem a fracturação local. Neste mapa surgem três anomalias gravimétricas, de dimensão geográfica reduzida, G1, G2 e G3. As anomalias G1 e G3, de menor dimensão, não parecem estar associadas a estruturas conhecidas. Todavia, a anomalia G2 está associada ao complexo Braçal – Malhada, Coval da Mó.

A região definida pelos alinhamentos A, B e III mostra valores residuais de Bouguer mais elevados e corresponde aos Grauvaques e Xistos Grauvacóides, o que se justifica pela maior densidade destas formações.

6. Mapas de gradiente norte-sul e este-oeste

Os mapas residuais (Fig. 6) revelam extensas zonas anómalas com orientação aproximada N-S e outras, embora menos extensas e intensas, com orientação variando de N45E a N60E. No entanto, não existe nenhum filão mineralizado e explorado com direção Norte-Sul ou próxima, como pode ser confirmado na figura 3 e nas descrições dos trabalhos mineiros (Almeida, 1993). Por isso, o interesse em conseguir informação detalhada sobre as diferentes estruturas presentes e sua possível associação a trabalhos mineiros passados. Nesse sentido, foram calculados os gradientes magnético e gravimétrico permite uma melhor distinção entre as diferentes estruturas presentes.

6.1 Mapas de gradiente norte-sul

Assim, a figura 7 mostra os gradientes magnético e gravimétrico N-S. Estes mapas mostram, em particular, a fracturação E-O e não permitem desenhar os contornos das formações de grauvaques e xistos grauvacóides. Também mantêm a assinatura dos alinhamentos magnéticos associados às falhas com direção N45E, que passam pelo Coval da Mó e pelo Braçal. Os alinhamentos mais evidentes estão representados pelas linhas a tracejado brancas e todos confirmam e tornam mais evidentes os alinhamentos de natureza estrutural anteriores. No entanto, o alinhamento magnético I desenha-se, embora de um modo muito ténue, de

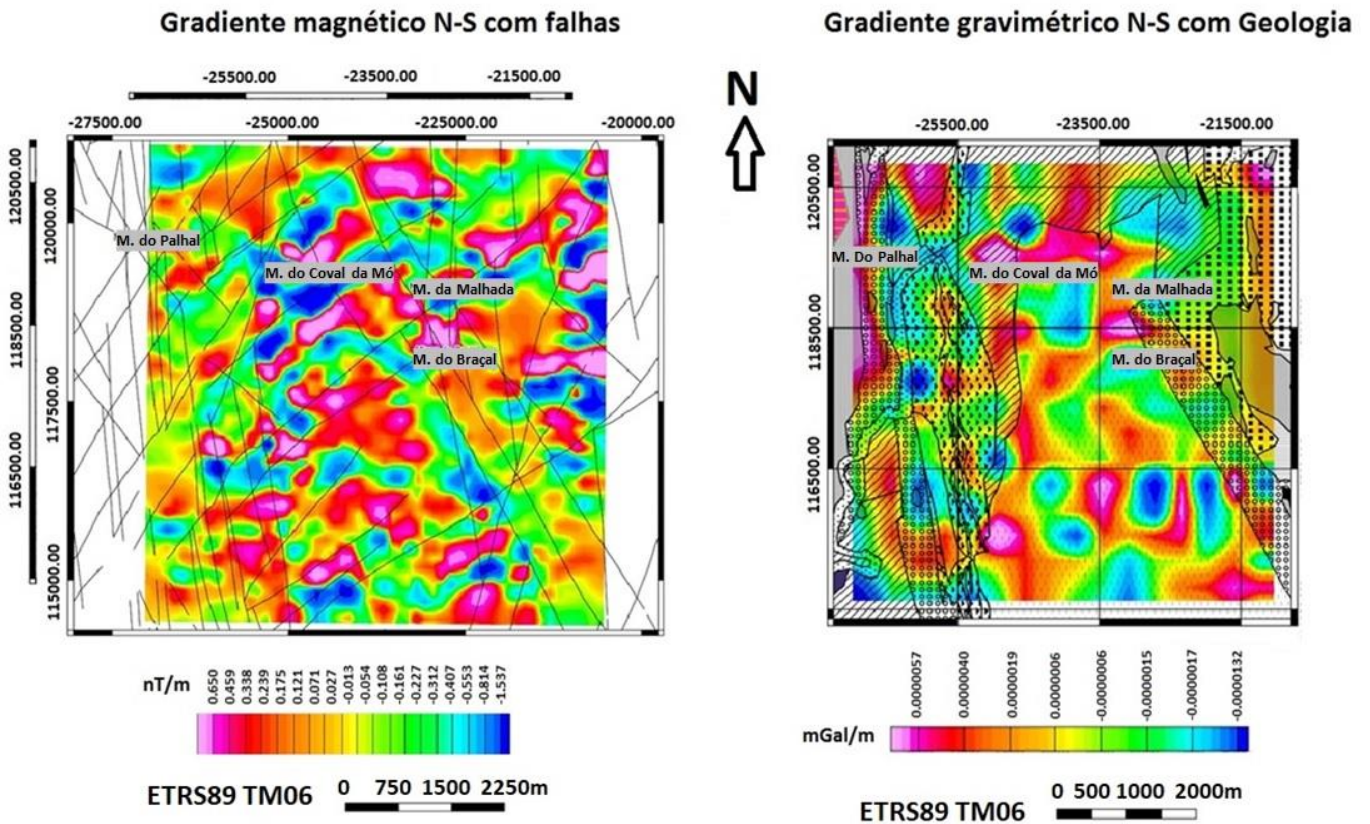


Figura 7. Gradiente magnético N-S (esquerda) e gradiente gravimétrico N-S (direita).

Figure 7. N-S Magnetic gradient (left) and gravimetric gradient (right).

Oeste em direção à localização das minas do Braçal Malhada, é aqui interrompido, mas depois parece ter alguma continuidade para Este na direção das formações graníticas e granodioríticas.

No caso dos gradientes gravimétricos ainda são visíveis, na figura 7, dois alinhamentos N-S junto à conhecida zona de cisalhamento.

6.2 Mapas de gradiente este-oeste

Os gradientes E-O estão na figura 8 e revelam, em particular, a fracturação Norte-Sul, desenhando os contornos das formações de grauvaques e xistos grauvaquóides. Contudo, mantêm a assinatura dos alinhamentos associados às falhas com direção N45E, que passam pelo Coval da M6 e pelo Braçal.

Assim, à esquerda o gradiente magnético delimita claramente os dois alinhamentos aproximadamente N-S já identificados. É ainda possível definir outros dois alinhamentos N45E de natureza estrutural. À direita, o gradiente gravimétrico fornece informação semelhante embora só seja possível definir inequivocamente um alinhamento N45E.

No entanto, saliente-se que na região Sudeste do mapa os gradientes gravimétricos N-S e E-O definem claramente uma zona anómala embora limitada espacialmente.

7. Índices estruturais de Euler nos dados de campo magnético

A utilização da desconvolução de Euler na interpretação de dados de prospeção magnética e gravimétrica, consiste em considerar

modelos simples para as fontes anómalas e, deste modo, permitir propor a localização e estimativa de profundidades dessas fontes, sendo um método estabelecido e conhecido, Reid *et al.* (1990), Mushayandebvu *et al.* (2001), Fairhead (2015). As soluções obtidas pela desconvolução Euler estão associadas ao índice estrutural N (ou SI do inglês *Structural Index*), que, sumariamente, é a taxa de decaimento da anomalia com a distância, Barbosa e Silva (2005). Este índice estrutural N é um indicador da forma geométrica da fonte anómala.

Para o campo magnético, os índices de Euler podem ter vários valores que representam as seguintes geometrias Reid *et al.* (1990), Fairhead (2015):

- Índice 0 corresponde a um modelo de contacto geológico simples e regiões de gradientes fracos – Índice 1, a diques verticais ou soleiras, ou seja, linha de monopólos;
- Índice 2 a cilindros horizontais ou verticais, linha de dipolos;
- Índice 3 a esferas, modelos 3D, esferas magnetizadas, ou seja, dipolos isolados.

Para o campo gravítico os índices de Euler, SI, os valores variam de 0 a 2, Reid *et al.* (1990) e, para a mesma estrutura, o SI n da gravimetria corresponde ao SI n+1 em magnetometria, Fairhead (2015).

Muitas vezes a aplicação da desconvolução de Euler revela uma nuvem de soluções o que dificulta a escolha das soluções apropriadas e, por isso a escolha do índice apropriado, tem sido a maior dificuldade da aplicação deste método. Embora a presença de ruído nos dados também aumente a dispersão de soluções apresentadas, tem sido referenciado um critério empírico para

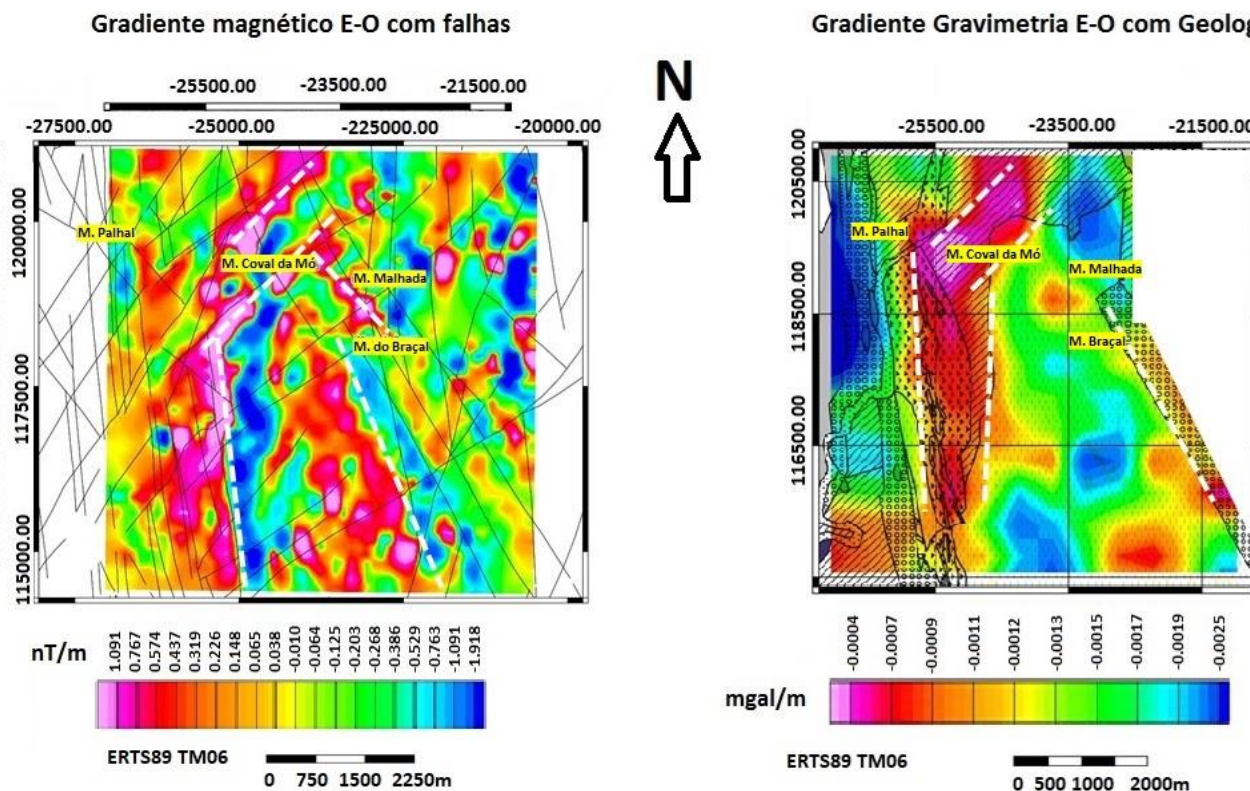


Figura 8. Gradiente magnético E-O (esquerda) e gradiente gravimétrico E-O (direita).

Figure 8. E-O Magnetic gradient (left) and gravimetric gradient E-O (right).

escolha do índice o valor de SI que produz menor dispersão de soluções, Thompson (1982) e Barbosa e Silva (2005).

Os mapas referentes aos diferentes SI para os dados de magnetometria e gravimetria estão nas figuras 9 e 10. O cálculo da desconvolução de Euler foi feito com uma janela 10 vezes o lado da malha dos dados após regularização. Nestes mapas as linhas tracejadas representam alinhamentos interpretados anteriormente.

No caso dos dados de magnetometria em Sever do Vouga, os SI 1 e SI 2 foram os índices que forneceram menor dispersão de soluções e estas estão representadas na figura 9.

SI 1

O mapa da esquerda da figura 9 refere-se ao índice estrutural 1, isto é, geometrias tipo dique ou soleira, linhas de monopólos em que a espessura da fonte é muito menor que a sua profundidade.

De um modo geral, as profundidades calculadas são mais baixas no Complexo Mineiro do Braçal-Malhada e mais elevadas no alinhamento NE-SO a Norte das minas do Coval da Mó. O mesmo se passa no sector sul da anomalia positiva N-S e, em parte, na anomalia positiva mais a oriente, com profundidades médias a altas nesses locais.

Neste mapa são também marcadas fontes que definem alinhamentos aproximados N-S e NNO-SSE que correspondem aos alinhamentos A e B da figura 5. Estes alinhamentos correspondem a profundidades variáveis, de um modo geral superiores a 180 m. No lado ocidental, A, profundidades são mais elevadas e aumentam para Sul, onde se registam os maiores valores, superiores a 280 m.

No entanto, entre as Minas do Braçal e da Malhada surge um alinhamento correspondente, direção NNE-SSO, a profundidades

menores, superiores a 80 e inferiores a 190 m, que coincide com a localização do filão da Estrada, figura 4.

A norte das Minas do Coval da Mó surge outro alinhamento de anomalias, também com profundidade menor, inferior a 140 m, que corresponde à localização do filão da Cabecinha de Ouro e, mais a Nordeste, um alinhamento de anomalias mais profundas, profundidade superior a 230 m, com direção NE-SO, que corresponde geograficamente à localização de outro filão sem nome atribuído na figura 4.

SI 2

O mapa referente ao índice 2, cilindros dipolares, estão à direita na figura 9. Em relação ao mapa de índice 1, as soluções agora encontradas estão mais profundas, como seria espectável pois o índice SI 2 representa formações dipolares, marca a profundidade ao centro do dipolo.

O mapa de índice 2 delimita bastante bem as formações de Grauvaques e Xistos Grauvacóides, e mantém a informação referente aos dois alinhamentos, A e B, agora mais profundos, a Norte das Minas do Coval da Mó, e entre as Minas do Braçal e da Malhada, e já revelados no mapa referente ao índice 1.

No entanto na região das minas do Braçal –Malhada, o índice estrutural 2 define duas orientações claras, isto é, NO-SE e NE-SO que se cruzam imediatamente a Norte das Minas do Braçal. O mesmo comportamento observa-se na região das Minas do Coval da Mó. Neste caso aquelas direções cruzam-se a Sul da localização das Minas, mas os filões mineralizados pendem para Sul nesta região, o que pode justificar as soluções obtidas.

Na parte central, onde ocorrem os menores valores da anomalia residual magnética, o índice 2 também define dois

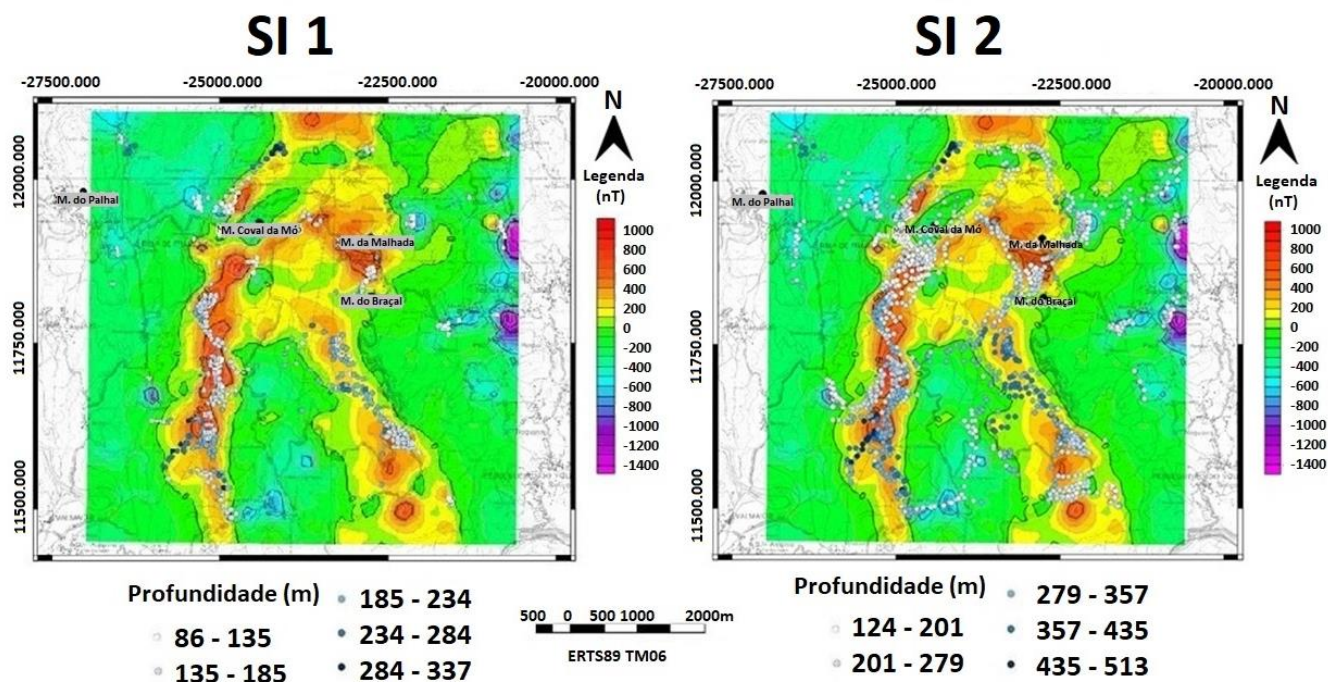


Figura 9. Índices de Euler – Magnética.

Figure 9. Euler Index – Magnetics.

alinhamentos, um praticamente E-O que continua para O com um alinhamento SSO-NNE a Sul do Filão da Murta.

As direções definidas pelas soluções dos índices de Euler também conformam com falhas cartografadas. Assim, na região das minas do Braçal- Malhada, são videntes as falhas com direções

SO-NE e NO-SE muito próximas dos eixos dos índices de Euler. O mesmo ocorre na região das minas do Coval da Mó.

A região oriental, B, o alinhamento das soluções Euler é aproximadamente paralelo, mas geograficamente situa-se para Oeste do contacto entre os grauvaques e xistos grauvaquóides e os

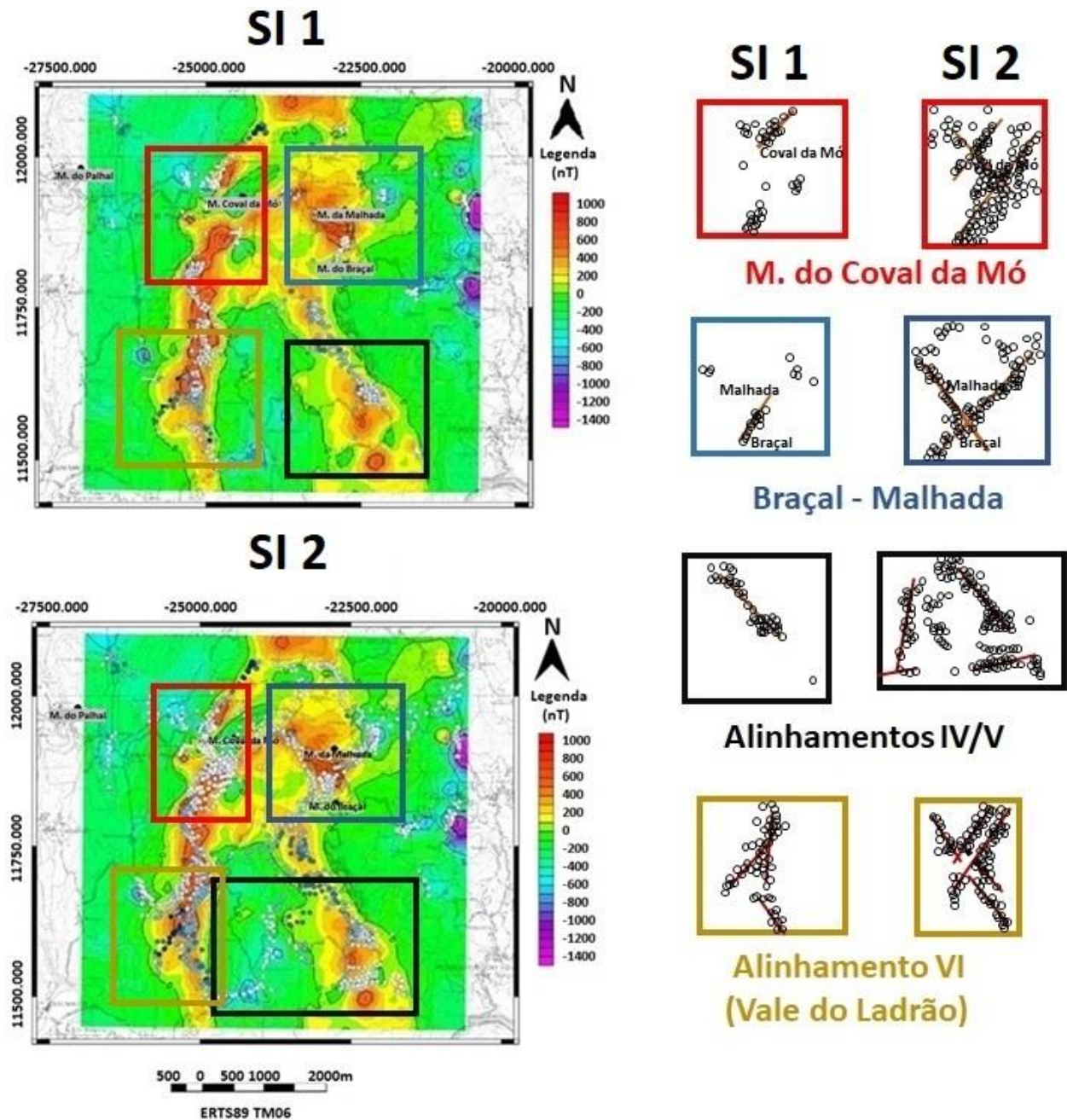


Figura 10. Soluções da desconvolução de Euler SI 1 e SI 2 na região das Minas do Coval da Mó e Braçal-Malhada (topo) e na região os alinhamentos IV/V e VI (baixo).

Figure 10. Euler deconvolution solutions SI 1 and SI 2 in the Coval da Mó and Braçal-Malhada region (top) and alignments IV/V and VI (bottom).

micaxistos. Na região correspondente as soluções de Euler estão cartografados inúmeros filões, como representado na figura 3.

Dos mapas de SI 1 e SI 2 surgem algumas subáreas que devem ser vistas com mais detalhe. Assim, na figura 10, à esquerda reproduzem-se os mapas da figura 9 agora quatro retângulos de cores diferentes sobrepostos ao fundo. Os retângulos a vermelho delimitam a zona das Minas do Coval da Mó. Os retângulos a azul a zona das Minas do Braçal e da Malhada. Os retângulos a preto a zona correspondente aos alinhamentos IV e V. Finalmente, os retângulos castanhos delimitam a zona do alinhamento VI, também conhecida localmente por Vale do Ladrão. Na parte esquerda da figura 10 representam-se, para melhor visualização, esquematicamente as soluções para SI 1 e SI 2 e marcam-se os alinhamentos sugeridos pela localização geográfica das soluções destes índices.

De maneira geral nas representações à direita da figura 10, para todas as sub-regiões consideradas, SI 1, monopólos, apresenta soluções menos dispersas, mas SI 2, dipolos, apresenta mais soluções espaciais mantendo, contudo, alguma concentração.

A região das minas do Coval da Mó o índice SI 1, figura 10, revela algumas soluções a pequena profundidade, superiores a 80 e inferiores a 140 m. Por outro lado, o índice 2 apresenta profundidades maiores que 120 e menores que 200 m o que, mais uma vez não é surpreendente pois, neste caso trata-se de dipolos e a profundidade é medida ao centro do dipolo, como foi abordado anteriormente. No topo direito da figura 10, SI 2 revela três alinhamentos, dois com direção geral NE-SO e um terceiro NO-SE, praticamente perpendicular aos dois primeiros. Estas direções devem estar relacionadas com a fracturação interpretada na região.

A região das Minas do Braçal-Malhada, o índice SI 1 (Fig. 10)

resulta em profundidades superiores a 80 e inferiores a 140 m e revela um alinhamento de soluções, segundo mapa a partir do topo da direita da figura 10, que liga aproximadamente o Braçal à Malhada. O índice SI 2 resultam em soluções, com profundidades maiores que 120 e menores que 360 m. Neste caso são definidos dois alinhamentos praticamente ortogonais de direções NO-SO e NE-SO que se intersectam no Braçal, segundo mapa a partir do topo à direita da figura 10.

As soluções para os alinhamentos IV/V, no mapa à esquerda da figura 6, apresentam, para SI 2, maiores profundidades que anteriormente e que variam entre 80 e 290 m. Trata-se de soluções que estarão ligadas a falhas interpretadas, mapa à esquerda da figura 6 e terceiro mapa a partir do topo à direita da figura 10. O índice SI 1 só revela soluções no grande alinhamento ligado geograficamente à zona de cisalhamento.

Finalmente, a região do alinhamento VI, também é conhecida pelo Vale do Ladrão, mostra soluções para SI 1 com direção NE-SO, mapa inferior direito da figura 10, a profundidades elevadas, entre 180 e 290 m. O índice SI 2 mostra um conjunto de orientações quase ortogonais, mapa inferior direito da figura 10, também a profundidades elevadas. O conjunto destas soluções, as suas orientações e relacionamento espacial, tornam esta região um alvo muito atrativo para trabalhos posteriores.

8. Índices estruturais de Euler nos dados de gravimetria

Os índices de Euler para a gravimetria estão representados na figura 11 sobre o esboço da geologia local (tramas no fundo). O número de soluções propostas é muito menor do que no caso da

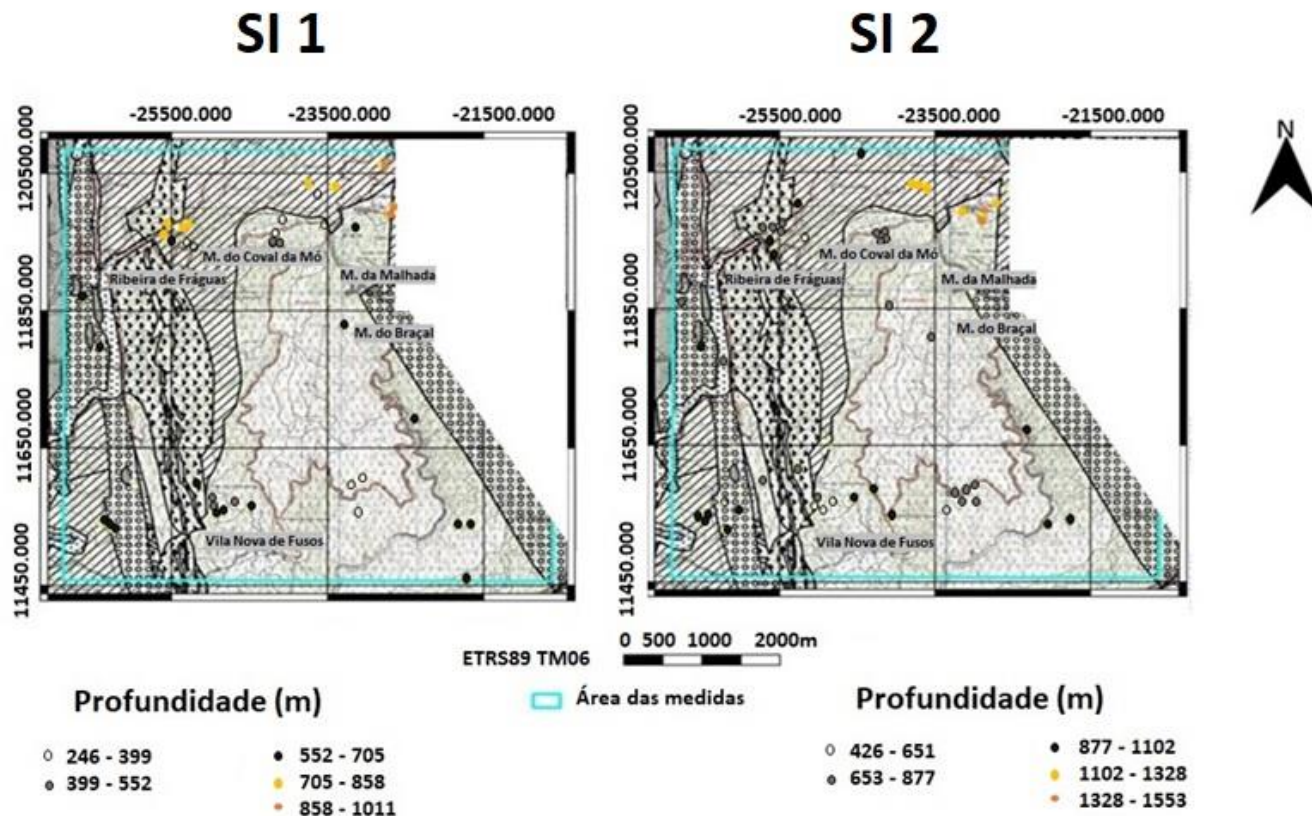


Figura 11. Soluções de Euler – Gravimetria sobre o esboço da geologia (tramas).
 Figure 11. Euler solutions – Gravimetry with the geological units on background.

carta magnética, mas também o número de observações gravimétricas é substancialmente menor e os modelos limitam-se aos índices SI 1 e SI 2 que correspondem a cilindros e esferas, respetivamente.

O índice SI 1, esquerda da figura 11, mostra um “alinhamento de soluções na parte Norte do mapa, definindo aproximadamente uma direção que liga o Braçal-Malhada ao Coval da Mó, e profundidade variando entre 550 e 1010 m.

No entanto, também surgem soluções na região correspondente aos alinhamentos V e VI do mapa magnético residual a profundidades modeladas superiores a 400 m e inferiores a 705 m. Na parte Sudeste do mapa também surgem algumas soluções na região já anteriormente identificada como a anomalia gravimétrica G3, mapa à direita da figura 6, e falha IV, mapa à esquerda da figura 6. Estas soluções sugerem profundidades maiores que 400 m e inferiores a 710 m.

Finalmente o índice SI 2, direita da figura 11, também mostra soluções no alinhamento entre o Braçal-Malhada e Coval da Mó, para profundidades superiores a 870 m e mantém as soluções na região dos alinhamentos V e VI e a Sudeste do mapa.

9. Anomalia Residual Magnética e Geologia Regional

Já no século XXI, foi publicado um esboço da geologia regional da área, ou melhor parte dela, aqui estudada, Ribeiro *et al.* (2010) e Teixeira *et al.* (2007).

A sobreposição da carta da Anomalia Residual Magnética (Fig. 6) com os esboços da geologia regional, apresentados nos artigos anteriores e adaptados na figura 2, está representada na figura 12. Esta sobreposição permite um conjunto de interpretações e sugestões:

Na figura 12 é claro que o alinhamento magnético A, nas figuras 5 e 6, coincide notavelmente com as formações designadas por Quartzitos xistóides e Quartzitos maciços na figura 2. Na parte superior desta figura, a Norte, estas formações encontram-se mais bem marcadas e, mais a Este, elas surgem de novo mapeadas. O mapa magnético mostra, mais a Este, um alinhamento B semelhante ao A (Figs. 5 e 6), cuja origem tem de ser investigada no campo, uma vez que, localmente corresponde a um vasto campo de filões de quartzo e anfíbolitos. Estes trabalhos poderão levar à atualização da carta geológica apresentada na figura 2 e da carta geológica 13-D de Oliveira de Azeméis.

No entanto, da figura 12 há ainda várias notas a retirar:

- É notável a sobreposição de grandes alinhamentos estruturais com os alinhamentos magnéticos;
- Grande parte dos alinhamentos magnéticos e gravimétricos definidos correspondem a acidentes estruturais;
- A ligação entre o complexo Braçal -Malhada e o Coval da Mó está comprovada pelos dados de campo e seu processamento, assim como a extensão Oeste do Braçal;
- As formações descritas como Grauvaques e Xistos Grauvacóides são claramente delimitadas por alinhamentos magnéticos e gravimétricos e caracterizam-se por terem densidade superior às restantes formações.

10. Conclusões

Esta campanha de prospeção gravimétrica e magnética restringiu-se a uma área aproximada de 42 km² e, dos resultados obtidos e discutidos, é claro que a área de estudo deveria ser alargada. No entanto, isto não foi possível pela natureza topográfica do terreno, acessos e limitações logísticas. O ideal seria efetuar uma campanha de prospeção magnética aerotransportada que abrangesse uma área mais vasta, mas com custos que têm impedido a sua execução.

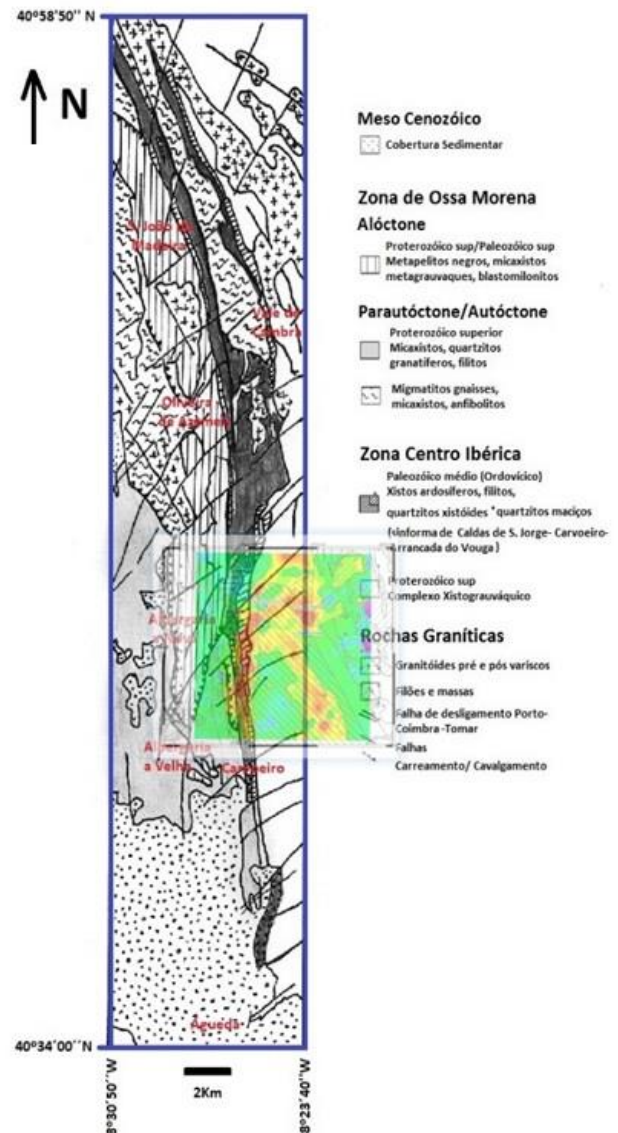


Figura 12. Anomalia Residual Magnética sobreposta à geologia regional.

Figure 12. Magnetic Residual Anomaly superimposed on regional geology.

Quanto à campanha de gravimetria é possível estendê-la, mantendo uma malha semelhante e recurso a técnicas de GPS diferencial, que mostraram resolver os problemas de posicionamento com precisão suficiente para prosseguir os trabalhos de campo de gravimetria. A extensão da área de medidas de campo gravítico também poderia permitir abordar a separação das componentes residual e regional de outro modo, uma vez que, seriam obtidas medidas fora e longe da área mais importante a investigar. No entanto, os dados obtidos permitem um conjunto de interpretações e sugestões em particular:

- É necessário rever as cartas da figura 2 e a carta geológica 13-D de Oliveira de Azeméis;
- As formações granitoides, a Este, distinguem-se pelos valores mais baixos de campo magnético, mas não foi possível caracterizá-las por gravimetria uma vez que não foram tomadas medidas nesta região;

- Sobre os alinhamentos definidos entre o Braçal-Malhada e o Coval da Mó deveriam ser feitos trabalhos de geofísica que envolvessem métodos eletromagnéticos, possivelmente no domínio do tempo, e polarização induzida;
- Os alinhamentos geofísicos detetados correspondem a acidentes estruturais e não aos filões conhecidos;
- As zonas anómalas de origem desconhecida também deveriam ser alvo de campanhas geofísicas que permitissem obter informação de outros métodos, porventura os mencionados anteriormente, para esclarecer a sua origem.

Agradecimentos

Este trabalho inseriu-se no projeto REMIVO, projeto estruturante aquando da formação e organização do Departamento de Geociências e, só foi possível aqui chegar, após mais de trinta anos de trabalho, com a colaboração de muitas pessoas, algumas das quais já não estão entre nós. Correndo o risco de esquecer algumas, mesmo assim, os autores desejam agradecer ao Prof. António Andrade, Eng. Nuno Barraca, aos inúmeros alunos do curso de Engenharia Geológica da Universidade de Aveiro, ao Sr. Graça, aos Doutores João Paulo Hespanha e Luis Jorge Severo Gonçalves e à memória do Sr. Carvalho, que contribuíram para que fosse possível realizar todo o trabalho de campo. Os autores agradecem o apoio da Fundação Portuguesa para a Ciência e Tecnologia, GeoBioTec UIDB/04035/2020. Por fim, os autores desejam dedicar este trabalho à memória do Prof. Luís Severo Gonçalves.

Referências

- Aguado, B. V., 1992. *Geología estructural de la zona de cizalla de Porto-Tomar en la región de Oliveira de Azeméis-Serra da Arada*. Tese de Doutoramento, Universidad de Salamanca, 254.
- Almeida, F., 1993. *Técnicas tripotenciais e feitos de orientação em polarização induzida*. Tese de doutoramento, Universidade de Aveiro, 344.
- Almeida, F., Matias, M., Lourenço, M., Martins, A., 2018. A Matlab script to perform gravity terrain corrections using DEM-EU digital elevation model in a teaching lab. *Proceedings 24th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics*, 1: 1-5, EAGE. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201802654>.
- Barbosa, V. C. F., Silva, J. B. C., 2005. Desconvolução de Euler: passado, presente e futuro – um tutorial. *Rev. Bras. Geof.*, 23: 3. <https://doi.org/10.1590/S0102-261X2005000300004>.
- Blakely, R. J., 1995. *Potential theory in Gravity and Magnetism Applications*. Cambridge University Press, 441. ISBN: 978-0521575478.
- Braz Martins, C. M., 2011. A mineração do chumbo em época romana. O exemplo das Minas de Braçal e Malhada (Aveiro). *O Arqueólogo Português*, 5(1): 489-504.
- Breiner, S., 1999. Applications Manual for Portable Magnetometers. *Geometrics*, 58.
- Chaminé, H. I., 2000. *Estratigrafia e estrutura da faixa metamórfica de espinho-Albergaria-a-velha (Zona de Ossa-Morena): implicações geodinâmicas*. Tese de Doutoramento (não publicada), Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 497.
- Chaminé, H. I., Ribeiro, A., Pereira, E., 1995. Cartografia geológica e estratigrafia da faixa de cisalhamento precâmbria do sector Espinho-Albergaria-a-Velha (Zona de Ossa-Morena). In: Sodré Borges, F., Marques, M. (Coords.), *Mem. Mus. Lab. Min. Geol. Fac. Ciênc. Univ. Porto*, 329-333.
- Chaminé, H., Gama Pereira, 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). *Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe*, Coruña, 28: 37-78.
- Fairhead, D., 2015. *Advances in gravity and magnetic processing and interpretation*. EAGE Publications, 352. ISBN 978-94-6282-175-0.
- Gibson, R. I., Millegon, P. S. (Eds.), 1998. Gravity Applications of gravity and magnetism : case histories. *SEG Geophysical References Series*, 8: 171. IBSN 1-56080-078-X.
- Gomes, A. A. T., 2008. *Evolução geomorfológica da plataforma litoral entre Espinho e Águeda*. Tese de Doutoramento. Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 337.
- Gonçalves, L. J., Hespanha de Oliveira, J. P., 1987. *Prospecção magnética na Zona de Braçal – Malhada-Rio Mau*. Relatório de Estágio Geofísica, Universidade de Aveiro.
- Hinze, W. J., von Freese, R. R. B., Saad, A. H., 2013. *Gravity and magnetic principles, practices and applications*. Cambridge University Press, 525. ISBN: 978-0-521-87101-3.
- Kearey, P., Brooks, M., Hill, I., 2002. *An Introduction to Geophysical Exploration*. Blackwell Science, 288. ISBN: 978-0-632-04929-5.
- LaFehr, T., Nabighian, M., 2012. Fundamentals of Gravity Exploration. *SEG*, 233. <https://doi.org/10.1190/1.9781560803058>.
- Lourenço, J., 2006. *Contribuição para o conhecimento do modelo geológico-estrutural da Bacia de Telões por métodos geofísicos integrados*. Tese de Doutoramento, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 544.
- Mantli'k, F., Matias, M., 2010. Interpretation and modelling of regional gravity data of the Aveiro Basin (Northwest Portugal). *C. R. Geoscience*, 342(11):823-836. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2010.06.005>.
- Martins, A., 2017. *Prospecção Geofísica e Geoquímica na região Mineira de Severo do Vouga*. Tese de mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 167.
- Milson, J., 1989. Field Geophysics. *Geological Society of London Handbook Series, Geological Magazine*, 127(2): 191. <https://doi.org/10.1017/S0016756800014060>.
- Mushayandebvu, M. F., van Drielz, P., Reid, A. B., Fairhead, J. D., 2001. Magnetic source parameters of two-dimensional structures using extended Euler deconvolution. *Geophysics*, 66: 814-823.
- Oliveira, R. J. B., 2014. *Caracterização geológica, exploração e tratamento de rochas granito-migmatíticas da pedreira sacramento (Oliveira de Azeméis)*. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, Departamento de Geociências, 109.
- Pereira, E., Moreira, A., Severo Gonçalves, L., Rodrigues, J., Silva, A. F., 2006. *Folha 13-D, Oliveira de Azeméis da Carta Geológica de Portugal na escala 1:50000*. Ministério da Economia e da Inovação, Departamento de Geologia, Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação I. P.
- Reid, A. B., Allsop, J. M., Granser, H., Millett, A. J., Somerton, I. W., 1990. Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. *Geophysics*, 55: 80-91.
- Ribeiro, C., 1860. Memória sobre o grande filão metalífero que passa ao nascente de Albergaria- a- Velha e Oliveira de Azeméis. *Memórias da Academia Real das Ciências de Lisboa*, 2(II): 5-105.
- Ribeiro, A., Pereira, E., Severo Gonçalves, L., 1980. Análise de deformação da zona de cisalhamento de Porto-Tomar na transversal de Oliveira de Azeméis. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, 66: 3-9.
- Ribeiro, A., Pereira, E., Chaminé, H., Rodrigues, J., 1995. Tectónica do megadomínio de cisalhamento entre a Zona de Ossa-Morena e a Zona Centro-Ibérica na região de Porto-Lousã. *IV Congresso Nacional Geologia, Porto*, 299-303.
- Ribeiro, A., Munhá, J., Fonseca, P. E., Araújo, A., Pedro, J. C., Mateus, A., Tassinari, C., Machado, G., Jesus, A., 2010. Variscan ophiolite belts in the Ossa-Morena Zone (Southwest Iberia): Geological characterization and geodynamic significance. *Gondwana Research*, 17: 408-421. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2009.09.005>
- Severo Gonçalves, L., 1974. *Geologie und petrologie des gebietes von Oliveira de Azeméis und Albergaria-a-Velha (Portugal)*. Tese de Doutoramento, Freien Universität Berlin, 261.
- Simões, M. G., Maia, 1988. *A história mineira da região do Braçal-Malhada*. Relatório de Estágio de Engenharia Geológica, Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro.
- Teixeira, J., Gomes, A., Chaminé, H., Rocha, F., 2007. Geomorfologia e morfotectónica de relevos quartzíticos: a megaestrutura de Caldas de S. Jorge-Águeda, NW Portugal. *Xeográfica*, Revista de Xeografia, Território e Ambiente, 7: 107-133. ISSN 1578-5637.
- Thompson, D. T., 1982. EULDPH: A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data. *Geophysics*, 47: 31-37.
- Valente, V., Martins, A., Martinho, J., Ribeiro, J., Patinha, C., Almeida, F., Silva, E., Matias, M., 2018. A joint geophysical and geochemical survey in the Old Braçal-Malhada mining district (NE Aveiro, Portugal). *24th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics*, Porto, Portugal, September. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201802753>.
- Valente, V., 2017. *Prospecção Geológica Mineira no complexo mineiro Braçal-Malhada*. Tese de mestrado, Universidade de Aveiro, 229.