

Aplicação de métodos geofísicos à prospeção geológica

Estudo Gravimétrico em Contexto Granítico no Município de Vila Verde

Juliana Sofia Oliveira Barbosa

Mestrado em Geologia

Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território
2023

Orientador

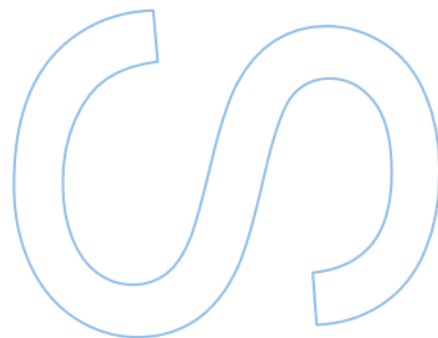
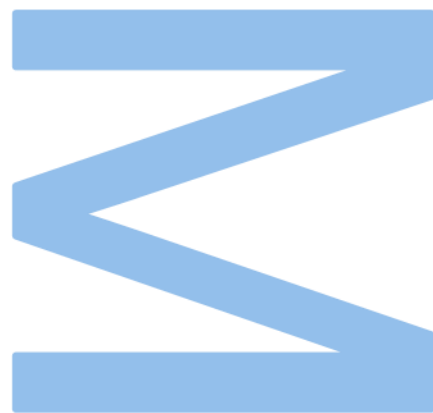
Doutora Helena Maria Sant'Ovaia Mendes da Silva, Professora
Associada, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

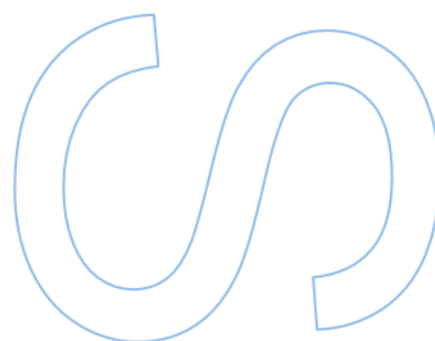
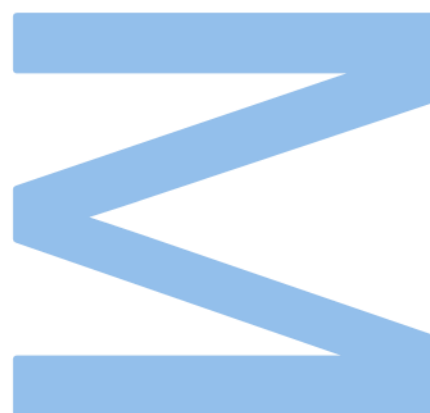
Coorientador

Cláudia da Conceição Ferreira da Cruz, Investigadora
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Coorientador

Bruno Sameiro Pereira, sócio-gerente da empresa Sinergeo





Declaração de Honra

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

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

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

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

Juliana Sofia Oliveira Barbosa

Porto, 30/06/2023

Agradecimentos

Gostaria de expressar o meu mais sincero agradecimento a todas as pessoas que contribuíram para o desenvolvimento desta tese. Sem o apoio e contribuição de cada um de vocês, este trabalho não teria sido possível.

Agradeço à Sinergeo pelo valioso suporte e recursos fornecidos para a realização desta investigação. A oportunidade concedida e a disponibilidade para acompanhar os diversos trabalhos realizados enriqueceram significativamente o meu conhecimento nas diferentes áreas da geologia. A todos os membros da equipe da Sinergeo, expresso a minha gratidão pela generosidade e assistência prestada.

Agradeço à Professora Helena Sant'Ovaia, minha orientadora, por ter aceitado acompanhar-me nesta jornada e por acreditar em mim. Pela sua simpatia, disponibilidade e auxílio em todos os problemas que surgiram, assim como as dúvidas esclarecidas, são imensamente apreciadas.

Agradeço ao meu coorientador, Bruno Sameiro Pereira, pela oportunidade concedida, pelos ensinamentos, apoio e auxílio prestado. A confiança depositada nos trabalhos desenvolvidos e as sugestões fornecidas no desenvolvimento desta tese são inestimáveis.

Gostaria de expressar meu mais profundo agradecimento à minha coorientadora Cláudia Cruz pela sua inestimável contribuição para o desenvolvimento da minha tese. A sua disponibilidade, cooperação e auxílio foram verdadeiramente inestimáveis e desempenharam um papel fundamental no sucesso deste relatório.

Um agradecimento especial ao Professor Rui Moura por gentilmente ceder o gravímetro, fundamental para a realização desta investigação.

Ao Professor José Alberto Gonçalves por ceder o Modelo Digital de Terreno de Portugal continental, essencial para a correção de terreno.

Também agradeço ao Telmo Vieira por auxiliar na correção de terreno no software MatLab.

Quero expressar meu agradecimento a todos os professores que me acompanharam ao longo destes 6 anos e à Faculdade de Ciências da Universidade do Porto por proporcionar excelentes oportunidades de ensino aos estudantes.

Aos meus amigos chegados e de curso, um agradecimento por todos os momentos experienciados, pelo companheirismo e apoio que tornaram esta jornada ainda mais única.

Um agradecimento muito especial à minha família mais próxima: aos meus pais, ao meu irmão, aos meus avós e aos meus padrinhos. Agradeço por todo o amor e apoio, e por terem acreditado em mim.

Por último, mas não menos importante, expresso um agradecimento especial e carinhoso ao meu namorado, Ricardo Meireles. Agradeço por toda a paciência e apoio incondicional desde o momento em que nos conhecemos e por nunca duvidares de mim. Agradeço por toda a motivação que me deste e por toda a ajuda que me ofereceste.

A todas essas pessoas, o meu profundo agradecimento por terem feito parte desta jornada e contribuído para o meu crescimento académico e pessoal. Estou verdadeiramente grata.

Resumo

Este relatório foi elaborado no âmbito de um estágio curricular em contexto empresarial realizado na empresa Sinergeo - Soluções Aplicadas em Geologia, Hidrologia e Ambiente Lda. O objetivo deste estágio foi proporcionar uma experiência profissional, acompanhando os trabalhos desenvolvidos pela Sinergeo, e ao mesmo tempo realizar uma investigação científica no campo da geofísica.

Neste relatório, a estrutura foi dividida em duas partes. A primeira parte aborda os trabalhos em curso na empresa Sinergeo, nos quais tive a oportunidade de participar e acompanhar. A segunda vertente concentra-se no estudo gravimétrico realizado numa área dos concelhos de Braga e Vila Verde.

A geofísica desempenha um papel fundamental no apoio à prospeção geológica, permitindo inferir sobre as características do subsolo. A gravimetria é uma técnica que possibilita a identificação de estruturas geológicas e a geometria de corpos em profundidade, com base nas diferenças de densidade entre essas estruturas e as rochas circundantes.

O principal objetivo deste trabalho foi identificar as estruturas regionais, fraturas e zonas de cisalhamento que possam estar associadas à presença de águas termais, contribuindo para o conhecimento do potencial geotérmico das regiões estudadas. Além disso, a identificação de estruturas não visíveis na superfície é importante como complemento à cartografia regional.

Os resultados foram obtidos através da geração de mapas de anomalia de Bouguer utilizando o software Oasis Montaj. A partir dos mapas residuais gerados a partir das anomalias de Bouguer e da tendência regional, foram identificadas diferenças acentuadas de densidade no maciço granítico, o que evidencia possíveis estruturas e graus variados de alteração desse maciço granítico.

Acreditamos que os objetivos deste trabalho foram alcançados e que abre caminho para futuras pesquisas. Os resultados despertaram grande interesse na área, intensificando o potencial geotérmico, e promovendo assim futuras investigações na região, utilizando diferentes métodos e abordagens.

Palavras-chave: Gravimetria, Estruturas Geológicas, Densidade, Anomalia de Bouguer.

Abstract

This report was prepared as part of a curricular internship in a business context conducted at Sinergeo - Applied Solutions in Geology, Hydrology, and Environment Lda. The aim of this internship was to provide a professional experience by accompanying the work carried out by Sinergeo, as well as conducting scientific research in the field of geophysics.

In this report, the structure is divided into two parts. The first part discusses the ongoing work at Sinergeo, in which I had the opportunity to participate and observe. The second approach focuses on the gravimetric study conducted in an area of the municipalities of Braga and Vila Verde.

Geophysics plays a fundamental role in supporting geological prospecting, allowing inferences to be made about subsurface characteristics. Gravimetry is a technique that enables the identification of geological structures and the geometry of subsurface bodies based on the density differences between these structures and the surrounding rocks.

The main objective of this work was to identify regional structures, fractures, and shear zones that may be associated with the presence of thermal waters, contributing to the understanding of the geothermal potential in the studied regions. Additionally, the identification of subsurface structures not visible on the surface is important as a complement to regional mapping.

The results were obtained by generating Bouguer anomaly maps using Oasis Montaj software. From the residual maps derived from the Bouguer anomalies and the regional trend, significant density variations were identified within the granitic massif, highlighting potential structures and varying degrees of alteration within the granitic massif.

We believe that the objectives of this work have been achieved and it paves the way for future research. The results have generated significant interest in the field, intensifying the geothermal potential and promoting further investigations in the region using different methods and approaches.

Keywords: Gravimetry, Geological Structures, Density, Bouguer Anomaly.

Índice

Lista de Tabelas	viii
Lista de Figuras	ix
Lista de Abreviaturas	xii
Introdução.....	1
Parte I – Acompanhamento de trabalhos da Sinergeo.....	3
1. Sísmica de Refração	4
1.1. Princípios Teóricos	4
1.2. Vila-Verde, Braga	5
2. Sondagens SPT e DP.....	6
2.1. Princípios Teóricos	6
2.2. Santo Tirso, Porto.....	6
2.3. Torres Vedras, Lisboa e Alandroal, Évora	8
2.4. Marco de Canaveses, Porto	9
3. Resistividade Elétrica.....	11
3.1. Princípios Teóricos	11
3.2. Vila Verde, Braga	13
Parte II – Geofísica Aplicada à Prospeção Geológica	14
Capítulo 1 – Enquadramento Geral.....	15
1.1. Enquadramento Geográfico.....	15
1.2. Enquadramento Geomorfológico e Tectónico	16
1.3. Enquadramento Geológico	23
1.4. Enquadramento Hidrogeológico.....	36
Capítulo 2 – Princípios teóricos e Metodologia	37
2.1. Introdução à Geofísica e à prospeção Geofísica	37
2.2. Métodos gravimétrico - Gravimetria	37
Capítulo 3 – Obtenção e Tratamento de dados de campo	47
3.1. Planeamento da prospeção geofísica.....	47

3.2.	Campanha gravimétrica e material usado.....	48
3.3.	Processamento dos dados	51
3.4.	Modelação da Anomalia	56
Capítulo 4 – Resultados e Discussão		65
4.1.	Mapa da Anomalia Completa de Bouguer	65
4.2.	Mapa da Anomalia Regional de 2ª Ordem	66
4.3.	Mapa da Anomalia Residual de 2ª Ordem	67
4.4.	Discussão dos resultados	68
Capítulo 5 – Considerações finais.....		70
5.1.	Trabalhos Futuros.....	70
Referências Bibliográficas		72
Anexos		77

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Densidade tipos de rochas comuns (adaptado de Kearey <i>et al.</i> ,1991; Milson, 2003)	44
Tabela 2 - Dados das estações gravimétricas e respetiva anomalia completa de Bouguer.....	77

Lista de Figuras

Figura 1 - Geofone conectado através de cabos a um sistema de aquisição de dados fora da foto.	5
Figura 2 - Realização de um tiro com a marreta.	5
Figura 3 - Realização do ensaio DPSH.....	7
Figura 4 - Realização da sondagem SPT.....	7
Figura 5 - Realização de um ensaio DPL.....	8
Figura 6 - Realização de sondagem SPT.....	9
Figura 7 - Utilização do martelo de Schmidt no talude estudado.....	9
Figura 8 - Intervalos de valores da resistividade elétrica para alguns materiais geológicos (adaptado de Kearey <i>et al.</i> , 2002).....	12
Figura 9 - Colocação dos elétrodos e extensão do cabo elétrico.	13
Figura 10 - Resistivímetro ligado ao cabo elétrico e a um computador de campo.....	13
Figura 11 - Localização geográfica da área estudada (fotografia de satélite extraída do Google Earth, 2022).....	15
Figura 12 - Zonamento geotectónico da Península Ibérica, com unidades estruturais de primeira ordem (terrenos) e de segunda ordem (zonas) (adaptado de Ribeiro <i>et al.</i> , 2006 in Rolo, R., 2021).....	16
Figura 13 - Representação esquemática da Cadeira Varisca do NW da Península Ibérica, com a localização da zona de cisalhamento dúctil Maplica-Lamego (ZCDML) (extraído de Castro, <i>et al.</i> , 2010). A área de estudo esta no interior do retângulo vermelho.....	22
Figura 14 - Enquadramento geológico da área de estudo nas folhas 5-A (Viana do Castelo), 5-B (Ponte da Barca), a 5-C (Barcelos) e 5-D (Braga). A área dentro do quadrado vermelho é a área onde o estudo gravimétrico foi realizado.	24
Figura 15 - Localização da zona norte da área de estudo, no excerto da Folha 5-A (Viana do Castelo) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000 e a respetiva legenda da folha.....	26
Figura 16 - Localização da zona norte da área de estudo, no excerto da Folha 5- B (Ponte da Barca) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000 e a respetiva legenda da folha.....	29
Figura 17 - Localização da zona norte da área de estudo, no excerto da Folha 5- C (Barcelos) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000 e a respetiva legenda da folha.....	30

Figura 18 - Localização da zona norte da área de estudo, no excerto da Folha 5- D (Braga) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000 e a respetiva legenda da folha.	34
Figura 19 – Mapa da geologia da área onde foi realizado a campanha gravimétrica efetuado no QGIS através da Carta Geológica Folha 5 - D (Braga).....	35
Figura 20 - Curva da deriva instrumental (gravímetro). Correção do desvio (d) é subtraída ao longo de um tempo (t) (extraído de Kearey, <i>et al.</i> , 2002).....	39
Figura 21 - Ábaco de Hammer (Zonas F para J), é usado para cálculos de correção de terreno. As zonas variam entre os 2m e os 22km e são usadas em mapas topográficos de diferentes escalas (extraído de Kearey <i>et al.</i> , 2002)	42
Figura 22 - Exemplo do ponto 50 no script java tides.jar.....	43
Figura 23 - Separação das anomalias regionais e residuais a partir da anomalia de Bouguer (adaptado de Kearey & Brooks, 1991).....	46
Figura 24 – Representação da rede de amostragem (fotografia de satélite extraída do Google Earth, 2023)	47
Figura 25 – Utilizador a fazer medições no gravímetro e a tirar as coordenadas de um ponto no GPS.	48
Figura 26 – Gravímetro <i>the Pioneer, Worden</i> nº679, <i>model</i> 155, caixa própria para transporte e o respetivo prato concavo.	48
Figura 27 – Explicação simplificada de como ler o valor decimal do gravímetro.	50
Figura 28 – Leitura do valor através do parafuso do gravímetro Erro! Marcador não definido.	
Figura 29 - Processo de criação da correção do sinal do DGPS (extraído e adaptado de Cruz, 2020).....	51
Figura 30 - Bouguer Slab com massas em falta, em excesso e parâmetros para calcular a correção do terreno na equação (1) (adaptado e extraído de Almeida, F., <i>et al.</i> , 2018).	52
Figura 31 - DEM realizado no <i>software MatLab</i> da área de estudo, com as estações gravimétricas representadas por pontos brancos.....	53
Figura 32 - Determinação do valor médio da densidade pelo método de Nettleton, para a área de estudo.....	54
Figura 33 - Mapa das anomalias gravimétricas de Bouguer para a Península Ibérica, com densidade de 2,67 <i>g/cm3</i> (extraído de Mezcua <i>et al.</i> , 1996).	55
Figura 34 – Ferramenta <i>Grad Math</i> para obter os mapas de anomalias regionais no <i>software Oasis Montaj</i>	57

Figura 35 - Mapa da anomalia de Bouguer (interpolação de dados através do <i>Kriging</i> , no <i>Oasis Montaj</i>).....	58
Figura 36 - Mapa da anomalia residual de 1ª ordem polinomial.....	59
Figura 37 - Mapa da anomalia residual de 2ª ordem polinomial.....	60
Figura 38 - Mapa da anomalia residual de 3ª ordem polinomial.....	61
Figura 39 - Mapa da anomalia regional de 1ª ordem polinomial.....	62
Figura 40 - Mapa da anomalia regional de 2ª ordem polinomial.....	63
Figura 41 - Mapa da anomalia regional de 3ª ordem polinomial.....	64
Figura 42 - Mapa da anomalia completa de Bouguer com sobreposição das litologias locais.	65
Figura 43 - Mapa da anomalia regional de 2ª ordem polinomial com sobreposição das litologias locais.....	66
Figura 44 - Mapa da anomalia residual de 2ª ordem polinomial com sobreposição das litologias locais.....	67

Lista de Abreviaturas

DGES	DIREÇÃO GERAL DO ENSINO SUPERIOR
FCT	FUNDAÇÃO PARA A CIÊNCIA E A TECNOLOGIA
FCUP	FACULDADE DE CIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE DO PORTO
UP	UNIVERSIDADE DO PORTO
SIG	SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA
GPS	<i>GLOBAL POSITIONAL SATELLITE</i>
DGPS	<i>DIFFERENTIAL GLOBAL POSITIONAL SATELLITE</i>
SPT	<i>STANDARD PENETRATION TEST</i>
DP	<i>DYNAMIC PROBING</i>
DPSH	<i>DYNAMIC PROBING SUPER HEAVY</i>
DPL	<i>DYNAMIC PROBING LIGHT</i>
DEM	<i>DIGITAL ELEVATION MODEL'S</i>
ZCI	ZONA CENTRO-IBÉRICA
ZC	ZONA CANTÁBRICA
ZAOL	ZONA ASTÚRICA-OCIDENTAL LEONESA
ZGTM	ZONA DE GALIZA-TRÁS-OS MONTES
ZOM	ZONA DE OSSA MORENA
ZSP	ZONA SUL PORTUGUESA
ZCDML	ZONA DE CISALHAMENTO DÚCTIL MAPLICA-LAMEGO
MTMT	<i>MAIN TRÁS-OS-MONTES TRUST</i>

Introdução

Este relatório foi realizado no âmbito da conclusão do último ano do mestrado em Geologia, no ano letivo 2022/2023, no âmbito do Estágio Curricular em contexto Empresarial com a finalidade de obter o grau de Mestre em Geologia. Esta unidade curricular está inserida no segundo ano, tendo como objetivo principal desenvolver a capacidade de realizar trabalho de cariz científico-tecnológico em ambiente profissional, aperfeiçoando a capacidade de pesquisa e resolução de problemas do aluno, desenvolvendo o seu sentido crítico, assim como a capacidade de síntese e integração de conhecimentos. A opção por estágio, neste último ano, foi devida ao facto de considerar que é uma experiência e oportunidade única em contexto profissional.

O estágio foi desenvolvido durante 10 meses, com início em outubro de 2022 e fim previsto para setembro de 2023, em contexto empresarial na Sinergeo - Soluções Aplicadas em Geologia, Hidrogeologia e Ambiente Lda., integrada por profissionais licenciados em Geologia, que se dedicam à prestação de serviços, consultoria e execução de projetos em diversas áreas, nomeadamente, geologia, hidrogeologia, geotecnia e geofísica. Como estagiária tive a oportunidade de acompanhar diversos trabalhos, alguns em contexto de campo enquanto outros no escritório a fazer pesquisa ou laboratório.

Este relatório estará estruturado em duas partes, uma de cariz mais profissional, onde descrevo brevemente os trabalhos de campo que acompanhei enquanto estagiava na Sinergeo Lda., que por motivos de confidencialidade não posso aprofundar muito. A segunda parte diz respeito à investigação gravimétrica realizada no concelho de Vila Verde. A investigação gravimétrica tem como objetivo a identificação de estruturas geológicas cuja permeabilidade possa promover a circulação de fluídos geotérmicos. Há um foque no potencial geotérmica da região, uma vez que são conhecidas ocorrências geotérmicas, mas que são apenas exploradas na vertente turística e medicinal.

A primeira parte esta dividida em 3 capítulos:

- No capítulo 1, é abordada a sismica de refração, onde são mencionados os trabalhos acompanhados com a Sinergeo, em que foram usados métodos geofísicos de refração sísmica.
- No capítulo 2, são descritas as sondagens SPT e SD, onde são mencionados os trabalhos acompanhados com a Sinergeo, em que foram realizadas sondagens SPT e SD.

- No capítulo 3, é descrita a resistividade elétrica, onde são mencionados os trabalhos acompanhados com a Sinergeo, em que foram utilizados métodos de resistividade elétrica.

A segunda parte esta dividida em 5 capítulos:

- No capítulo 1, apresenta-se o enquadramento geral da área de estudo, nomeadamente os enquadramentos geográfico, geomorfológico e tectónico, geológico e hidrogeológico.
- No capítulo 2, são apresentados os princípios teóricos e metodologias usadas neste relatório, e é realizado um enquadramento teórico da campanha gravimétrica.
- No capítulo 3, é descrita a obtenção e tratamento dos dados de campo, a preparação da campanha gravimétrica, o processamento dos dados e a modelação das anomalias, com os respetivos mapas modelados com esses dados.
- No capítulo 4, são apresentados os resultados e a discussão dos resultados obtidos, após o tratamento de dados, os mapas principais e respetivas interpretações desses dados e mapas.
- No capítulo 5, são apresentadas as considerações finais, onde são referidos os principais resultados e é realizada uma breve consideração acerca do estágio realizado ao longo deste ano letivo e possíveis trabalhos futuros.

No final é possível consultar a lista de referências bibliográficas e vários anexos.

Parte I – Acompanhamento de trabalhos da Sinergeo

1. Sísmica de Refração

1.1. Princípios Teóricos

O método de levantamento sísmico por refração utiliza ondas sísmica que retorna à superfície depois de percorrer o subsolo ao longo de trajetos de raios refratados. A primeira chegada de energia sísmica em um detetor deslocado de uma fonte sísmica sempre representa um raio direto ou um raio refratado. Isso permite a realização de levantamentos de refração simples, nos quais a atenção é concentrada exclusivamente na primeira chegada (ou início) da energia sísmica, e gráficos de tempo-distância dessas primeiras chegadas são interpretados para obter informações sobre a profundidade das interfaces refratantes. Esta abordagem simples nem sempre fornece uma imagem completa ou precisa do subsolo. Em tais circunstâncias, interpretações mais complexas podem ser aplicadas. Normalmente, o método é utilizado para localizar interfaces de refração (refratores) que separam camadas com diferentes velocidades sísmicas. No entanto, também pode ser aplicado em situações em que a velocidade varia suavemente em relação à profundidade ou lateralmente (Kearey *et al.*, 2002).

A maioria esmagadora dos levantamentos de refração é realizada ao longo de perfis que são organizados de forma a serem suficientemente longos para garantir que as chegadas refratadas das camadas-alvo sejam registadas como primeiras chegadas por pelo menos metade do comprimento do perfil. Os perfis de refração normalmente precisam ter entre cinco e dez vezes o comprimento da profundidade de investigação necessária. Uma consequência desse requisito é que são necessárias fontes sísmicas grandes para a detecção de refratores profundos, a fim de que energia suficiente seja transmitida ao longo da longa distância necessária para o registo de fases refratadas profundas como primeiras chegadas. O comprimento do perfil necessário em um levantamento específico depende da distribuição de velocidades com a profundidade naquela localização (Kearey *et al.*, 2002).

A sismologia de refração é aplicada a uma vasta variedade de problemas científicos e técnicos, desde levantamentos de investigação de locais de engenharia até projetos em maior escala para estudar a estrutura de toda a crosta ou litosfera. As medições de refração podem fornecer informações valiosas sobre velocidade das ondas sísmicas (Kearey *et al.*, 2002).

1.2. Vila-Verde, Braga

Acompanhei um trabalho de refração sísmica em Vila-Verde para apoio a prospeção geotécnica.

Foi esticado uma fita métrica de 60 metros e com apoio dela foram colocados os geofones, o primeiro aos 2,5 metros e depois foram colocados no solo em 5 em 5 metros. Seguidamente foram conectados os cabos que ligam os geofones a um sistema de aquisição de dados (figura 1), neste caso um computador de campo. Depois, com a marreta foi realizado três tiros (figura 2), um em cada extremidade e um ao centro do perfil. Por fim, com um GPS medimos as coordenadas de cada um dos locais dos tiros.



Figura 1 - Geofone conectado através de cabos a um sistema de aquisição de dados fora da foto.



Figura 2 - Realização de um tiro com a marreta.

2. Sondagens SPT e DP

2.1. Princípios Teóricos

2.1.1. Sondagens SPT (*Standard Penetration Test*)

Os objetivos do *Standard Penetration Test* ou ensaio de penetração padrão são determinar a resistência do solo na base de um furo de sondagem, à penetração dinâmica de um amostrador de barril dividido (ou cone sólido) e obter amostras perturbadas para identificar (EN 1997-2, 2007).

O amostrador é introduzido no solo ao soltar um peso de 63,5 kg de massa sobre uma bigorna de uma altura de 760 mm. O número de pancadas necessários para atingir uma penetração do amostrador representa a resistência à penetração. O ensaio deve ser usado principalmente para a determinação das propriedades de resistência e deformação de solos granulares. As normas que se deve usar na realização deste teste estão descritas na norma EN ISO 22476-3. (EN 1997-2, 2007)

2.1.2. Sondagens DP (*Dynamic Probing*)

Dynamic probing ou penetrómetro dinâmico é um teste *in situ* utilizado para o reconhecimento e análise da litologia presente em um determinado local, bem como as propriedades geomecânicas do solo e a resistência à penetração desses solos, através de fórmulas e correlações (Campbell e O'Sullivan, 1991 em Rodrigues, D., 2016). Embora esse tipo de equipamento não forneça amostras do solo, ao contrário do ensaio SPT, ele permite uma visualização detalhada e contínua da variação das resistências à penetração com a profundidade, fornecendo uma representação precisa das zonas de menor e maior compressibilidade do terreno (Rodrigues, D., 2016).

Este equipamento pode ser utilizado em qualquer tipo de terreno devido à disponibilidade de várias opções de penetrómetros. As normas EC7 (ENV 1997-3) de 1999 e EN ISO 22476-2 mencionam quatro tipos de penetrómetros dinâmicos: leve (DPL), médio (DPM), pesado (DPH) e super-pesado (DPSH) (Martins & Miranda, 2003).

2.2. Santo Tirso, Porto

Neste trabalho foi acompanhado uma sondagem SPT e dois DPSH em Santo Tirso, com o objetivo conhecer a resistência do material no subsolo.

Começamos por selecionar os pontos para a realização das sondagens e procedemos ao registo das coordenadas GPS. Fizemos também uma observação da litologia e o reconhecimento da localização na carta geológica.

Seguidamente foram iniciados os ensaio DPSH, que foram realizados por um equipamento mecanizado (figura 3) com um sistema que automatiza a queda do peso. As varas foram inseridas no equipamento e o ensaio só foi dado como finalizado quando foram necessárias 100 pancadas, para a ponteira avançar 20 centímetros.



Figura 3 - Realização do ensaio DPSH.

Depois, com água disponível, iniciamos a sondagem SPT (figura 4), com o mesmo mecanismo. Começamos por fazer perfurações de 1,50 metros, e no fim de cada retiramos as amostras. Depois de uma destas perfurações foi introduzido o amostrador de 60 centímetros, que com a ajuda do peso em queda, recolheu, em 3 fases de 20 centímetros, a amostra em cada 1,50 metros.



Figura 4 - Realização da sondagem SPT.

As pancadas para cada fase devem-se ser contadas separadamente, e descartadas as da primeira fase, pois o material pode ter sido o escavado anteriormente, a não ser que se atinja as 60 pancadas. Depois deve-se retirar o amostrador, analisar e recolher as amostras para uma análise mais profunda no futuro. O ensaio acaba quando, em qualquer das fases, sejam necessárias 60 pancadas para a ponteira avançar 20 centímetros, em três profundidades diferentes sucessivas.

2.3. Torres Vedras, Lisboa e Alandroal, Évora

Primeiro foi identificado o local para a realização do primeiro ensaio DPL (figura 5). Neste ensaio um motor foi utilizado para levantar o peso e para utilizar o macaco para retirar as varas.

Para iniciar o ensaio foi colocado a ponteira no local onde íamos realizar o furo, uma vara e por último o penetrómetro dinâmico leve no topo da vara. Com o motor ligado, o movimento de queda do peso faz com que a vara, com a ponteira, seja enterrada no solo. A vara estava dividida de 10 em 10 centímetros e o ensaio só terminou quando contei mais de 100 pancadas para que 10 centímetros entrem no subsolo.

O mesmo processo foi realizado na localização seguinte.



Figura 5 - Realização de um ensaio DPL.

2.4. Marco de Canaveses, Porto

Aqui foram realizadas mais sondagens SPTs, e também foi realizada a caracterização de um talude no local da sondagem. Foi realizada a sondagem SPT (figura 6) usando o procedimento anteriormente descrito: três fases com um amostrador de 60 centímetros dividido, recolha da amostra em cada 1,50 metros e o ensaio terminou após 60 pancadas serem necessárias para a ponteira avançar os 20 centímetros, em três profundidades diferentes seguidas umas das outras.



Figura 6 - Realização de sondagem SPT.

Para a caracterização do talude, descrevemos as diáclases presentes e medimos as suas atitudes. Foi usado o martelo de Schmidt, para determinar as propriedades de resistência à compressão das rochas aflorantes (figura 7).



Figura 7 - Utilização do martelo de Schmidt no talude estudado.

Para realizar este ensaio, é necessário seguir algumas etapas de preparação da superfície a ser ensaiada. Primeiramente, utiliza-se uma lixa para remover relevos mais significativos da superfície do material rochoso. Esse processo vai garantir uma superfície mais uniforme e adequada para o ensaio.

Após a preparação da superfície, é possível aplicar o martelo de Schmidt. Para realizar a medição, a cabeça do veio de compressão do instrumento é posicionada perpendicularmente à superfície a ser ensaiada. Em seguida, o corpo do martelo de Schmidt é pressionado de forma contínua contra a superfície. É aplicada pressão contínua até que a massa se solte e seja ouvido o impacto. Esse impacto é um sinal de que a medição foi realizada e pode ser lida. O valor obtido representa a dureza superficial do material ensaiado e é utilizado para avaliar suas propriedades físicas.

3. Resistividade Elétrica

3.1. Princípios Teóricos

Existem vários métodos elétricos, alguns fazem uso de campos da Terra, enquanto outros requerem a introdução de correntes geradas artificialmente no solo e serão estes últimos a serem usados nos trabalhos futuros. Assim método da resistividade elétrica consiste na injeção de corrente elétrica no solo, medindo as diferenças de potencial resultantes na superfície, investigando as propriedades elétricas do subsolo.

A resistividade elétrica é o oposto da condutividade elétrica, esta é a melhor propriedade geofísica na caracterização geológica da exploração geofísica e resulta da medição da capacidade de um material para conduzir corrente elétrica (Kearey *et al.*, 2002; Mussett & Khan, 2000).

As principais aplicações deste método são, mapear a presença de rochas de diferentes porosidades, particularmente em conexão com a hidrogeologia para deteção de aquíferos e contaminação, e para prospeção mineral. Outros usos incluem: investigação salina e outros tipos de poluição; levantamento arqueológico; deteção de rochas de altas temperaturas (Mussett & Khan, 2000).

3.1.1. Lei de Ohm e Resistividade

A resistividade elétrica (ρ , unidade SI ohm-metro), que corresponde ao inverso da condutividade elétrica (σ , unidade SI Siemens-metro) de um material, é dada pela expressão:

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

A lei de Ohm aplica-se na grande maioria dos estudos geofísicos e permite calcular uma resistência, tendo em consideração as dimensões do material, onde é atravessado uma corrente, mas, tendo em conta o fluxo de corrente elétrica na Terra, esse fluxo ocorre num volume limitado (Kearey *et al.*, 2002; Reynolds, 1997). Mas existe uma exceção em locais com elevadas densidades de corrente elétrica,

3.1.2. Resistividade de rochas e minerais

A resistividade elétrica das rochas é variável e está dependente da qualidade da rocha, grau de compactação, o estado de alteração, o grau de saturação em água, salinidade e principalmente pela fraturação e porosidade. Existem diferentes tipos de rochas que exibem variações de resistividade que se sobrepõe e por essa razão não é possível determinar com exatidão o tipo de rocha presente no subsolo, através da interpretação dos dados de resistividade. As rochas ígneas tendem a apresentar maior resistividade, as rochas sedimentares apresentam menor resistividade (devido à sua grande porosidade e quando preenchidas por água) e as rochas metamórficas apresentam resistividades intermédias (figura 8). No entanto, nas rochas cristalinas com porosidade intergranular insignificante, as fraturas e fissuras desempenham um papel importante como condutores (Kearey *et al.*, 2002; Loke, M., 2004).

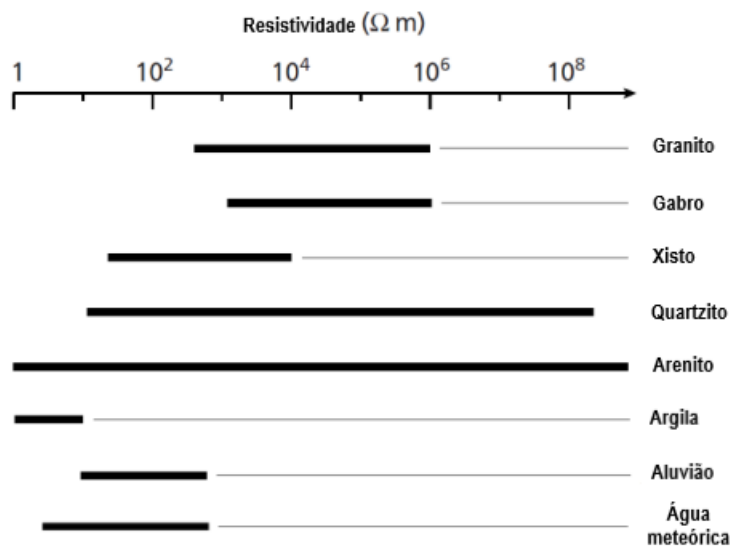


Figura 8 - Intervalos de valores da resistividade elétrica para alguns materiais geológicos (adaptado de Kearey *et al.*, 2002).

3.2. Vila Verde, Braga

O trabalho foi realizado com o intuito de selecionar zonas para a realização de furos para obtenção de água. Assim foi acompanhado a realização de um perfil de 270 metros.

Foram usados 3 cabos elétricos de 90 metros para atingir os 270 metros. Os elétrodos foram colocados com 5 metros de espaçamento, num total de 18 elétrodos (figura 9). Concluindo a fase de colocação dos elétrodos foi vertida água com sal em cada elétrodo e ligou-se o resistímetro ao cabo elétrico, uma bateria e um computador de campo para poder iniciar a obtenção de dados (figura 10).



Figura 9 - Colocação dos elétrodos e extensão do cabo elétrico.



Figura 10 - Resistímetro ligado ao cabo elétrico e a um computador de campo.

Parte II – Geofísica Aplicada à Prospeção Geológica

Capítulo 1 – Enquadramento Geral

1.1. Enquadramento Geográfico

A área em estudo está representada na figura 11 e estende-se desde Ponte de Lima, (concelhos Serdedelo, Fornelos e Queijadas), até o município de Braga (concelhos Adaúfe e Palmeira), estando assim incluída nos distritos de Braga e de Viana do Castelo. Esta área está cartografada nas folhas militares nº 29 (Ponte da Barca), nº 41 (Geraz do Lima, Viana do Castelo), nº 42 (Vila Verde), nº 55 (Carapeços, Barcelos), nº 56 (Amares), nº 70 (Braga) à escala 1:25000 da Carta Militar de Portugal, dos Serviços Cartográficos do Exército.



Figura 11 - Localização geográfica da área estudada (fotografia de satélite extraída do Google Earth, 2022).

1.2. Enquadramento Geomorfológico e Tectónico

A geomorfologia da área em estudo é caracterizada por relevos bastante elevados, separados por vales profundos (Teixeira *et al.*, 1972), devido à tectónica que afetou a zona, pois os rios que criam esses vales apresentam o seu curso perfeitamente controlado por esta fraturação (Ferreira *et al.*, 2000). A área em estudo está enquadrada no Maciço Ibérico (também designado de Maciço Hespérico), que é constituído por um extenso afloramento de rochas de idade Paleozoica que formam a estrutura central e ocidental da Península Ibérica.

O Maciço Ibérico corresponde a um fragmento complexo do Soco Varisco Europeu (Perez-Estaun *et al.*, 2004), no qual há grandes evidências da evolução e formação de paleocontinentes, em específico da Pangeia, onde a Orogenia Varisca modelou a formação e alteração de grandes estruturas geológicas e do próprio relevo da Península. O Maciço Ibérico exibe uma notável heterogeneidade geológica ao longo de sua extensão. Como resultado foi dividido em zonas geotectónicas (figura 12), de nordeste para sudoeste, incluindo: Zona Cantábrica (ZC), Zona Astúrica-Occidental Leonesa (ZAOL), Zona de Galiza-Trás-os-Montes (ZGTM), Zona Centro Ibérica (ZCI), Zona de Ossa Morena (ZOM) e Zona Sul Portuguesa (ZSP) (Julivert *et al.*, 1974; Farias *et al.*, 1987; Ribeiro *et al.*, 1989; Perez-Estaun *et al.*, 2004; Ribeiro *et al.*, 2006), sendo que, as zonas correspondem a subunidades, que estão inseridas em unidades.



Figura 12 - Zonamento geotectónico da Península Ibérica, com unidades estruturais de primeira ordem (terrenos) e de segunda ordem (zonas) (adaptado de Ribeiro *et al.*, 2006 in Rolo, R., 2021).

A área de estudo enquadra-se na ZCI e na ZGTM:

- A primeira zona foi estruturada durante a Orogenia Varisca que resultou da colisão continental entre os continentes Gondwana e a Laurassia que se iniciou entre o fim do Silúrico e início do Devónico sendo caracterizada por mecanismos de subducção e obdução da crosta oceânica que constituem o maior evento da evolução tectónica da Europa ocidental (Dias & Ribeiro 1995).
- A segunda zona é marcada pela sobreposição de mantos (escamas tectónicas), separadas por carreamentos de idade Varisca. Estas unidades tectonoestratigráficas têm carácter alóctone, sub-autóctone e parautoctone, sendo que a *Main Trás-os-Montes Trust* (carreamento) (MTMT) põem em contacto o autóctone e o parautoctone. O parautoctone corresponde a rochas metassedimentares e vulcanossedimentares do Paleozóico inferior e apresentam características litoestratigráficas similares às unidades autóctones (Farias, *et al.*, 1987) (Ferreira, *et al.*, 1987).

O ciclo Varisco começou com a abertura de oceanos Paleozóicos rodeados por margens passivas (540-420 Ma), seguido do início da subducção nos Oceanos Paleozóicos com a abertura de bacias marginais pós-arco e obdução de lâminas ofiolíticas (420-390 Ma) e eventos termometamórficos de alta pressão. Em seguida sucedeu-se a colisão continental e a orogénese com polaridade sedimentar e tectónica orientada em direcção às zonas de antepaís ZC a NE e ZSP, a SW (390-300 Ma) acompanhada de anomalias térmicas geradoras de abundantes granitóides e metamorfismo de alta temperatura resultando numa deformação intracontinental transcorrente seguida do colapso orogénico localizado (300-270 Ma) (Ribeiro *et al.*, 2006). A deformação Varisca é caracterizada por múltiplas fases tectónicas, sendo as três fases principais as seguintes: primeira fase de deformação (Fase D1), segunda fase de deformação (Fase D2) e terceira fase de deformação (Fase D3) (Noronha *et al.*, 1979; Dias & Ribeiro, 1995; Ribeiro *et al.*, 2006).

- A Fase D1 gerou dobras com uma orientação predominante NW-SE, exceto nos terrenos alóctones, parautoctones ou autóctones, onde gerou dobras com orientações e vergências diferentes com plano axial vertical no autóctone e ligeiramente vergentes no parautoctone.
- A Fase D2 decorreu próxima da fase D1 com formação de dobras deitadas acentuando-se a vergência para SE ficando particularmente bem representada no alóctone e no parautoctone (Dias & Ribeiro, 1995), verificando-se o desenvolvimento de uma foliação subhorizontal (S2) bem marcada no Domínio Peritransmontano e

pouco marcada ou limitada às proximidades do carreamento, no Domínio do Douro Inferior (Ribeiro, 1974; Noronha *et al.*, 1979).

- A Fase D3 ao contrário da fase D1 e D2, observa-se nos terrenos autóctones, parautóctones e alóctones. A nível regional são identificados corredores e zonas de cisalhamento tanto dúcteis-frágeis quanto frágeis, que possuem uma orientação de plano vertical e um azimute predominante de NNE-SSW (ex. falha Régua-Verin). Também, nesta fase, houve a reativação em regime transcorrente de estruturas anteriores, possivelmente formadas nas duas fases anteriores (ex. zona de cisalhamento Vigo-Régua) (Castro *et al.*, 2010).

Além disso, durante a orogenia Varisca, ainda na fase D3, houve um espessamento crustal que consequentemente, produziu magmas graníticos por anatexia. Estes granitos formados durante esta orogenia podem ser classificados de duas maneiras diferentes: segundo Azevedo & Aguado, 2013 e Noronha *et al.*, 2013 (*in* Pereira *et al.*, 2013) são classificados segundo o seu período de instalação relativamente à fase D3 em granitos sin-, tardi a pós-, e pós-D3; ou segundo Ferreira *et al.*, 1987 são classificados segundo as micas presentes em granitos de duas micas e granitos biotíticos.

Usando o modo de classificação mais recente (Azevedo & Aguado, 2013 e Noronha *et al.*, 2013 *in* Pereira *et al.*, 2013), podemos os classificar da seguinte forma:

- Os granitoides sin-D3 têm idade compreendida entre 320-310 Ma e instalaram-se em simultâneo com a formação dos principais dobramentos da fase D3, ocupando as suas zonas de charneira com direção NW-SE, são também predominantemente granitos peraluminosos de duas micas havendo alguns corpos de granodioritos e granitos biotíticos.
- Os granitoides de idade tardi- a pós-D3, com idades entre 300-270 Ma, são compostos por complexos intrusivos que se formaram no final ou posteriormente à fase de deformação. Esses são predominantemente monzogranitos/granodioritos, com uma composição essencialmente biotítica, além disso, eles podem estar associados a rochas básicas e intermediárias.
- Os granitoides pós-D3 têm idades de 290-299 Ma (Dias *et al.*, 2010) e organizam plutões concêntricamente zonados discordantes das estruturas regionais (Pereira *et al.*, 2013).

1.2.1. Neotectónica da Região do Minho Ocidental

O termo Neotectónica foi usado pela primeira vez por V.A. Obruchev, em 1948, significa tectónica nova e é usado para designar o ramo das Ciências da Terra dedicado ao estudo dos movimentos da crosta terrestre que ocorreram durante os períodos do Neogénico (Terciário Superior) e do Quaternário, e que tiveram uma ação fundamental na génese da topografia contemporânea (*in* Mescherikov, 1968).

A atividade neotectónica pode conduzir a variadas deformações, dependendo dos enquadramentos geológicos e tectónicos, condicionadas principalmente pelas características do campo de tensão na região em estudo desde o início de período neotectónico até a atualidade e pelo comportamento dúctil ou frágil da litosfera.

Segundo Cabral, J. (1995), podemos dividir as deformações neotectónicas em três tipos de deformações mais genéricas:

- a) Movimentos verticais da crosta, por vezes associados a grandes dobramentos que podem provocar levantamentos, subsidência ou balanceamentos;
- b) Dobramentos na maior parte das vezes pouco acentuados e flexuras;
- c) Movimentos de falha.

A região do Minho apresenta um relevo com características contrastantes, despertando o interesse de especialistas em geologia e geomorfologia. A área é marcada por áreas elevadas formando planaltos descontínuos no topo de blocos separados por vales. Esses vales são controlados por fraturas que são difíceis de identificar no terreno. Havendo também vales profundos e amplos com fundo aplanado seguindo orientações preferenciais, embora apresentem contornos sinuosos (Cabral, J., 1995).

As características do relevo na região ocidental do Minho são as suas rochas cristalinas, o clima húmido (grandes diferenças sazonais de temperatura, com verões de quentes a frescos e geralmente húmidos e invernos frios,) que favorece a alteração das rochas e a complexa atividade tectónica (Ferreira, 1986a *in* Cabral, J., 1995). Interpretar o relevo é desafiador devido a três particularidades específicas, a descontinuidade e má preservação dos níveis de aplanamento, ausência de depósitos correspondentes a esses níveis e a natureza íngreme e acidentada das vertentes graníticas (Cabral, J., 1995).

A forma rígida e paralela dos cursos de água, como os rios Cavado e Lima, sugere que eles estejam adaptados a fraturas regionais na crosta terrestre. As mesmas correspondem a grandes falhas contínuas que não são facilmente identificáveis no

terreno, embora existam fraturas menores de orientação ENE-WSW, conforme referenciado por Braga (1988 *in* Cabral, J., 1995), no vale do rio Cavado. Regionalmente, reconhece-se uma fraturação subparalela em escala maior conforme indicado na cartografia disponível.

Ao norte do rio Leça a drenagem principal ocorre em vales amplos com fundos planos, onde diferentes níveis de terraços fluviais e glaciais-terraços podem ser observados. Essas formas fluviais amplas com fundos planos e encostas íngremes e frequentemente irregulares, são consideradas por Ferreira (1986a *in* Cabral, J., 1995) como corredores de erosão que se estendem ao longo dos principais cursos de água. Sendo resultado do esvaziamento de antigas áreas de erosão diferencial interceptadas pelos rios, refletindo a penetração de uma superfície de aplanamento poligênica do Plio-Quaternário para o interior do continente. Embora os vales da região ocidental do Minho tenham uma morfologia distinta, não há sinais evidentes de um encaixe profundo e recente da drenagem fluvial. No entanto, a presença de diferentes níveis de terraços fluviais indica um encaixe cíclico dos cursos de água e demonstra uma tendência regional de levantamento do continente durante o Pleistoceno, embora com intensidade limitada devido às altitudes relativamente baixas em que essas referências se encontram suspensas na topografia (Cabral, J., 1995).

Na região baixa do oeste do Minho, Ferreira (1983, 1986a *in* Cabral, J., 1995) referencia que existem planícies compostas por vários níveis de sedimentos do Plio-Quaternário, chamada "aplanação poligénica", encontrando-se deprimidas em relação às regiões vizinhas; esses depósitos podem ter sido preservados em depressões tectónicas, mas a falta de espessura significativa dos mesmos e a ausência de falhas principais que comandam o relevo regional contestam essa hipótese. A cartografia geológica disponível também não indica a presença de falhas tectónicas principais delimitando diretamente essas áreas de sedimentação. Ainda que tenham sido identificadas deformações neotectónicas em alguns locais da região, os dados disponíveis sugerem que os depósitos de Alvarães e Prado representam principalmente um antigo relevo que foi parcialmente preenchido pelos sedimentos pliocénicos e pode ter sido deformado por falhas e/ou movimentos regionais (Braga, 1988 *in* Cabral, J., 1995).

O desenvolvimento dos volumes montanhosos na região do Minho ocorreu anteriormente ao Pliocénico, o que explica a diferença entre as características hipsométricas do relevo e as movimentações verticais neotectónicas e resultando de movimentos de levantamento importantes associados à neotectónica (Cabral, J., 1995). A descida do nível do mar provocada pelos movimentos de levantamento,

especialmente pelos deslocamentos de natureza epirogénica que terão sucedido no Miocénico (Nonn, 1969, *in* Cabral, J., 1995), originou uma intensa erosão vertical que foi responsável pelo desenvolvimento de um paleo-relevo com elevada amplitude altimétrica, onde a erosão diferencial das rochas extremamente alteradas pelo clima cenozoico terá tido um papel importante para o desenvolvimento de paleo-vales que se encontram orientados preferencialmente por fraturas ENE-WSW.

Durante o Pliocénico ocorreu uma interrupção e inversão da elevação do nível do mar causada por processos tectónicos, resultando no alargamento das depressões e na deposição de sedimentos que cobriram o relevo antigo. Movimentos de levantamento do continente no final do Pliocénico ou início do Quaternário, provocaram o encaixe dos rios nos vales antigos, a exposição da paleo-topografia e rejuvenescendo-a, apesar de com pouca intensidade na região ocidental do Minho.

Devido à má exposição dos afloramentos rochosos, à alterabilidade das litologias e ao clima húmido que favorece a meteorização, é difícil identificar as falhas tectónicas no terreno. A atividade neotectónica pode ter uma maior influência na formação da morfologia do Minho com deslocamentos verticais diferenciados entre blocos delimitados por falhas em direções específicas. Explicando assim a sismicidade difusa característica da região.

Concluindo, as alterações tectónicas e a deposição de sedimentos no passado influenciaram a paisagem atual do Minho, e os movimentos neotectónicos desempenharam um papel importante na formação da morfologia da região (Cabral, J., 1995).

1.2.2. Zona de cisalhamento Vigo-Régua

A zona de cisalhamento Vigo-Régua, importante para a zona de estudo, é o segmento sul da zona de cisalhamento dúctil Malpica-Lamego (ZCDML) (figura 13), que apresenta uma extensão de 275 km e uma orientação NW-SE paralela a Cadeia Varisca do NW da Península Ibérica (Castro *et al.*, 2010).

A ZCDML está dividida em dois segmentos, a Norte a zona de cisalhamento Malpica-Vigo e a Sul a zona de cisalhamento dúctil Vigo-Régua (Ferreira *et al.*, 1987), esta última influenciando a área de estudo. Caracteriza-se pela presença de uma foliação penetrativa sub-vertical ou inclinada para W e uma lineação de estiramento sub-horizontal (Castro *et al.*, 2010).

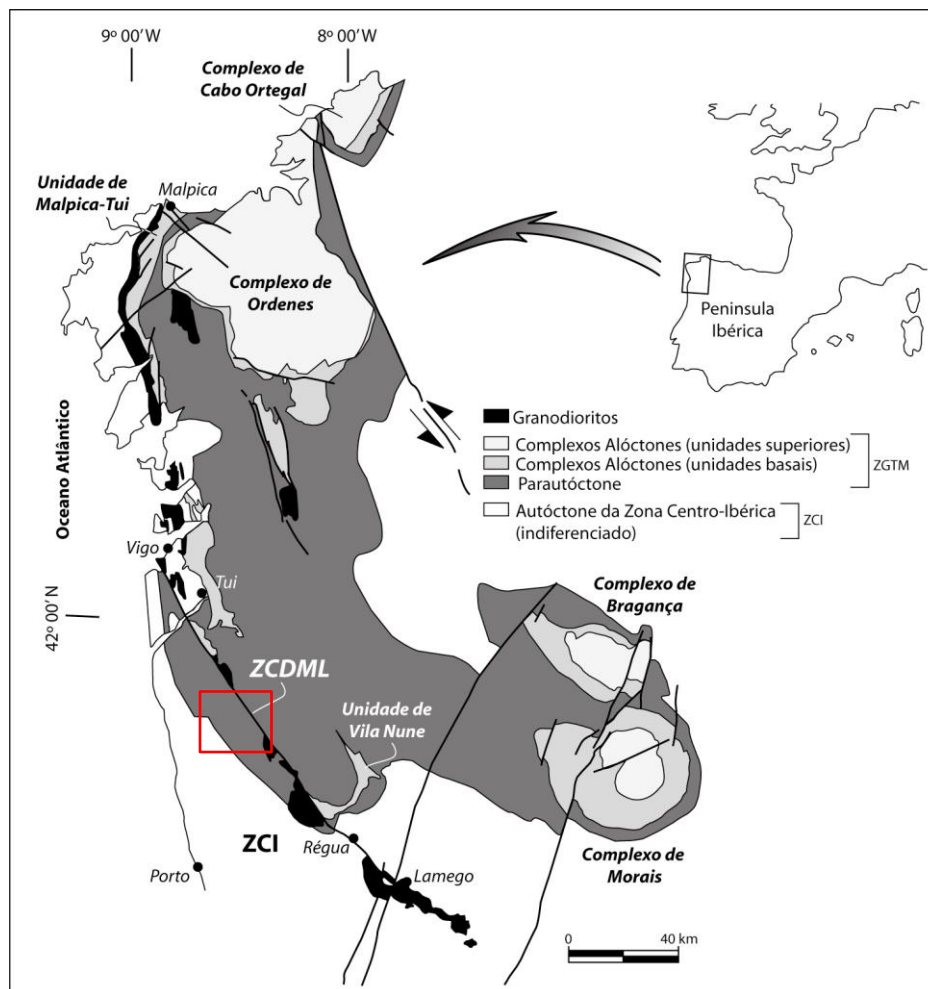


Figura 13 - Representação esquemática da Cadeia Varisca do NW da Península Ibérica, com a localização da zona de cisalhamento dúctil Malpica-Lamego (ZCDML) (extraído de Castro, *et al.*, 2010). A área de estudo está no interior do retângulo vermelho.

As rochas acima do plano de falha (a W) deste cisalhamento são unidades que pertencem ao parautóctone da ZGTM e as rochas abaixo do plano de falha dividem-se em duas partes, na parte N pertencem aos complexos alóctones da unidade de Malpica-Tui (UMT) e na parte S a zona de cisalhamento desenvolve-se ao longo das sequências parautóctones e alóctones da ZCI e das rochas graníticas relacionadas.

Ferreira *et al.* em 1987 descreve a movimentação do segmento sul, zona de cisalhamento dúctil Vigo-Régua, como uma movimentação direcional com uma interpretação cinemática multifásica: sinestrógiro em D1 e D2 (370-310/315 Ma) e dextrógiro na D3 (310/315-300 Ma). Na fase D1 é identificado um evento de cavalgamento seguido por um episódio que altera a vergência estrutural, antes da fase D3 e nessa última fase há inicialmente um movimento direito e seguidamente um esquerdo (Castro *et al.*, 2010).

1.3. Enquadramento Geológico

Em termos de contexto geológico, a área de estudo está contida em quatro folhas da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000, a Folha 5-A (Viana do Castelo), a Folha 5-B (Ponte da Barca), a Folha 5-C (Barcelos) e por último a Folha 5-D (Braga) como é visível na figura a seguir (figura 14).

Em geral, a região de Braga é dominada por rochas graníticas com diferente tamanho de grão, assim como diferentes texturas e composições e por algumas manchas de rochas metassedimentares.

Para simplificar, como a área está dividida por essas quatro folhas o seu contexto geológico também irá ser dividido em cada uma das respetivas folhas.

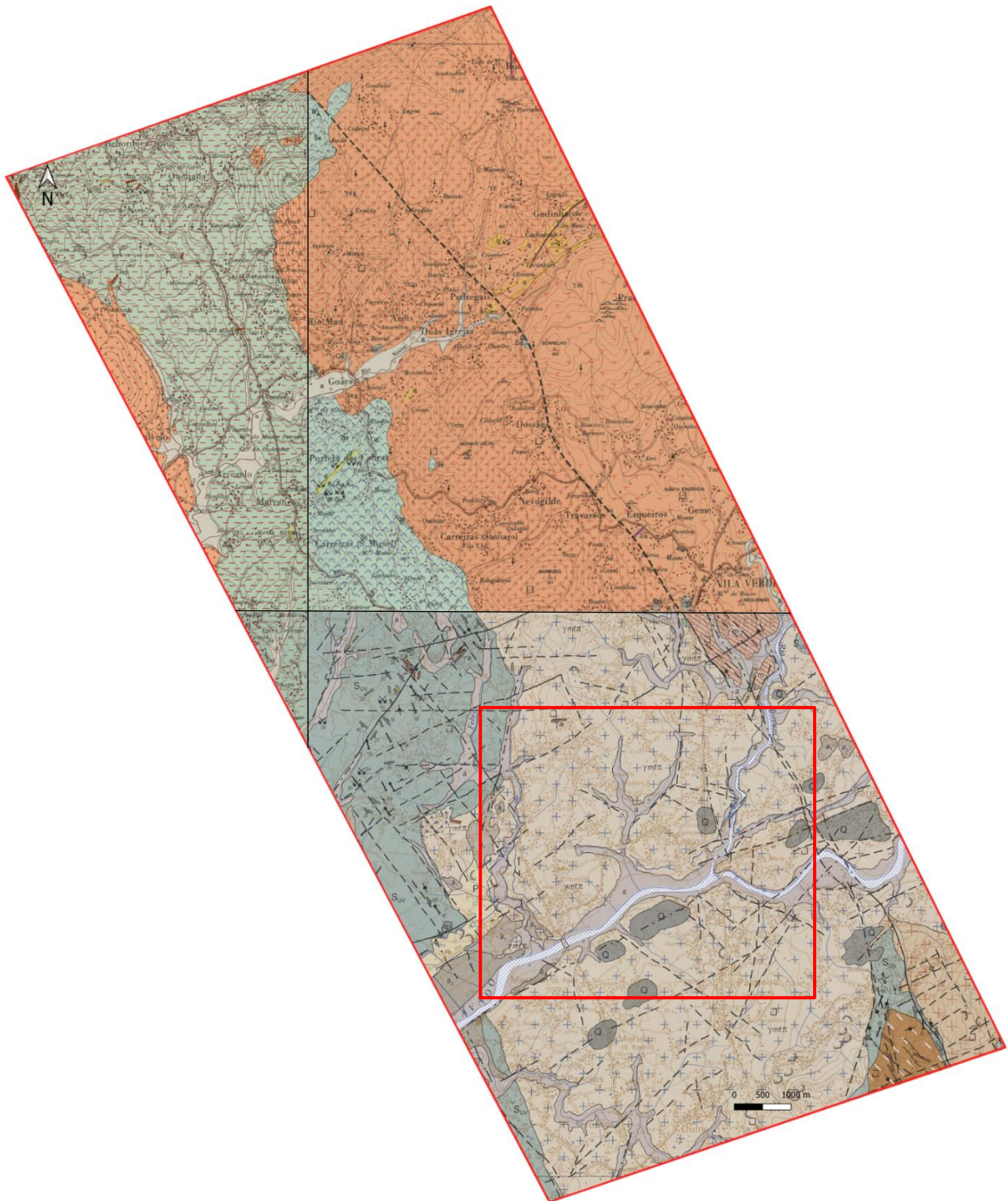


Figura 14 - Enquadramento geológico da área de estudo nas folhas 5-A (Viana do Castelo), 5-B (Ponte da Barca), a 5-C (Barcelos) e 5-D (Braga). A área dentro do quadrado vermelho é a área onde o estudo gravimétrico foi realizado.

A primeira parte da área de estudo está presente na folha 5-A (Viana do Castelo), representada na figura 15. Do ponto de vista geológico, podemos observar aluviões atuais ao longo dos rios e os seus afluentes, terrenos do Silúrico e rochas graníticas. Os aluviões são constituídos por lodos, areias e cascalheiras fluviais e estão presentes ao longo dos rios e seus afluentes.

Os terrenos do Silúrico ocupam uma grande área desta porção da zona em estudo, sendo muito metamorfizados e são constituídos principalmente por xistos, grauvaques e corneanas, com faixas de xistos grafitosos, liditos e quartzitos intercalados. As bancadas grafitosas são abundantes e como todas as rochas do Silúrico desta região apresenta uma orientação NNW-SSE. A faixa silúrica prolonga-se para E, mas encontra-se compartimentada pelas intrusões graníticas (Teixeira *et al.* 1972). Na folha 5-D (Braga) estes terrenos passam a ser identificados como Unidade de Vila Nune (unidade do alóctone) e Unidade do Minho Central e Ocidental (unidade do parautóctone) (Ferreira *et al.*, 2000), sendo a primeira a presente na área de estudo.

No terreno estão presentes dois tipos de granitos, um calco-alcalino porfiroide de grão grosseiro e outro alcalino de grão médio ou fino a médio. O primeiro apresenta uma mancha em Anais situada no limite oriental da área mapeada nesta carta. Como mencionada anteriormente, é um granito porfiroide e faz contacto brusco com xistos do Silúrico. O segundo, chamado Granito de Calvedo da mancha de S. Veríssimo, é um granito moscovítico em que não é evidente a tendência porfiróide e grão ligeiramente mais fino em comparação aos outros granitos alcalinos. Tem um tom mais acinzentado dos feldspatos, que ao contrário dos outros granitos desta região são plagioclases do tipo oligoclásico (Teixeira *et al.* 1972).

Por último, existem algumas massas e filões de aplito-pegmatito e pegmatito, encaixados nas rochas silúricas. Também encaixados nas rochas do Silúrico há, embora em menos quantidade, filões quartzosos frequentemente mineralizados (Teixeira *et al.* 1972).

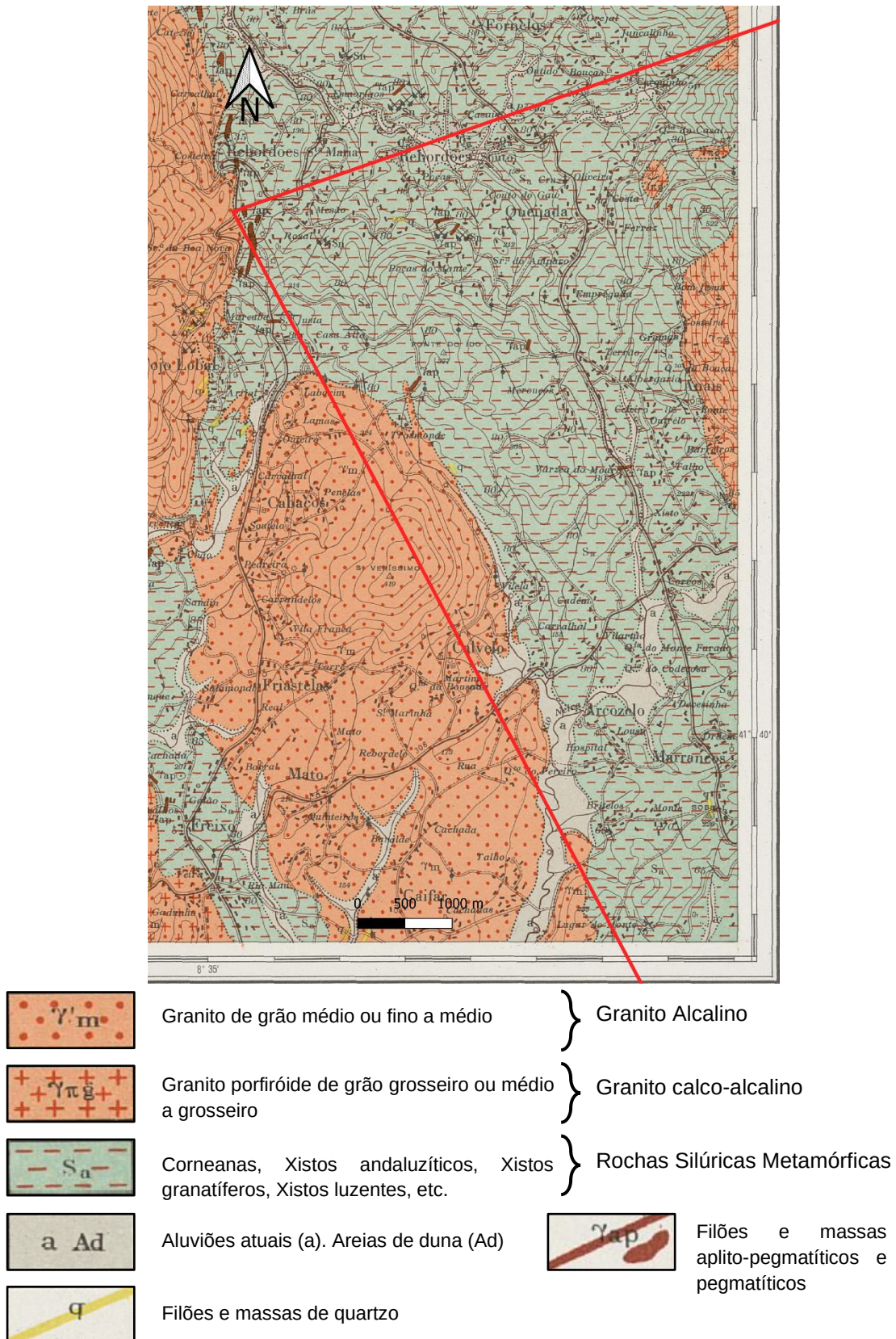


Figura 15 - Localização da zona norte da área de estudo, no excerto da Folha 5-A (Viana do Castelo) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000 e a respetiva legenda da folha.

A segunda parte da área de estudo está presente na folha 5-B (Ponte da Barca), representada na figura 16. Do ponto de vista geológico podemos observar aluviões atuais, depósitos de terraço do Plistocénico, terrenos do silúrico e várias rochas graníticas.

Os aluviões atuais encontram-se sobretudo ao longo dos rios, no rio Neiva, a jusante da região de Duas Igrejas, sendo o vale largo e coberto por depósitos aluviais.

Os depósitos Plistocénicos são depósitos de terraço a diferentes altitudes, 5 a 10 metros, 20 a 25 metros e 50 a 70 metros. Na área, há um depósito de terraço a 5 a 10 metros entre rio Mau e o rio Neiva, e dois depósitos a 50 a 70 metros em Vila Verde, um dentro da própria vila, outro mais a ocidente, na povoação de Real (Medeiros *et al.*, 1975).

Os terrenos do Silúrico ocupam apenas algumas áreas a SW do mapa e são constituídos principalmente por rochas xistentas muito metamorfizadas, transformadas em corneanas e xistos luzentes. Estes fazem contacto com dois tipos de granitos, a E contacta com o granito porfiróide de grão médio (Granito de Braga) e de N com o granito porfiróide de grão grosseiro. Mais a N, a W da povoação de Azedo, é encontrado uma mancha de natureza igual à anterior, mas apenas rodeada por o segundo granito. Seguindo esta mancha para a folha 5-A (Viana do Castelo) é possível observar que é exatamente a mesma mancha de granito que esta mais a S. Existem ainda umas pequenas manchas de xisto completamente englobadas por granito, uma a E de Portela das Cabras, outra a S de Azões e a W de Borrelho, junto a uma falha provável NW-SE associada ao grande cisalhamento Vigo-Régua, encontrando-se estes dois últimos na linha de contacto dos granitos de Braga e de Vila Verde.

As corneanas são rochas de grão fino, melanocráticas ou bandadas com texturas frequentemente granoblásticas, folheados e/ou porfiroblásticas, sendo a biotite o mineral responsável pelo foliado e a cordierite pela porfiroblastese (Medeiros *et al.*, 1975).

Destacam-se dois tipos de granitos, os calco-alcalinos e os alcalinos.

- Granitos calco-alcalinos:
 - Granito porfiróide, pode ser de grão grosseiro ou médio grosseiro, monzonítico, de duas micas predominantemente biotítico, o feldspato sendo o mais abundante a plagioclase em megacristais ou como constituinte da matriz, estando presente na parte mais a N da área e sendo o mais representativo da região.

- Granito de Braga é porfiroide, pode ser de grão médio ou fino a médio, estende-se para o mapa 5-D (Braga).
- Granito de Vila Verde é não porfiroide, de grão médio ou grosseiro a médio de duas micas, pouco biotítico constituído essencialmente por quartzo, feldspato potássico e oligóclase, este contacta em toda a volta pelo Granito de Braga estendendo-se também para o mapa 5-D (Braga).
- Granitos alcalinos são não porfíroides, de grão fino e de duas micas, existindo uma mancha a NW de Godinhaços havendo contacto com o Granito de Braga a toda a volta, exceto a S que está em contacto com o granito de Vila Verde (Medeiros *et al.*, 1975).

Por último, existem filões quartzosos e filões de rochas básicas. Entre os vários filões de quartzo dentro da área, os mais importantes são os de Godinhaços-Pedregais com cerca de 2 ou 3 quilómetros de extensão, orientados na direção NE-SW e em contacto com o granito de Vila Verde e o Granito de Braga. Estes filões com espessura com mais de 5 ou 6 metros, estão inclinados cerca de 60° para NW e o quartzo apresenta-se intensamente fraturado com aspeto brechóide não consolidado. O granito encaixante está intensamente arenizado, desfazendo-se sob a ação de qualquer pequena pressão. Os filões de rochas básicas existem em menos quantidade dentro da área de estudo, porém é importante mencionar a existência de pelo menos um a acompanhar os filões de Godinhaços constituído por rochas de textura porfírica (Medeiros *et al.*, 1975).

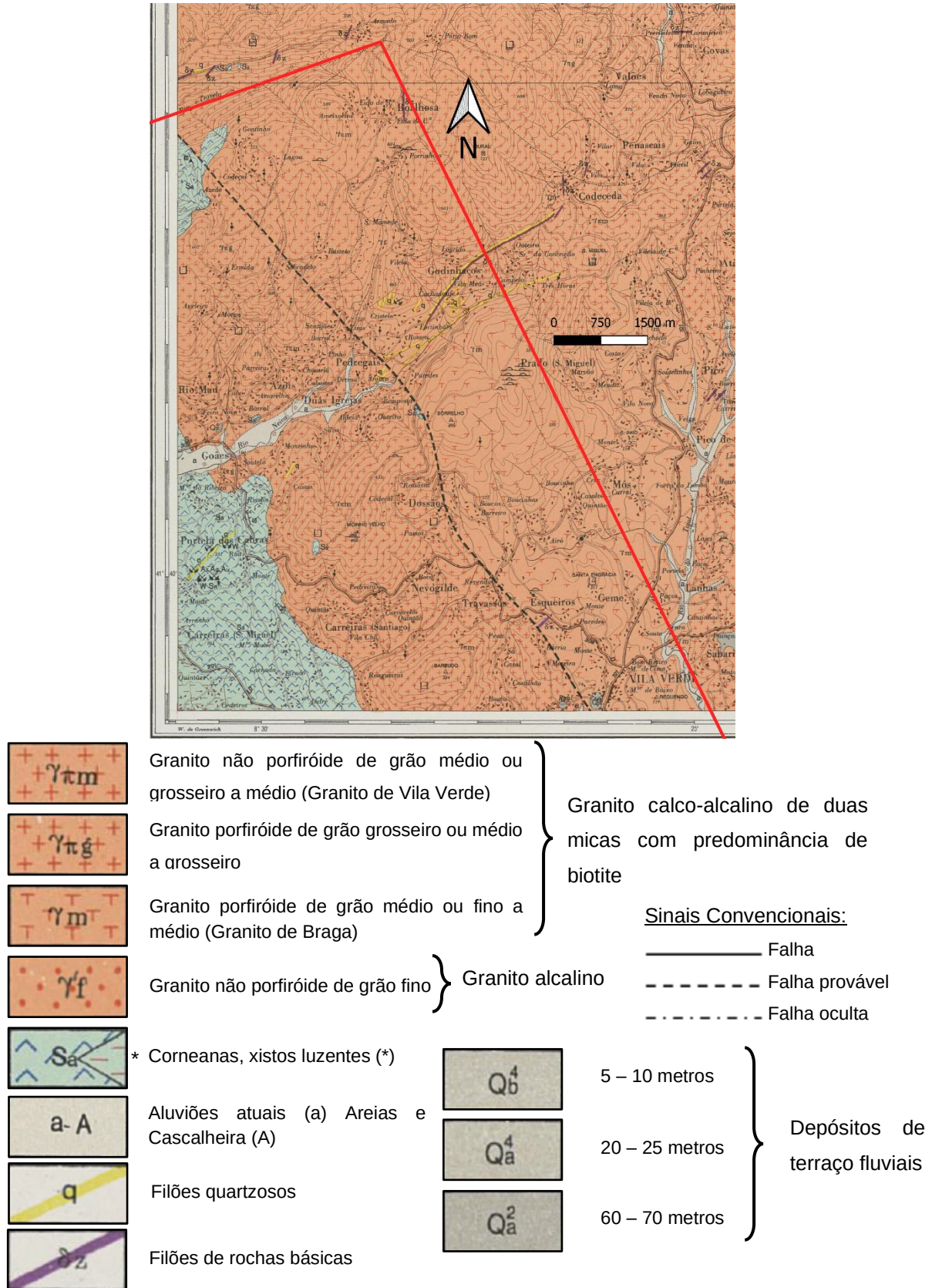


Figura 16 - Localização da zona norte da área de estudo, no excerto da Folha 5- B (Ponte da Barca) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000 e a respetiva legenda da folha.

A terceira parte da área de estudo está presente na folha 5-C (Barcelos), representada na figura 17. Do ponto de vista geológico podemos observar aluviões atuais e a continuação dos terrenos do silúrico.

Os terrenos silúricos dentro desta pequena área pertencem à mancha de Encourados a Sandiões. As rochas Silúricas são principalmente constituídas por xistos, rodeados por granitos, cuja intrusão metamorfozou profundamente as rochas do Silúrico (Teixeira *et al.*, 1969). Na folha 5-D (Barga) estes terrenos parecem ser a continuação da Unidade de Vila Nune (Ferreira *et al.*, 2000).

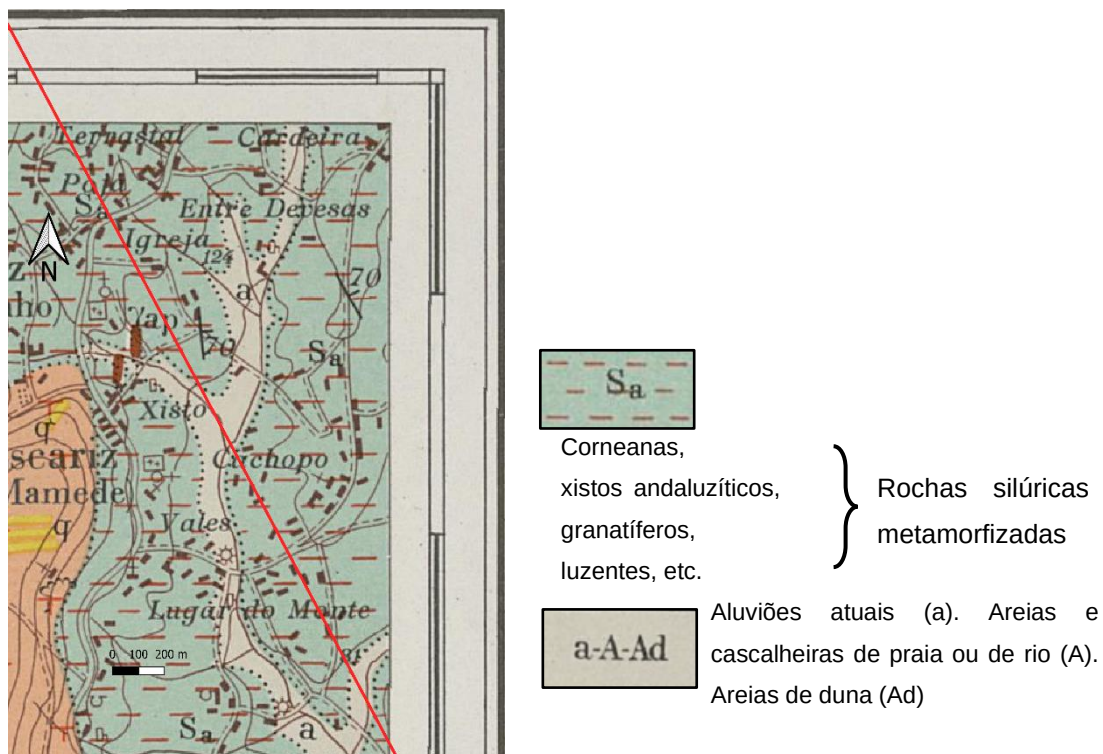


Figura 17 - Localização da zona norte da área de estudo, no excerto da Folha 5- C (Barcelos) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000 e a respetiva legenda da folha.

Por último, a quarta parte da área de estudo está presente na folha 5-D (Braga), representada na figura 18. Do ponto de vista geológico podemos observar depósitos fluviais, solifluxão e vertente, terrenos do Silúrico (Unidade de Vila Nune), vários granitos e filões de quartzo e pegmatíticos.

Os depósitos mais recentes da área podem-se agrupar nos seguintes conjuntos (Ferreira *et al.*, 2000):

- depósitos fluviais não atuais (a_2) constituídos por restos da planície aluvial de Prado;

- depósitos de solifluxão e de vertente (a_1) caracterizados por uma matriz de areia fina a grosseira, castanha-amarelada, com blocos e seixos dispersos de quartzo subanguloso e feldspatos com rolamento fraco e lentículas ou bolsadas de argila cinzenta-clara a amarelada.
- depósitos fluviais atuais (a) constituídos por seixos rolados a subrolados, areias e areias argilosas acompanham os leitos dos rios atuais.

Os depósitos de idade Quaternária aglomeram os depósitos fluviais que são formados por areias caulínicas que constituem toda a sucessão de terraços desde perto de Amares até Merelim (Teixeira *et al.*, 1973 in Ferreira *et al.*, 2000) e que se estendem para o limite W da carta na região de Prado-Cabanelas e Cruto-Ucha (Ferreira *et al.*, 2000).

Os terrenos do Silúrico presentes dentro da área de estudo pertencem a Unidade Vila Nune na parte do alóctone. Os terrenos do para autóctone, Unidade do Minho Central e Ocidental, também do Silúrico, não estão presentes dentro da área de estudo. A Unidade de Vila Nune, com litologias principais como micaxistos e migmatitos que são de maior grau metamórfico, estende-se desde Freiriz até Nogueira e inclui as machas de metassedimentos intragraníticas incluindo as que definem o cisalhamento Vigo-Régua. Os migmatitos estão bem representados nas manchas de metassedimentos do cisalhamento Vigo-Régua. Nos micaxistos, há que destacar a presença de níveis anormalmente ricos de turmalina, de anfíbolitos e rochas calcossilicatadas. Estes micaxistos ricos em turmalina, turmalinitos, encontram-se raros níveis de xistos negros com alguns metros de possança. Estas rochas são monominerálicas, de grão fino, com raras segregações de quartzo metamórfico e sofreram deformações pelas fases D2 e D3. Na Unidade de Vila Nune reconhece-se a presença de vulcanitos básicos, permitindo assim estabelecer a correlação litoestratigráfica com o alóctone de Cabeceiras de Basto (Pereira & Ribeiro, 1983). Esses vulcanitos básicos apresentam-se skarnificados tornando-os em anfíbolitos.

Segundo Gomes *et al.* (1997), com base no estudo estrutural e paragenético dos turmalinitos existentes nestas unidades do Silúrico, os turmalinitos que ocorrem nesta carta são do tipo metamórfico, estratiformes concordantes com a D2 (Ferreira *et al.*, 2000).

Ferreira *et al.* (2000) caracterizou as rochas graníticas hercínicas em três grupos: (1) granitóides sin-F3 (320-310 Ma), granitos de Gondizalves, Vila Verde e Sameiro; (2) granitóides tardi-F3 (310-305 Ma), granito de Celeirós, Póvoa de Lanhoso e Braga; (3) granitóides tardi- a pós-F3 (≈ 300 Ma), granito de Briteiros. Mas dentro da área de estudo

só é encontrado sin-F3, granitos de Vila Verde e Sameiro, e tardi-F3, granitos de Celeirós e Vieira do Minho e Braga. Os granitos nesta folha estão distribuídos paralelamente à zona de cisalhamento dúctil Vigo-Régua ou à fraturação tardi-hercínica (Ferreira *et al.*, 2000).

Começando pelo granito de Vila Verde, a pequena mancha junto a Vila Verde e estendem-se para a folha 5-C (Barcelos) a N desta sendo caracterizado por ter tendência porfiróide, grão médio, duas micas e com foliação paralela ao cisalhamento Vigo-Régua. A SW de Vila Verde contacto com o Granito de Braga está bem marcado por esse cisalhamento com orientação N40°W, tendo mais influencia neste granito em comparação ao Granito de Braga (Ferreira *et al.*, 2000).

O outro granito sin-F3, o granito de Sameiro, estende-se entre Adaúfe e Gominhães, mas o terreno de estudo engloba a parte mais a N da mancha. Este granito apresenta uma composição de granodiorito a monzogranito biotítico, porfiróide de grão médio com orientação bem marcada, quer da matriz quer dos grandes cristais de feldspato potássico (entre 5 e 20 centímetros) contendo inclusões alinhadas de biotite organizadas concêntricamente (inclusões de Frasl) e contem também encraves microgranulares máficos, metassedimentares e raros encraves leucocráticos. Estas últimas características conferem o facto que a estrutura interna deste granito é essencialmente magmática. A estrutura interna resulta da deformação dos magmas por achatamento com reduzida componente rotacional, num regime tectónico dominado por uma componente compressiva sub-horizontal com orientação NE-SW, sem movimento significativo ao longo do cisalhamento Vigo-Régua (Simões, 2000). A ascensão e instalação dos magmas terá sido auxiliada pela deformação do encaixante metassedimentar com expansão lateral *in situ* (Ferreira *et al.*, 2000).

O granito de Celeirós e Vieira do Minho, um dos granitos tardi-F3, corresponde a um monzogranito biotítico, com rara moscovita, porfiróide de grão grosseiro, apresenta bastantes megacristais com contorno mal definido e aspeto “amebóide” contendo frequentes inclusões de biotite dispostas concêntricamente. Identificam-se também com muita frequência a presença de cordierite, normalmente alterada para gigantolite em cristais esverdeados de cerca de 10 mm de largura (Ferreira *et al.*, 2000). Existe uma mancha que se estende entre as povoações de Cachada e Balbeira que se encontra cortada pelo Granito de Briteiros, mas como no granito anterior, só a parte mais a N da mancha encontra-se dentro da área de estudo.

Finalmente, o Granito de Braga, também tardi-F3, corresponde a um monzogranito biotítico com rara moscovite, de tendência porfiróide de grão médio a fino. Existem

fenocristais de feldspato potássico com tendência euédrica e grande relação eixo maior eixo menor proporcionando-lhe um aspeto alongado. O granito apresenta numerosos encraves de diversos tipos sendo esses os seguintes: encraves metassedimentares de dimensão variável de centimétrica a métrica, contendo geralmente andaluzite no seu interior; pequenos encraves micáceos com andaluzite e silimanite; e os mais abundantes são os microgranulares máficos (Ferreira *et al.*, 2000).

A mancha do Granito de Braga apresenta uma forma de ferradura estende-se da povoação de Escudeiros até Vila Verde continuando até Pico dos Regalados localizado na folha a N 5-B (Ponte da Barca). A mancha granítica por vezes apresenta uma orientação N40°W que possivelmente pode corresponder a fluxo magmático e que está materializada pelo alinhamento dos megacristais, dos encraves e mesmo dos minerais micáceos (Ferreira *et al.*, 2000). Este granito adquiriu o seu nome por assentar a cidade de Braga sendo bastante utilizado como material de construção desde tempos ancestrais até à atualidade como demonstra a arquitetura em granito que caracteriza a cidade (Ferreira *et al.*, 2000).

Por último, esta região é cortada por rochas filonianas de composição variada, mas dentro da área de estudo podemos encontrar apenas filões de quartzo e filões e massas aplíticas e pegmatíticas. Destes últimos, alguns foram objeto de exploração industrial pelo seu interesse económico.

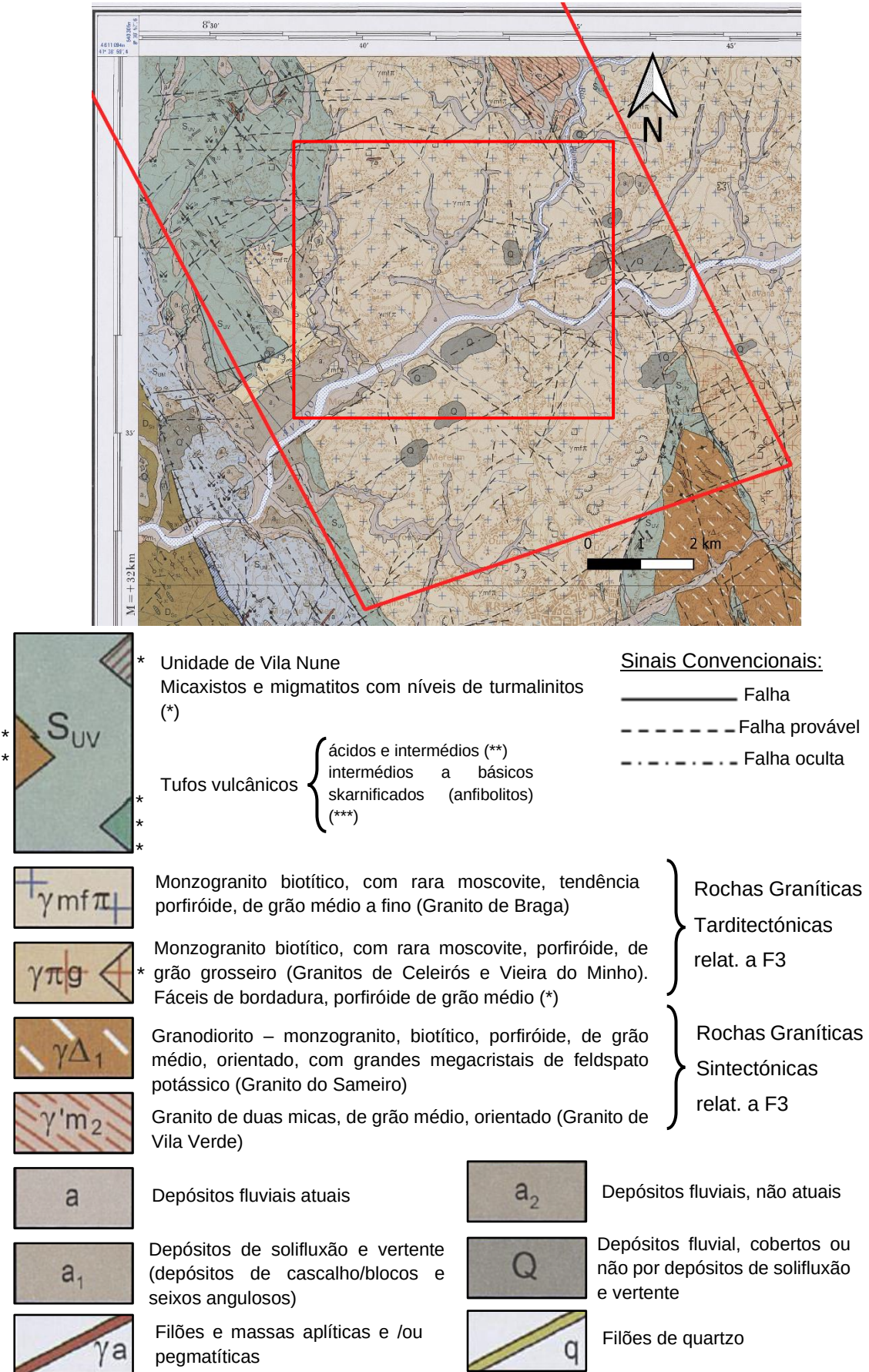


Figura 18 - Localização da zona norte da área de estudo, no excerto da Folha 5- D (Braga) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000 e a respetiva legenda da folha.

Dentro desta zona foram realizadas duas grelhas, uma maior e outra menor. No entanto limitações temporais só permitiram a realização da campanha gravimétrica na grelha menor. A área da segunda grelha, presente na figura 19, localiza-se na Folha 5-D (Braga) e a geologia da zona não apresenta todas as litologias mencionadas anteriormente.

Como é possível observar na figura 19, a maior parte da área está coberta pelo Granito de Braga e depósitos fluviais atuais. Encontrando-se assim um pouco da Unidade de Vila Nune no canto SW do mapa, alguns depósitos fluviais não atuais no canto SW do mapa e ainda na borda W observamos depósitos fluvio-lacustres e depósitos de solifluxão e vertente. Por último, existe massas de depósitos fluviais cobertos ou não por depósitos de solifluxão e vertente e um filão aplítico e/ou pegmatítico.

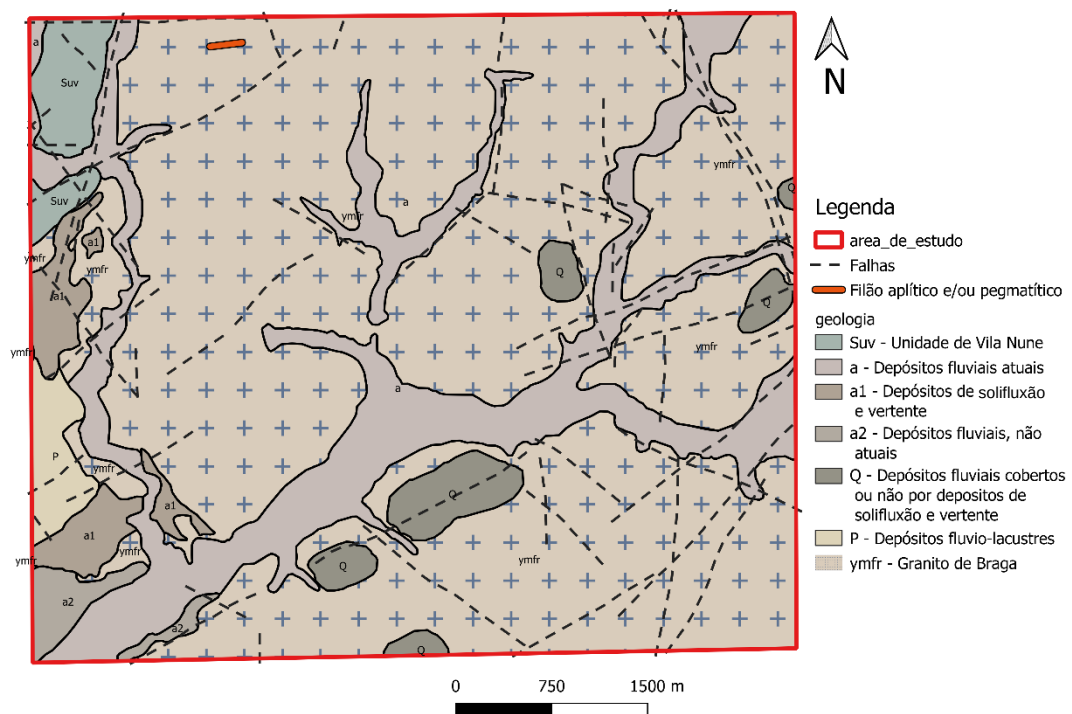


Figura 19 – Mapa da geologia da área onde foi realizado a campanha gravimétrica efetuado no QGIS através da Carta Geológica Folha 5 - D (Braga).

1.4. Enquadramento Hidrogeológico

A zona de estudo está presente numa região morfologicamente dominada por vales profundos relativos a três rios: Cávado, Homem e Lima. Os trajetos destes rios são influenciados pelas direções tectónicas da região e localizados no fundo dos vales de nascentes mineromedicinais (Medeiros *et al.*, 1975). A E da área de estudo localiza-se as nascentes termais de Caldelas.

Os rios Cávado e Homem estão dentro da área de estudo, sendo que o segundo é um afluente do primeiro. O rio Cávado nasce a 1520 metros de altitude no concelho de Montalegre, na Serra de Montalegre, e desagua no concelho de Esposende, percorrendo cerca de 129 quilómetros. O rio Homem, que desagua no rio Cávado na área em estudo, tem uma orientação NE-SW e segue uma linha de fratura com essa mesma direção, paralela aos grandes filões de quartzo mapeados. Nessa direção também existem vales onde há nascentes termais como as de Caldelas (Medeiros *et al.*, 1975). De um ponto de vista hidrogeológico está inserido num sistemas de aquíferos fissurados sustentados por rochas granitoides e metassedimentares do maciço Ibérico (Ferreira *et al.*, 2000; Medeiros *et al.*, 1975). O rio Lima tem uma direção geral E-NE, mas sofre um desvio para NE-SW após a Ponte da Barca (Medeiros *et al.*, 1975).

1.4.1. Ocorrência Termal

Como mencionado antes, a E da área de estudo localizam-se as termas de Caldelas. Estas nascem no vale encaixado retilíneo, estreito e abrupto do ribeiro de Albitio. O vale com alinhamento NE-SW corresponde a uma zona de cisalhamento com uma orientação semelhante (Medeiros *et al.*, 1975). Na carta geológica 5-B (Ponte da Barca) de Medeiros *et al.* (1975) podemos observar que existe um contacto entre dois granitos na zona de Caldelas, um granito de duas micas, com tendência porfiróide de grão médio a grosseiro e o Granito de Braga.

A água de Caldelas apresenta temperaturas a volta de 30-31°C e a sua composição química é hipossalina, bicarbonatada cálcica, silicatada, sulfocloretada sódica, potássica, magnésiana, litínifera e ferruginosa (Ch. Lepierre, 1921 *in* Medeiros *et al.*, 1975).

Capítulo 2 – Princípios teóricos e Metodologia

2.1. Introdução à Geofísica e à prospeção Geofísica

A ciência da geofísica aplica os princípios da física para o estudo da Terra, do seu interior até a sua superfície. A grande vantagem da geofísica para o geólogo é ela poder ser usada para fazer observações sobre o interior da Terra através de medições feitas na superfície, ou perto dela, que serão influenciadas pela distribuição interna de propriedades físicas e permite detetar remotamente a presença de corpos e estruturas subsuperficiais. Em contraste, a geologia em si, só os poderá deduzir (Kearey *et al.*, 2002; Mussett & Khan, 2000).

A prospeção geofísica apesar de às vezes apresentar ambiguidades ou incertezas na interpretação oferece um método relativamente rápido e económico para obter informações sobre a geologia do subsolo (Kearey *et al.*, 2002).

Contudo, as interpretações do levantamento geofísico não devem ser considerados definitivos podendo ser propensos a grandes ambiguidades inerentes à interpretação de resultados, sendo por isso, não conclusivos. Então, processos geofísicos corretamente aplicados aliados a uma campanha de sondagens posterior podem otimizar as explorações, maximizando a taxa de cobertura do solo e minimizar assim a necessidade de perfuração do solo (Kearey *et al.*, 2002).

2.2. Métodos gravimétrico - Gravimetria

A gravidade é a força da aceleração sentida por um corpo na superfície terrestre, que deriva da atração gravitacional da Terra e do efeito centrífugo associado à rotação da mesma. A aceleração da gravidade, g , tem um valor médio de $9,8 \text{ m/s}^2$, embora o valor exato possa variar em ambas as unidades de tempo e espaço em resposta a um evento que altere a distribuição de massa (Van Camp *et al.*, 2017).

O método gravimétrico é importante para analisar e resolver problemas que envolvam o mapeamento da subsuperfície, mede as variações do campo gravítico terrestre originadas pela diferença de densidades entre estruturas geológicas e rochas encaixantes, podendo indicar a existência de uma anomalia na subsuperfície que causa irregularidades no campo gravítico, conhecidas como anomalias gravimétricas. O estudo dessas anomalias permite criar uma estimativa da forma e profundidade do corpo anómalo. Este método pode ser aplicado em vários estudos geológicos para localizar diferentes corpos anómalos em diferentes escalas, como intrusões ígneas, falhas geológicas, bacias sedimentares, estruturas salinas, corpos de minério metálico, entre

outros. Os gravímetros são instrumentos portáteis e precisam de ser extremamente sensíveis, pois as diferenças da perturbação da gravidade podem ser mínimas. Este método é importante para a caracterização regional da Terra, pois possibilita determinar a estrutura da crosta terrestre, identificando regiões potencialmente favoráveis à exploração de recursos geológicos (Kearey *et al.*, 1991, 2002; Mussett & Khan, 2000, Milsom, 2003; Hinze *et al.*, 2013).

Este método é fundamentado pelas Leis de Newton, particularmente a Lei da Gravitação Universal sendo necessário compreender esta lei para a aplicação correta deste método. A força que puxa os objetos em direção ao solo é também a força responsável por manter os planetas nas suas órbitas à volta do Sol e que faz com que os corpos se atraem. Ou seja, a força de atração (F) entre dois corpos de massa conhecida, m_1 e m_2 é diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância (r^2) entre os seus centros de massa. Portanto, à medida que a distância entre os centros de massa aumenta a força de atração entre esses dois corpos diminui (Kearey *et al.*, 1991; Mussett & Khan, 2000; Mickus, 2003; Reynolds, 2011). A equação que explica a Lei da Gravitação Universal, é descrita por:

$$F = G \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$

onde G , corresponde à Constante Gravitacional ($G = 6,67 \times 10^{-11} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$, unidades SI).

Se considerarmos que a massa (m) de uma esfera está concentrada em um único centro de massa (Kearey *et al.*, 2002) podemos utilizar a seguinte equação:

$$F = mg$$

onde m é o valor de massa da Terra e g a aceleração da gravidade.

Mas a realidade é que a gravidade da Terra não é constante como em teoria. A variação da gravidade ao longo da sua superfície é devido à sua forma elipsoidal, o seu relevo irregular, a sua rotação, a sua distribuição interna de massa e variações de densidade subsuperficial (Kearey *et al.*, 1991; Dentith & Mudge, 2014).

2.2.1. Unidades da gravidade

Sabendo que o valor médio da aceleração da gravidade é cerca de $9,8 \text{ m/s}^2$ e que há variações da gravidade causadas por variações de densidade na subsuperfície na ordem dos $100 \mu\text{m/s}^2$ (Kearey *et al.*, 2002), sendo que esta unidade é referida como unidade de gravidade (“gravity unit”), gu. Nos levantamentos gravimétricos, a unidade

de medida utilizada é o miligal (mGal), correspondente a 10^{-3} Gal. Então temos: $1 \text{ mGal} = 10^{-3} \text{ Gal} = 10^{-5} \text{ m/s}^2 = 10 \text{ gu}$ (Musset & Kahn, 2000).

2.2.2. Correções gravimétricas

Em estudos gravimétricos a maior parte dos resultados obtidos não tem interesse geológico direto (Milson, 2003), já que nem todas as variações no campo gravitacional da área de estudo podem resultar das diferenças de densidade nas rochas subjacentes, portanto, é necessário corrigir todas as variações que possam ocorrer. Este processo é designado como redução da gravidade (LaFehr, 1991) ou redução para geoide, visto que o nível do mar é a referência mais conveniente. As variações podem ser corrigidas por reduções que envolvem cálculos sequenciais de uma série de quantidades reconhecidas (Kearey & Brooks, 1991; Milsom, 2003).

2.2.2.1. Correção da deriva instrumental

Esta correção é baseada nas mudanças em repetidas leituras do gravímetro no mesmo local, uma estação base, ao longo do dia. Isto pode ser resultado do clima, da pressão atmosférica, do desgaste das molas do equipamento, das marés, entre outros. A deriva é medida ao realizar leituras periodicamente na estação base pré-definida do gravímetro, com os dados registados pode-se efetuar um gráfico da medição do gravímetro *versus* tempo (figura 20). Os valores podem então ser corrigidos subtraindo o valor do desvio pelo valor dos dados gravimétricos observados. Por exemplo na figura 20, a correção no momento t será d . Depois de se ter realizado a correção, a diferença do valor de gravidade obtido entre um ponto de investigação e a base é a multiplicação do desvio visto anteriormente pelo fator de calibração do gravímetro (Kearey *et al.*, 1991; Mussett & Khan, 2000).

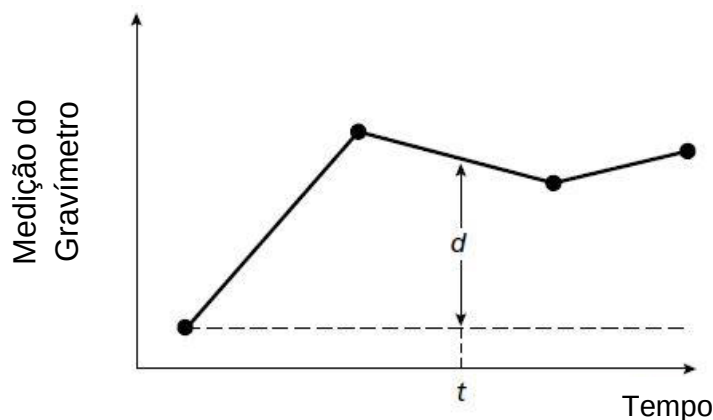


Figura 20 - Curva da deriva instrumental (gravímetro). Correção do desvio (d) é subtraída ao longo de um tempo (t) (extraído de Kearey, *et al.*, 2002)

2.2.2.2. Correção de Latitude

Esta correção é necessária uma vez que a Terra não é uma esfera perfeita, é sim um elipsoide de revolução achatado, isto é, devido à rotação do planeta que gera uma força centrífuga que depende da distância ao eixo de rotação, o diâmetro equatorial é maior do que o polar e a velocidade angular que é máxima no equador e diminui suavemente para zero nos polos. Assim, quanto mais próximo do equador, mais distantes estamos do centro de massa da Terra e quanto mais próximo dos polos, mais próximos estamos, então a gravidade é menor no equador e aumenta nos polos (Kearey *et al.*, 1991; Mussett & Khan, 2000; Milsom, 2003).

A correção de latitude pode ser feita através da equação de Clairaut que relaciona a gravidade com a latitude no elipsoide de referência (Kearey *et al.*, 2002), sendo ela:

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

onde g_{ϕ} , é o valor previsto da gravidade na latitude ϕ ; g_0 é o valor da gravidade no equador, $g_0 = 9780318 \text{ gu}$; α e β são constantes dependentes da forma e da velocidade da rotação da Terra, $\alpha = 0,0053024$ e $\beta = 0,0000059$. (International Gravity Formula 1967 in Kearey *et al.*, 2002; IAG, 1971).

É necessário subtrair o valor da gravidade observado ao valor g_{ϕ} , para obter a correção de latitude. Mas, a correção da latitude também pode ser determinada por a equação Somigliana-Pizetti (Mortiz, 1980) que utiliza o sistema geodésico WGS 84. A fórmula permite determinar a magnitude normal na superfície do elipsoide de referência (Hackney, R.I., Featherstone, W.E., 2003) através da seguinte formula:

$$g_{\phi} = g_0 \left(\frac{1 + k \sin^2 \phi}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi}} \right)$$

onde, k e e dependem da velocidade angular na terra e achatamento do elipsoide $k = 0.00193185138639$ e $e = 0.0066943800229$; g_0 é o valor da gravidade no equador, $g_0 = 9780318 \text{ gu}$.

2.2.2.3. Correção de ar livre

Esta correção (*free-air correction* – FAC) permite corrigir a diminuição da gravidade com a altura ao ar livre, resultante do aumento da distância ao centro da Terra. Considerando que a diferença de altitude entre a medição na estação e a superfície do geoide, independentemente da geologia local, é definida pela diferença entre a gravidade

medida ao nível do mar e a uma altitude de h metros. A taxa de variação da gravidade com a elevação é de 3,086 gu por metro (Kearey *et al.*, 1991; Milsom, 2003). Portanto, a correção da gravidade em relação ao ar livre é calculada utilizando a seguinte expressão:

$$FAC = 3,086 \times h$$

onde h é a altitude do ponto medido.

2.2.2.4. Correção de Bouguer

As correções de Bouguer são importantes para a interpretação de dados gravimétricos, já que explicam o efeito gravitacional entre a estação e a superfície equipotencial do elipsoide de referência. Ela assume que a camada de rocha em baixo do ponto de observação é uma camada horizontal infinita de densidade d uniforme e constante, cuja sua espessura é igual à elevação da estação de base (Kearey *et al.*, 1991; Mussett & Khan, 2000; Milsom, 2003). A equação da correção é dada por:

$$BC = 2\pi G p h = 0,4191 p h$$

onde h é em metros e p em Mgm^{-3} .

A correção de Bouguer deve ser subtraída, porque a atração gravitacional da rocha entre o ponto de observação e a estação base deve ser removida do valor da gravidade observada. Então o efeito Bouguer é positivo e a correção negativa. Ao realizar correções gravimétricas devemos juntar estas duas últimas correções, pois juntas há uma correção de elevação combinada. Se a correção de Ar Livre for positiva a correção de Bouguer será negativa, enquanto se a de Ar Livre for negativa a de Bouguer será positiva (Kearey *et al.*, 1991; Milsom, 2003).

2.2.2.5. Correção de Terreno

Esta correção considera a topografia da área de investigação, contando com as zonas de topografia acidentada como colinas e vales, em vez de considerar a topografia plana como a correção de Bouguer. A medição obtida numa destas zonas requer uma correção aos dados obtidos, tendo em conta tanto o excesso de massa acima da estação, no caso das colinas, como a falta de massa debaixo desta, no caso dos vales (Mussett *et al.*, 2000; Milsom, 2003).

O cálculo destas correções pode ser realizado utilizando o método de Hammer (1939), o uso de uma retícula circular, conhecido como ábaco de Hammer (figura 21), que é

constituído por uma série de linhas radiais e concêntricas num grande número de compartimentos. A zona mais extensa estende-se cerca de 22 km (Kearey *et al.*, 2002). O ábaco é colocado em cima do mapa topográfico da área de estudo com o centro na estação de base e a elevação média de cada compartimento é estimada. A equação aplicada é (Kearey *et al.*, 2002):

$$T = 0,4191 \frac{\rho}{n} \left(r_2 - r_1 + \sqrt{r_1^2 + z^2} - \sqrt{r_2^2 + z^2} \right)$$

onde, T = correção do terreno do compartimento (gu); ρ = densidade de correção de Bouguer (Mgm^{-3}); n = número de compartimentos da zona; r_1 = raio interno da zona (m); r_2 = raio externo da zona (m); z = módulo de diferença de elevação entre o ponto de observação e elevação média do compartimento (m).

Para áreas de topografia moderada os efeitos de terreno são baixos, raramente ultrapassando os 10 gu em áreas planas. Para terrenos de topografia acidentada os efeitos já são muito maiores, sendo máximos em vales íngremes, na base ou no topo de falésias e no topo de montanhas (Kearey *et al.*, 1991).

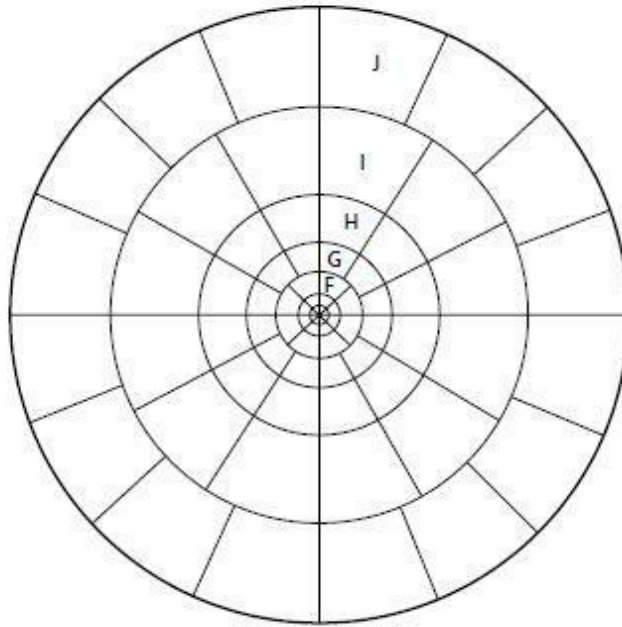


Figura 21 - Ábaco de Hammer (Zonas F para J), é usado para cálculos de correção de terreno. As zonas variam entre os 2m e os 22km e são usadas em mapas topográficos de diferentes escalas (extraído de Kearey *et al.*, 2002)

Estas correções podem ser muito demoradas de realizar manualmente utilizando o método de Hammer, mas agora, graças a tecnologias, é possível simplificar o processo no computador, com o *software MatLab* (Almeida *et al.*, 2018), onde é possível fazer essas correções de terreno, com a ajuda de *software* de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Infelizmente, se não existir um modelo digital de terreno (MDT) da zona em estudo é necessário passar os dados para formato digital, o que pode ser demorado. Porém, nas zonas interiores do ábaco, o cálculo deve ser feito manualmente, pois o intervalo entre as amostras poderá ser demasiado grande para fornecer uma representação digital precisa do terreno da estação base (Kearey *et al.*, 1991; Milson, 2003).

2.2.2.6. Correção Tidal ou correção do efeito das marés

As forças gravíticas podem ser influenciadas por diversos fatores, um deles é a influência periódica dos efeitos gravitacionais do Sol e da Lua ligados aos seus movimentos orbitais. Devido à proximidade, a Lua tem mais influencia sobre a Terra criando atrações gravitacionais que fazem com que a forma da Terra sólida varie e haja variações nas marés. Estas variações têm uma periodicidade de cerca de 12 horas e podem ter amplitude máxima de 3 *gu*. Esta correção pode ser calculada através de programas informáticos ou feita através de tabelas de correções realizadas que são publicadas anualmente (Kearey *et al.*, 1991; Milsom, 2003).

Foi utilizado como ferramenta de estudo o *script* de java, tides.jar de Frantisek Mantlik (figura 22) que, através da data, hora e minuto, da latitude e longitude (coordenadas decimais) e altitude (metros) do ponto gravimétrico, obtemos o valor da correção tidal em μGal , sendo depois necessário fazer a conversão desse valor para mGal.

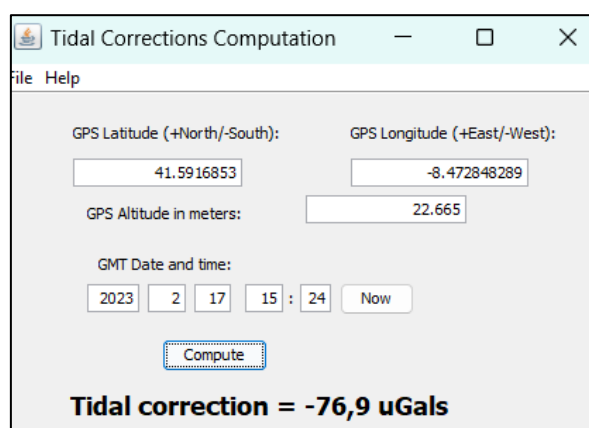


Figura 22 - Exemplo do ponto 50 no script java tides.jar.

2.2.3. Densidade das rochas

O valor da densidade, particularmente a densidade média das rochas que estão presentes na região em estudo são extremamente importantes para as correções gravimétricas. A densidade pode ser obtida de várias maneiras, sendo o método mais eficaz, a amostragem de rocha da subsuperfície e a medição em laboratório.

Apesar disso, existem fatores que influenciam a densidade como a heterogeneidade e estado de alteração das rochas. No caso das rochas ígneas e metamórficas a sua composição é a principal causa de variação da densidade. No caso das rochas sedimentares é a porosidade e a densidade tende a aumentar com a profundidade, devido à compactação e cimentação (Kearey *et al.*, 1991; Reynolds, 1997; Milsom, 2003).

Caso não seja possível determinar a densidade com os métodos referidos anteriormente, podem-se usar tabelas, como por exemplo a tabela 1, que contém médias de valores de densidade a partir de inúmeras medições de densidades de materiais geológicos.

Tabela 1 - Densidade tipos de rochas comuns (adaptado de Kearey *et al.*, 1991; Milson, 2003)

Rochas	Densidade (gcm ⁻³)
Aluvião	1,96-2,00
Areia seca	1,4-1,65
Areia saturada	1,95-2,05
Argilas	1,63-2,60
Xisto	2,06-2,66
Calcário	2,60-2,80
Granito	2,52-2,75
Granodiorito	2,67-2,79
Gnaisse	2,61-2,99
Basalto	2,70-3,20
Carvão	1,20-1,50
Gabro	2,85-3,12
Quartzito	2,60-2,70

2.2.4. Anomalia completa de Bouguer

Depois de recolher todos os dados gravimétricos e aplicar todas as correções mencionadas, é possível obter os resultados da anomalia de Bouguer. A anomalia é dada pela diferença entre os valores gravimétricos observados (g_{obs}) ajustado por todas as correções e os valores obtidos em cada estação base (g_{base}). A variação lateral de densidade reflete a variação da anomalia de Bouguer. Um valor de densidade elevado, num meio pouco denso, reflete uma anomalia de Bouguer positiva, contudo uma baixa densidade num meio bastante denso é o inverso, dando origem a uma anomalia de Bouguer negativa (Reynolds, 1997; Mussett & Khan, 2000).

A anomalia completa de Bouguer, onde são aplicadas todas as correções realizadas anteriormente, é dada pela seguinte equação:

$$\begin{aligned} \text{Anomalia Completa de Bouguer} = & g_{obs} + \text{Correção Ar Livre} - \text{Correção de Bouguer} \\ & + \text{Correção de Terreno} - \text{Correção de Latitude} \end{aligned}$$

onde se supõe, que ao valor gravimétrico observado (g_{obs}) já tenha sido aplicada a correção da Deriva e a correção Tidal no local onde se realizou a medição. Atualmente, as anomalias completas de Bouguer podem ser obtidas com software informáticos, o que facilita a interpretação de resultados.

2.2.5. Anomalia Regional e Anomalia Residual

As anomalias de Bouguer são caracterizados por anomalias regionais amplas de variação suave e grandes dimensões que podem existir sobrepostas às anomalias locais. Ao remover as anomalias regionais das anomalias locais, podemos obter as anomalias residuais (figura 23), que normalmente são mais interessantes, mais ténues, pouco perceptíveis e de menores dimensões (Kearey *et al.*, 1991, 2002).

Com o avanço da tecnologia é possível fazer gráficos utilizando *software* que ajudam na interpretação do método, tanto na anomalia regional como na residual.

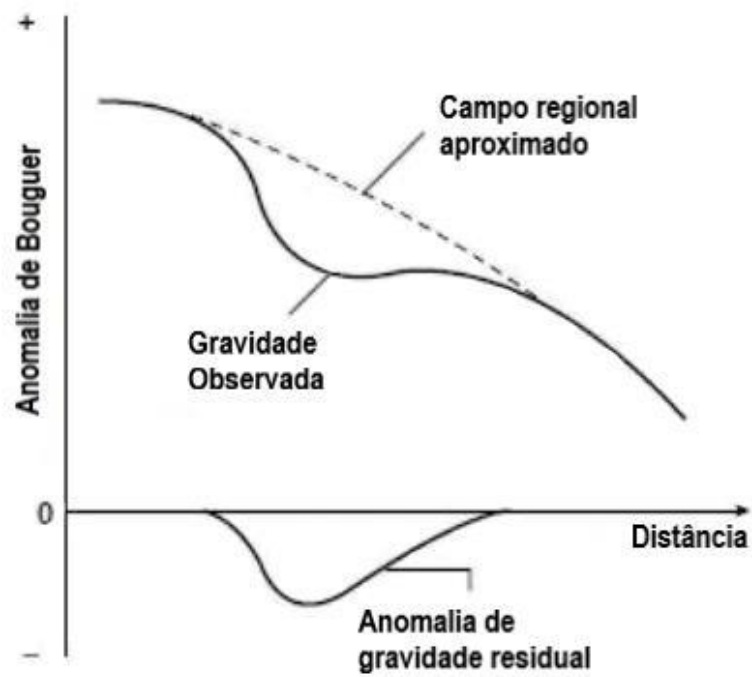


Figura 23 - Separação das anomalias regionais e residuais a partir da anomalia de Bouguer (adaptado de Kearey & Brooks, 1991).

Capítulo 3 – Obtenção e Tratamento de dados de campo

3.1. Planeamento da prospeção geofísica

Como em todas as investigações deste carácter foi necessário começar por trabalho de pesquisa para conhecer a área, geologicamente e geograficamente.

A primeira fase, a fase de reconhecimento ou estudo preliminar da área de investigação, está descrita no Capítulo 1 – Enquadramento Geral inserido na Parte II – Geofísica Aplicada a Proteção Geológica.

A segunda fase, fase de planeamento de prospeção, foi realizada em simultâneo com a anterior pelo coorientador onde foram marcados um espaçamento de 300 metros, 340 pontos numa área menor e uma segunda maior com 875 pontos no interior da área original (figura 24). Só a área menor foi acompanhada. Quanto mais tempo consumido nesta fase, maior a eficácia e a rapidez da próxima e última fase.

A terceira fase, fase de execução da prospeção geofísica, consistiu na realização de levantamentos gravimétricos planeados anteriormente, que serão descritos *a posteriori*.

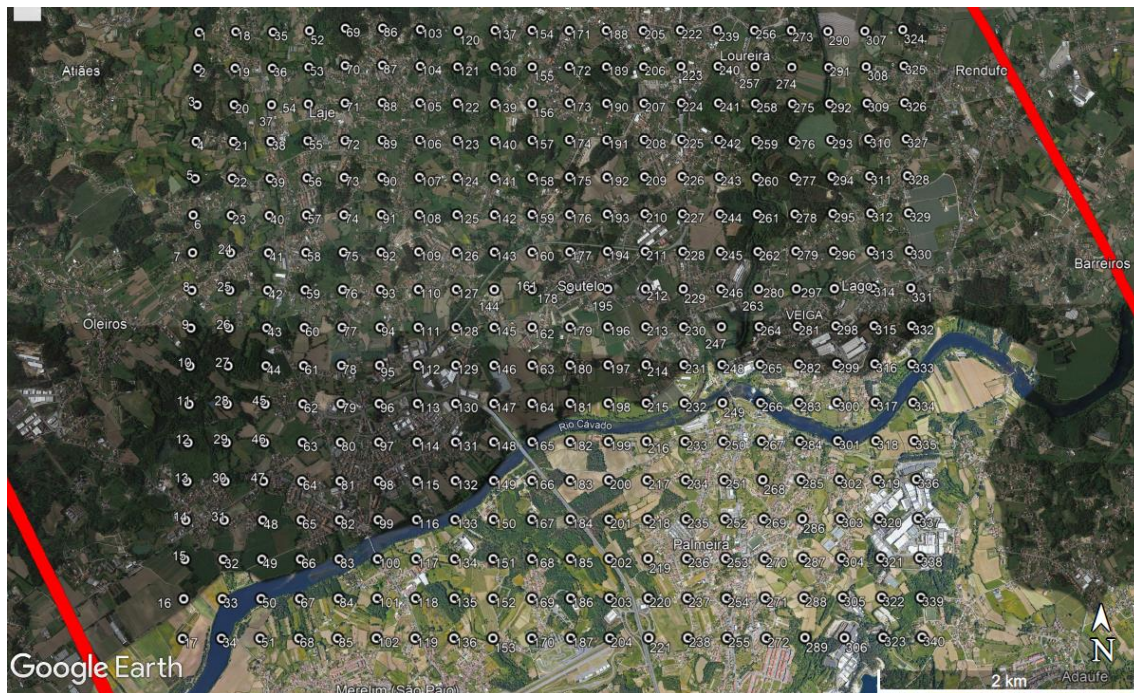


Figura 24 – Representação da rede de amostragem (fotografia de satélite extraída do Google Earth, 2023)

3.2. Campanha gravimétrica e material usado

Após os planeamentos no escritório, foi iniciada a campanha gravimétrica que decorreu desde fevereiro a maio de 2023, realizando-se assim um total de doze campanhas de trabalho de campo. Este trabalho foi realizado por duas a três pessoas devido a quantidade de material necessário: gravímetro *the Pioneer*, Worden nº679, model 155 que foi transportado numa caixa própria para não danificar, o prato côncavo (figura 25 e 26), prancheta com os mapas impressos e as estações assinaladas, material de escrita e fichas de trabalho para registar os valores medidos, termómetro para medir a temperatura ambiente e um nível caso no terreno caso haja necessidade de nivelar o prato. Também foi usado um GPS diferencial (DGPS) para registar as coordenadas e a cota de cada ponto com exatidão.

Para orientação foi usado um *smartphone* com *Google Earth* onde tinham sido inseridas as coordenadas dos pontos da rede gravimétrica feita anteriormente. O *smartphone* também foi usado para obter fotografias, registo horário para cada ponto e para o regresso às bases, dentro do tempo aconselhado de duas horas.

A campanha gravimétrica foi assim efetuada na rede gravimétrica prevista com uma área de aproximadamente 30 km², tendo sido realizados 273 pontos dos 340 pontos e



Figura 25 – Gravímetro *the Pioneer*, Worden nº679, model 155, caixa própria para transporte e o respetivo prato côncavo.



Figura 26 – Utilizador a fazer medições no gravímetro e a tirar as coordenadas de um ponto no GPS.

utilizadas 6 estações base que foram definidas estrategicamente em locais de fácil e rápido acesso.

3.2.1. Gravímetro

Este equipamento possui componentes de quartzo e é bastante sensível a vibração, por isso é que deve ser transportado com cuidado na caixa própria (Hinze, 2013).

A obtenção de dados de gravidade envolve determinar o campo de força gravitacional que atua sobre uma massa no interior do instrumento. Para fins de estudos geológicos é necessário alcançar uma precisão de aproximadamente 1 a 0,01 mGal, embora em alguns casos mais específicos seja preciso precisões da ordem de 0,001 mGal. Esses requisitos tornam o gravímetro um dos dispositivos mecânicos mais sensíveis, portanto, é crucial manusear o aparelho com extremo cuidado a fim de obter dados confiáveis para uma interpretação precisa das condições subsuperficiais (Hinze, 2013). Os gravímetros são essencialmente balanças de mola com uma massa constante. Variações no peso da massa, causadas por mudanças na gravidade, fazem com que o comprimento da mola se altere fornecendo assim uma medida de gravidade diferente (Kearey *et al.*, 2002).

O alcance típico do gravímetro é de cerca de 2000 mGal com uma precisão de 0,01-0,02 mGal. No entanto, devido à inexperiência de alguns operadores as leituras podem ser desafiadoras e uma precisão mais realista seria da ordem de 0,1 mGal (Reynolds, 2011).

O instrumento de medição também necessita de um manuseamento cuidadoso para obter um resultado correto:

- Coloca-se um prato côncavo de três pernas no solo tendo a certeza de que este está estável, nivelado e sem a sua superfície inferior tocar no solo, caso as pernas estejam enterradas, se o solo apresentar uma vegetação espessa deverá ser removida;
- É colocado cuidadosamente o gravímetro em cima do prato e usando os seus pés ajustáveis com rosca procede-se ao seu nivelamento até os dois níveis de bolha horizontais no topo do gravímetro estejam nivelados e estáveis. Ao início, este processo pode ser demorado, mas com prática é possível nivelar usando dois pés ao mesmo tempo que torna o processo mais rápido;
- Obtém-se a leitura através do óculo no topo e o parafuso, que vai ser girado até o feixe de luz alinhar no centro da escala observada. Pode haver dificuldade na leitura

caso haja vibrações contínuas nas proximidades, como a circulação de veículos e existência de vento forte (Mussett e Khan, 2000; Milson, 2003);

- Após a leitura feita, é necessário verificar que as bolhas do nível continuam niveladas;
- É exequível ler o valor obtido em número de divisões do gravímetro começando pelo número que esta isolado na janela do parafuso, seguido do número que estiver alinhado com o zero e, por fim, o nónio correspondente ao valor decimal do número inteiro observado anteriormente. Podemos observar as figuras 27 e 28 para uma melhor explicação da leitura do gravímetro. Para converter os valores em mGal temos de multiplicar o valor das divisões por uma constante de dial que corresponde a 0,09109, esta deve ser fornecida pelo fabricante do gravímetro.



Figura 27 -Leitura do valor através do parafuso do gravímetro.

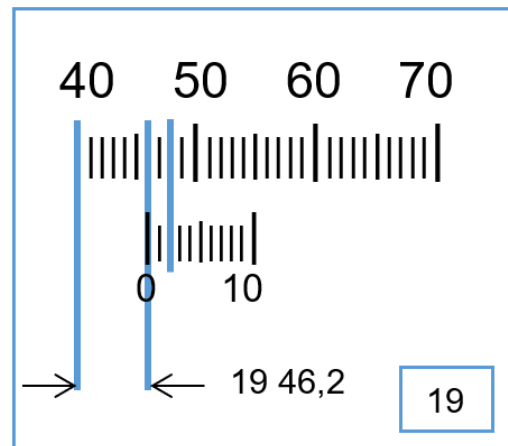


Figura 28 – Explicação simplificada de como ler o valor decimal do gravímetro.

3.2.2. DGPS

Um DGPS é um GPS que usufrui de um sistema que fornece correções de posição para os sinais GPS, o que requer um local conhecido com precisão que se tornará a estação base. Este vai calcular a posição com base nos sinais de satélite e compara esse local com o local conhecido. A diferença será aplicada nos dados GPS do segundo recetor também denominado por objeto em movimento. Estas correções serão aplicadas em tempo real a esse segundo recetor, este processo está representado na figura 29.

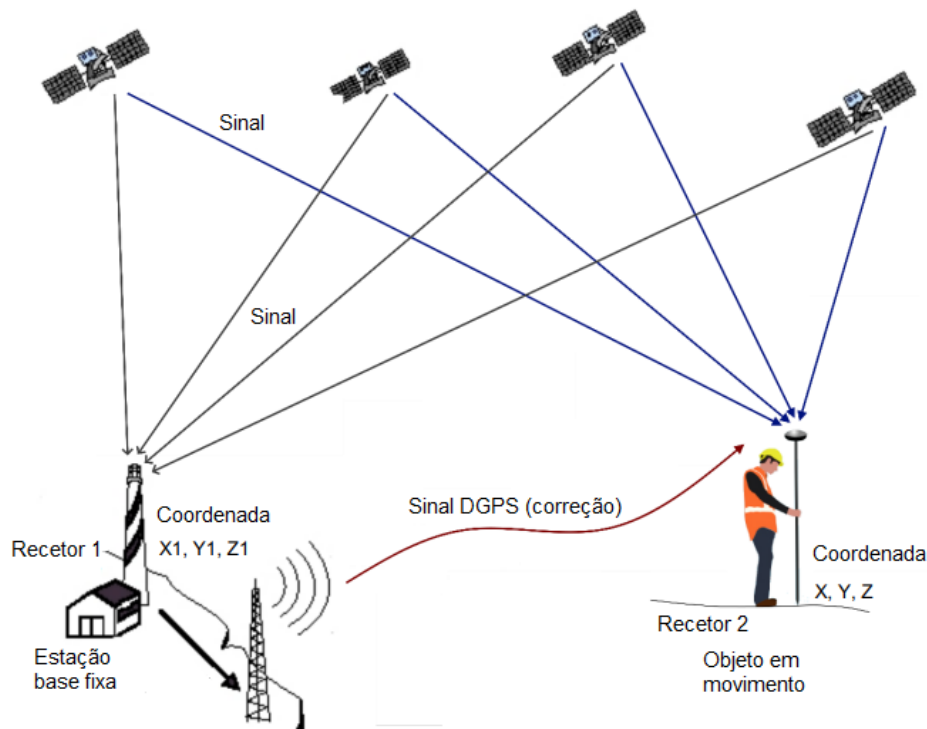


Figura 29 - Processo de criação da correção do sinal do DGPS (extraído e adaptado de Cruz, 2020).

3.3. Processamento dos dados

Como mencionado no Capítulo 2 – Princípios Teóricos e Metodologia da Parte II – Geofísica Aplicada à Prospeção Geológica é necessário fazer correções aos valores obtidos pelo gravímetro. Estas correções gravimétricas foram realizadas manualmente em folha Excel, sendo apenas necessário preencher corretamente os dados obtidos na campanha gravimétrica. Inicialmente foram aplicadas as correções de deriva instrumental e a correção do efeito das marés. A primeira apresenta uma média relativamente baixa de -0.04 mGal/s, todavia foram observados valores de 2.12 mGal/s e -1.78 mGal/s que podem ser explicados pelo uso e desgaste do gravímetro e pelas temperaturas registadas, tudo isto pode influenciar a oscilação da mola do gravímetro.

Para fazer correções nas seis estações base, foi necessário obter um valor absoluto usando uma das estações gravimétricas da rede gravimétrica nacional disponibilizadas no site da Direção-Geral do Território. A rede gravimétrica nacional encontra-se indisponível indefinidamente, mas foi cedido um ficheiro .kml (Direção-Geral do Território, 2013) com a localização e informação de todas as estações.

De seguida, foram calculadas as correções de latitude, altitude e a de Bouguer para cada uma das estações gravimétricas, sendo possível com estes valores calcular o valor da anomalia de Bouguer simples, ou seja, sem a correção de terreno.

Foi realizado de novo a anomalia de Bouguer com as correções de terreno (Anomalia completa de Bouguer).

Para realizar as correções de terreno, utilizou-se um *script* no *software MatLab* (Almeida et al. (2018)). Este *script* considera todas as contribuições das massas de prismas quadrangulares em excesso e em falta (Δm) (figura 29), que não são contempladas na correção de Bouguer em forma de *Slab*. A componente da aceleração gravitacional do terreno ao longo da vertical no ponto P ($(g_z)_P$) é determinada pela equação (1) (figura 30), na qual G representa a constante gravitacional, Δm é a soma das massas em excesso ou em falta contidas na massa total do volume M_t e r é a distância entre P e o centro de cada elemento de massa.

$$(g_z)_P = G \sum_{M_t} \frac{\Delta m}{r^2} \sin \alpha \quad (1)$$

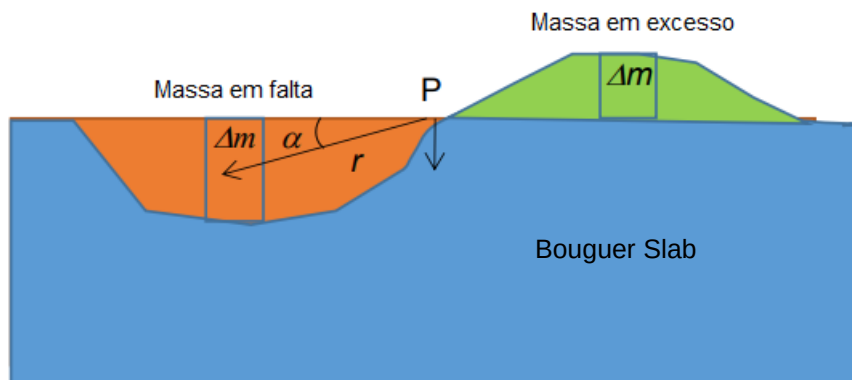


Figura 30 - Bouguer Slab com massas em falta, em excesso e parâmetros para calcular a correção do terreno na equação (1) (adaptado e extraído de Almeida, F., et al., 2018).

Este *script* de Almeida, F., et al (2018) consiste no seguinte:

- Carregar uma matriz de Modelo Digital de Elevação (DEM) fornecida pela *European Environment Agency* georreferenciada em QGis na forma de uma imagem no formato TIF;
- Determinar os parâmetros de localização dos vértices da grelha TIF utilizando a função *imfindo* do *MatLab*;
- Carregar um arquivo contendo as coordenadas (*easting* e *northing*) e colunas de referência numérica;

- Calcular as distâncias horizontais e inclinadas do ponto P aos centros de massa (Δm);
- Calcular o ângulo de inclinação α do vetor r ;
- Calcular a componente z do efeito do campo gravitacional causado por cada massa Δm ;
- Adicionar todos os efeitos de terreno das massas prismáticas individuais em função da distância em relação ao ponto P onde a correção do terreno é necessária;
- Guardar um arquivo de saída contendo a correção do terreno e as colunas de referência;

A correção do terreno calculada com este *script* do *MatLab* determina para cada célula os valores da correção e soma todos os valores.

Obtiveram-se as correções de terreno ao alterar este *script* para os dados recolhidos (coordenadas ETRS89) e um DEM de Portugal continental com dimensões de 20 metros por 20 metros, cedido gentilmente pelo Professor José Alberto Gonçalves do Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território (DGAOT) da FCUP (figura 31).

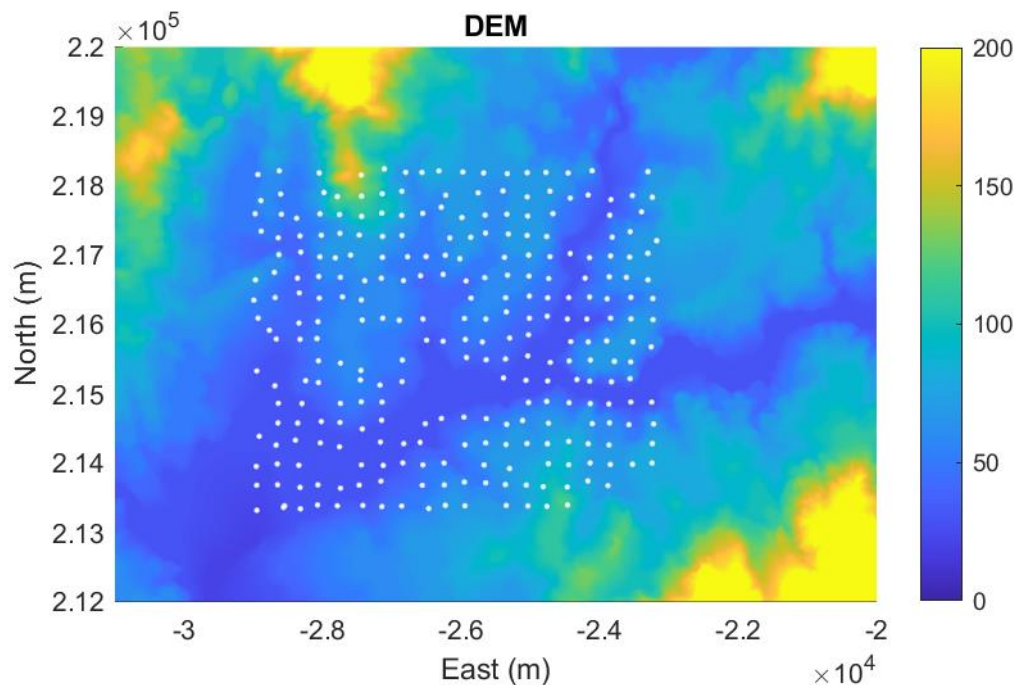


Figura 31 - DEM realizado no *software MatLab* da área de estudo, com as estações gravimétricas representadas por pontos brancos.

Antes de ser calculada a Anomalia Completa de Bouguer foi necessária uma correção de terreno calculada com o valor da densidade das litologias da área. A densidade das rochas foi estimada por meio do método indireto de Nettleton.

Na figura 32, é apresentado o valor da densidade calculado utilizando o método de Nettleton (Nettleton, 1939). Na área da campanha gravimétrica foi obtido um valor de densidade de 3 g/cm³, que do ponto de vista geológico não é um valor irreal mas continua a ser alto para o contexto geológico da área.

Então o método de Nettleton não foi utilizado sendo adotada a densidade média de 2,67 g/cm³ para a área conforme mencionado por Mezcua *et al.* (1996), essa informação pode ser observada na figura 33. Com base nesse valor de densidade realizou-se o cálculo da correção topográfica para uma densidade de 2,67 g/cm³ e, posteriormente, a determinação da Anomalia Completa de Bouguer.

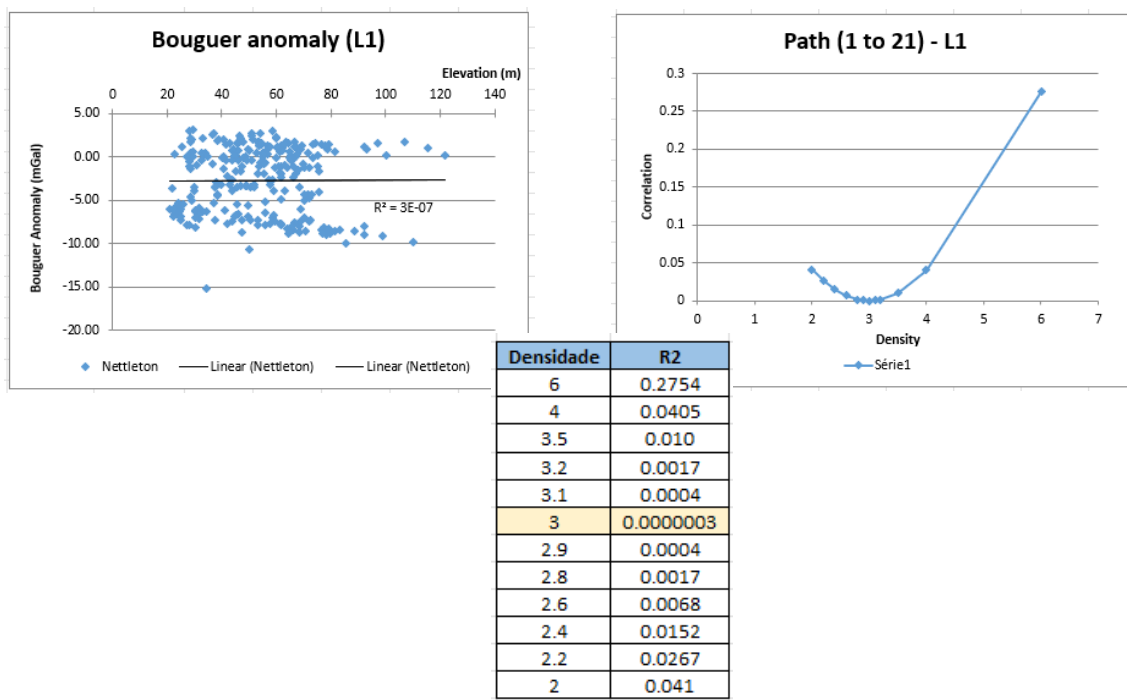


Figura 32 - Determinação do valor médio da densidade pelo método de Nettleton, para a área de estudo.

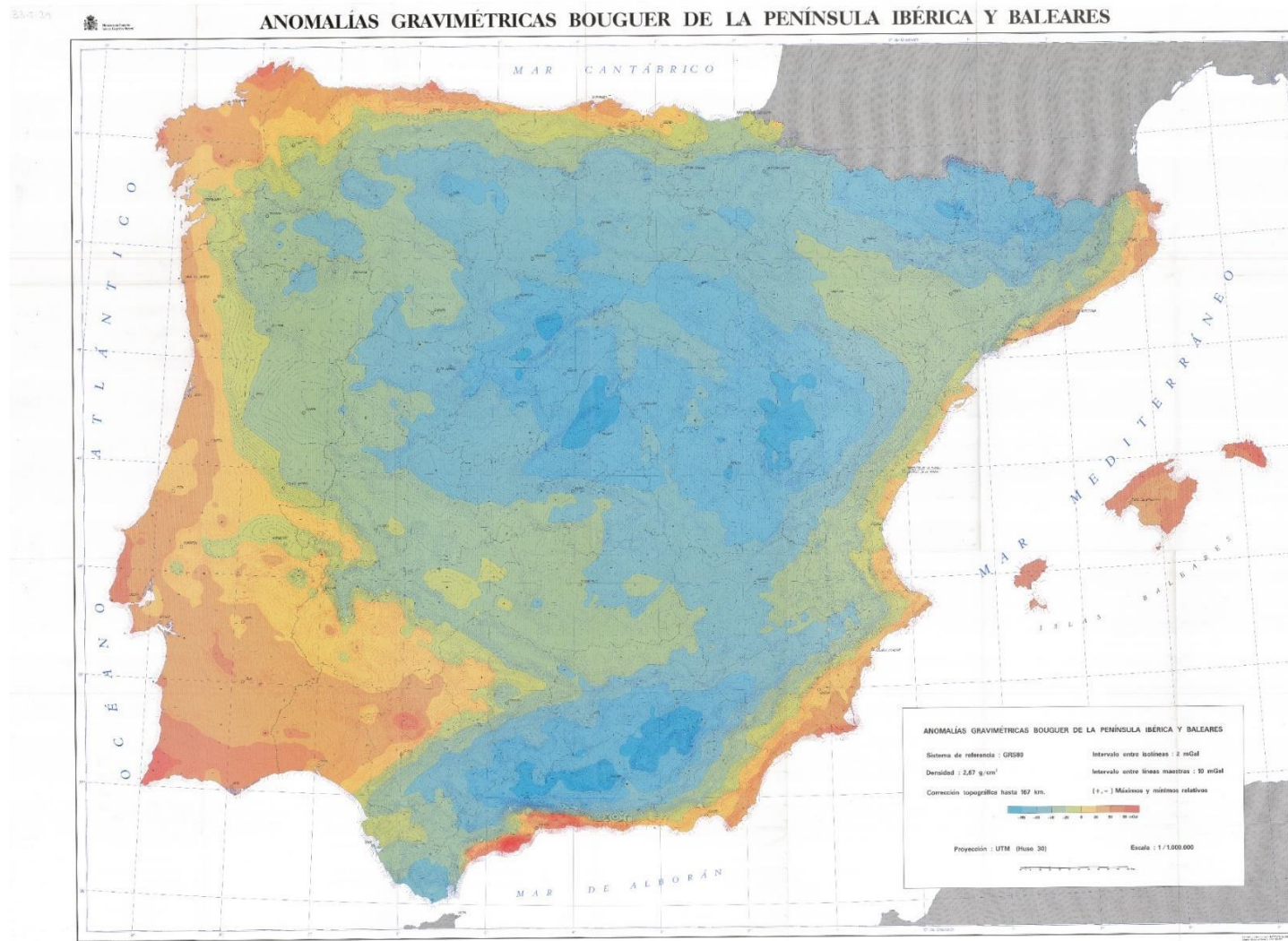


Figura 33 - Mapa das anomalias gravimétricas de Bouguer para a Península Ibérica, com densidade de 2,67 g/cm³ (extraído de Mezcua et al., 1996).

3.4. Modelação da Anomalia

Após calcular o valor da Anomalia Completa de Bouguer procedeu-se à interpolação dos mapas das anomalias de Bouguer, regional e residual. Para realizar essa interpolação utilizou-se o *software Oasis Montaj* que possui ferramentas capazes de calcular essas anomalias.

Com os dados de cada estação gravimétrica georreferenciados e os valores da Anomalia de Bouguer calculados obteve-se o mapa da anomalia de Bouguer. Esse processo foi realizado utilizando o menu *Grid and Image* do *software Oasis Montaj* com a ferramenta de *Gridding* e o método de *Kriging*.

O mapa resultante, o da Anomalia de Bouguer, é a sobreposição da anomalia regional e residual. Para isolar a anomalia residual é necessário remover o campo regional. Esse procedimento é realizado aplicando-se um método de filtragem espectral por meio do ajuste polinomial utilizando a ferramenta *Filters/Trend* no menu *Grid and Image*. A anomalia regional é removida de acordo com as superfícies polinomiais de 1ª, 2ª e 3ª ordem.

Uma vez que as anomalias regionais foram removidas da anomalia de Bouguer é possível calcular matematicamente os mapas das anomalias regionais. O *software Oasis Montaj* possui a ferramenta *Grid Math* no menu *Grid and Image* (figura 33) que a partir do mapa da anomalia de Bouguer inicialmente obtido remove separadamente os mapas correspondentes às anomalias residuais de 1ª, 2ª e 3ª ordem usando o seguinte cálculo:

$$G0 = G1 - G2$$

onde G0 corresponde à anomalia regional; G1 corresponde à anomalia de Bouguer e G2 corresponde à anomalia residual obtida anteriormente através dos filtros. Isto resulta nos mapas das anomalias regionais de 1ª, 2ª e 3ª ordem.

É importante referir que a separação das anomalias regionais e residuais da anomalia de Bouguer é um passo crucial na interpretação dos mapas gravimétricos.

Grid Math Expression Builder
?
X

Step 1: Type in a mathematical expression. Use your own variable names or use the button below to insert default variable names.

Example: $G0 = G1 + G2$

Expression:

Step 2: Assign grid files to the variable names used above.

Assign grids:

* G0 =	anomalialregional3.grd(GRD)	▼	...
* G1 =	bouguerkriging.grd(GRD)	▼	...
* G2 =	anomalialresidual3.grd(GRD)	▼	...

Common tasks:

Expression file:

Figura 34 – Ferramenta *Grid Math* para obter os mapas de anomalias regionais no software *Oasis Montaj*.

3.4.1. Anomalia Completa de Bouguer

Na figura 35 observa-se a anomalia completa de Bouguer obtida no *software Oasis Montaj* com a litologia da área sobreposta realizado no *software Qgis*.

O mapa da anomalia completa de Bouguer apresenta valores compreendidos entre -8.3 e 3 mGal e aumenta de SSE para NNW.

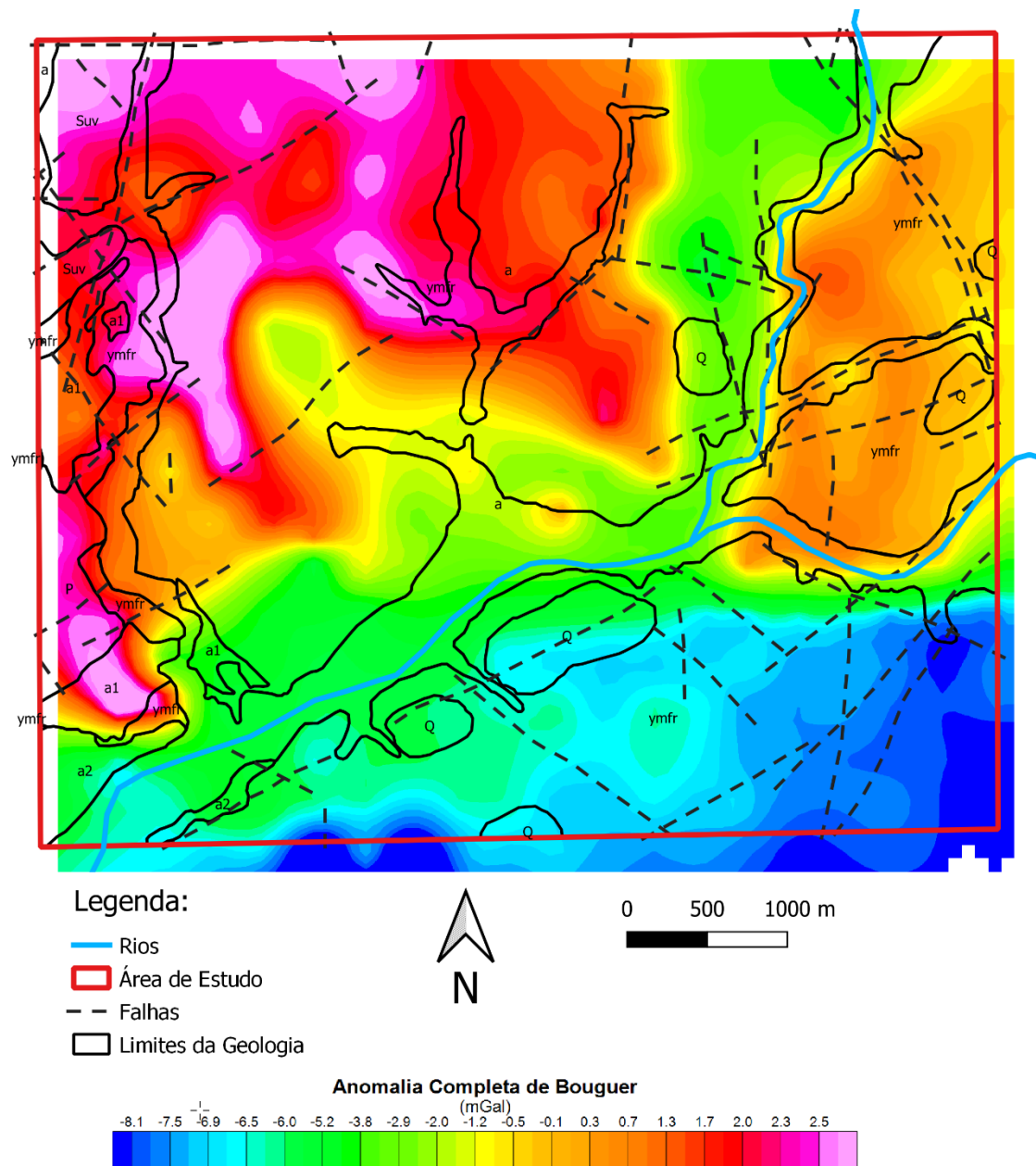


Figura 35 - Mapa da anomalia de Bouguer (interpolação de dados através do *Kriging*, no *Oasis Montaj*)

3.4.2. Anomalia Residual

Nas figuras 36, 37 e 38 observam-se as anomalias residuais de 1ª, 2ª e 3ª ordem, respetivamente, obtida no *software Oasis Montaj* com a litologia da área sobreposta realizado no *software Qgis*.

O mapa da anomalia residual de 1ª ordem apresenta valores compreendidos entre -3.3 e 5 mGal e as anomalias mais positivas estão na zona central W-E, sendo que a anomalias mais negativas se encontram a norte e sul.

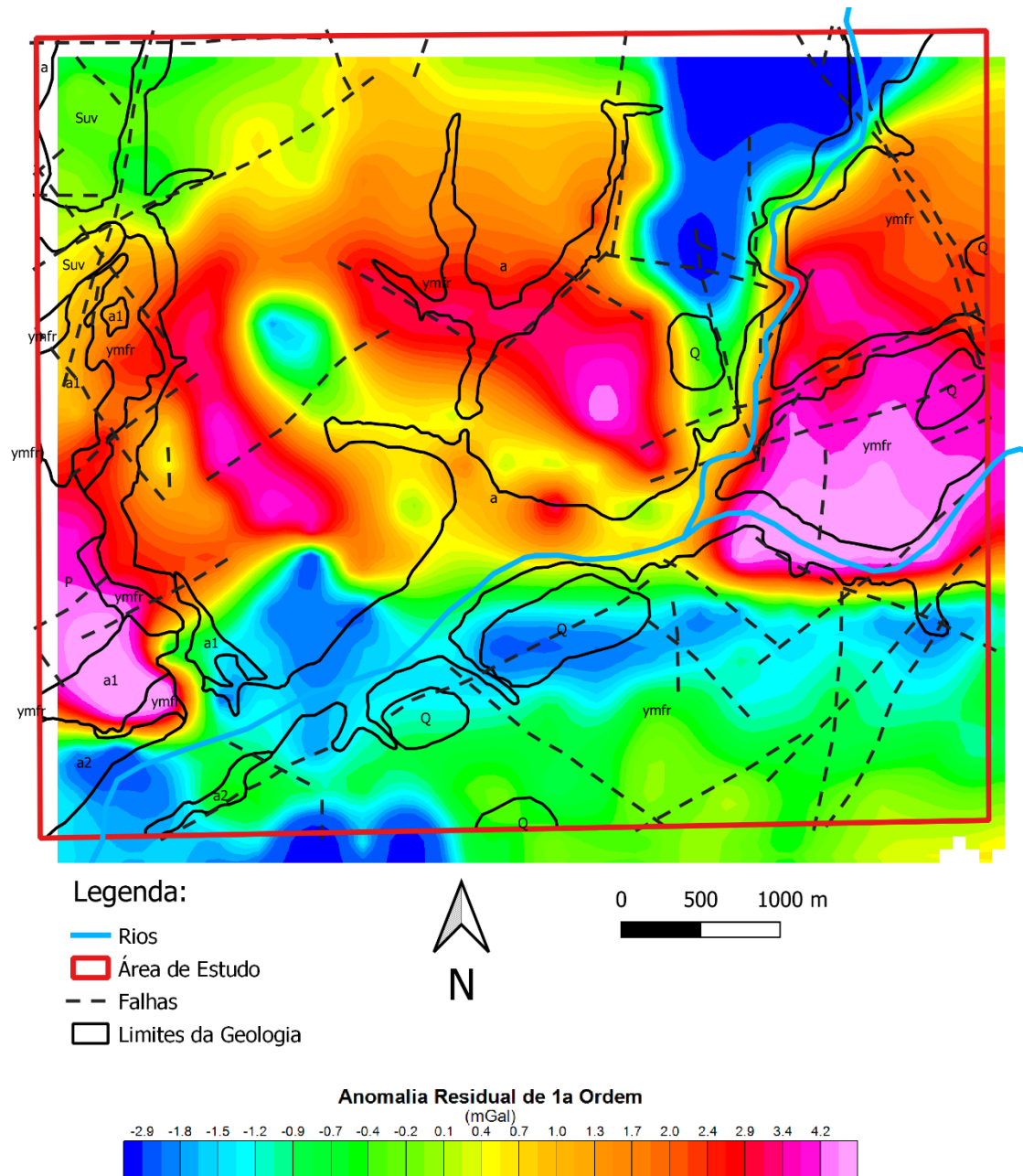


Figura 36 - Mapa da anomalia residual de 1ª ordem polinomial.

O mapa da anomalia residual de 2ª ordem apresenta valores compreendidos entre -4 e 2.3 mGal e as anomalias mais negativas estão na zona central W-E, sendo que a anomalias mais positivas se encontram a norte e sul.

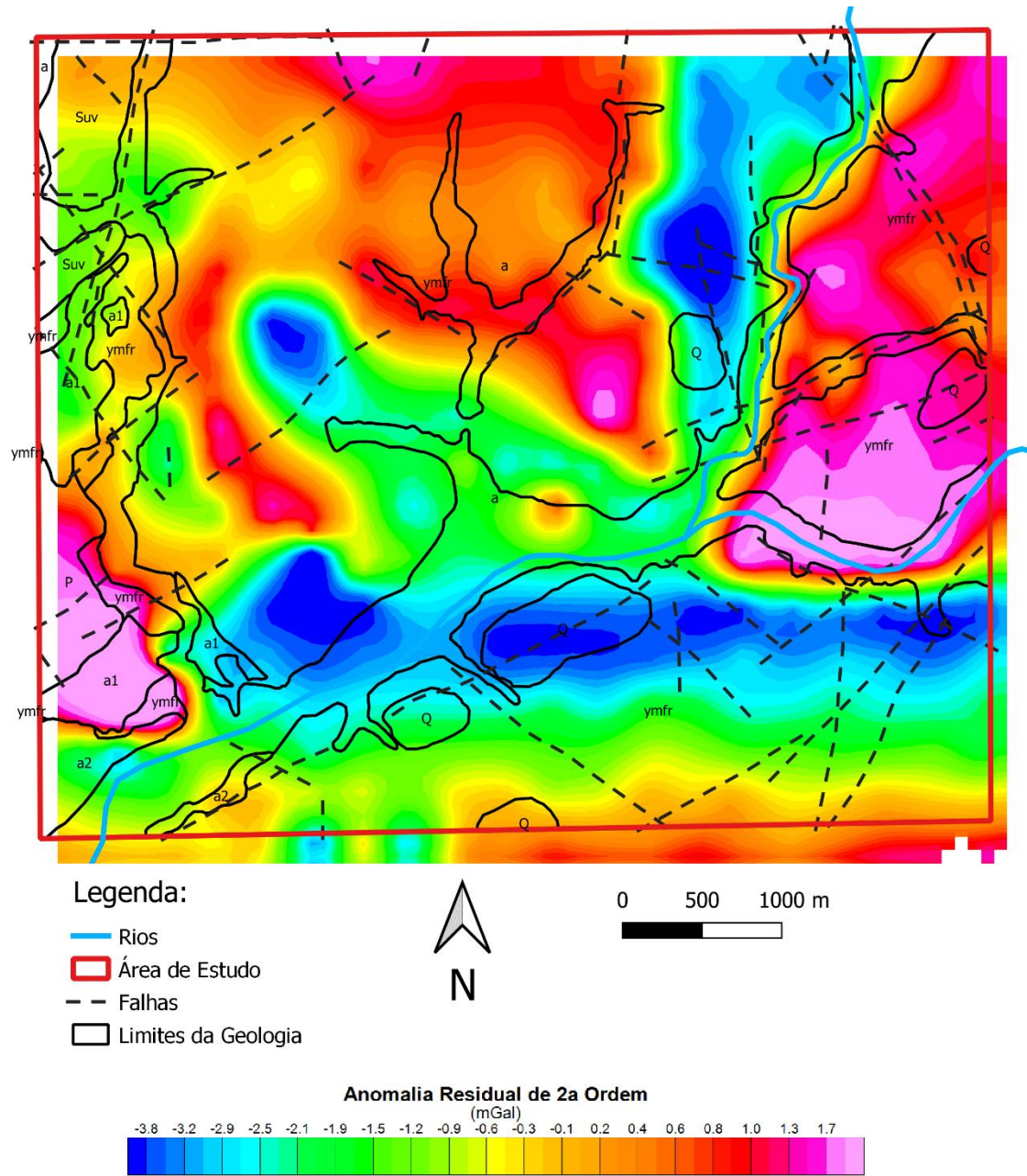


Figura 37 - Mapa da anomalia residual de 2ª ordem polinomial.

O mapa da anomalia residual de 3ª ordem apresenta valores compreendidos entre -4.2 e 2.8 mGal e as anomalias mais negativas estão na zona central W-E, sendo que a anomalias mais positivas se encontram a norte e sul.

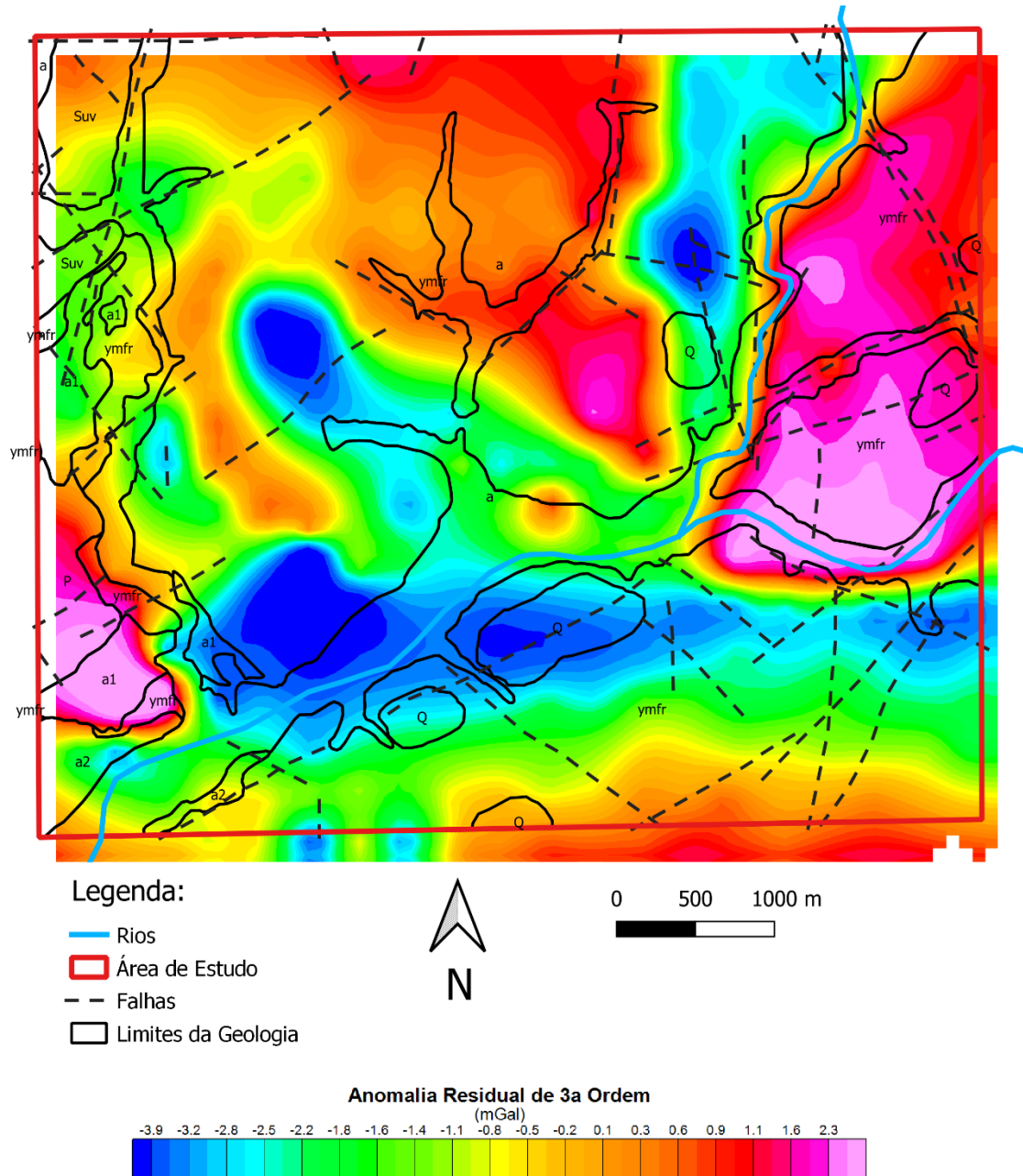


Figura 38 - Mapa da anomalia residual de 3ª ordem polinomial.

3.4.3. Anomalia Regional

Nas figuras 39, 40 e 41 observa-se as anomalias regionais de 1ª, 2ª e 3ª ordem, respetivamente, obtida no *software Oasis Montaj* com a litologia da área sobreposta realizado no *software Qgis*.

O mapa da anomalia regional de 1ª ordem apresenta valores compreendidos entre -8 e 2.5 mGal e aumenta de SE para NW.

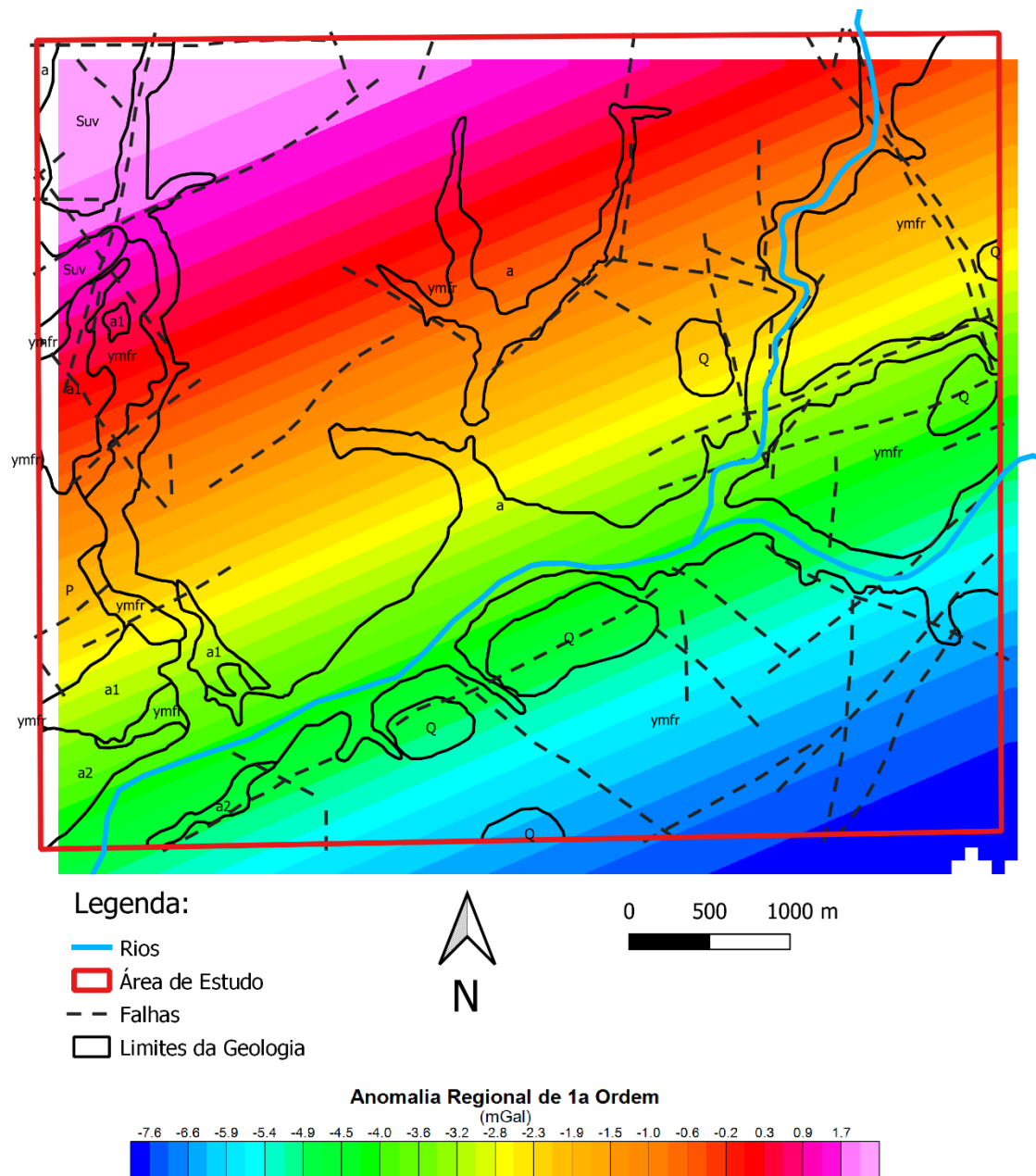


Figura 39 - Mapa da anomalia regional de 1ª ordem polinomial.

O mapa da anomalia regional de 2ª ordem apresenta valores compreendidos entre -8.2 e 3.2 mGal e aumenta de ESE para WNW.

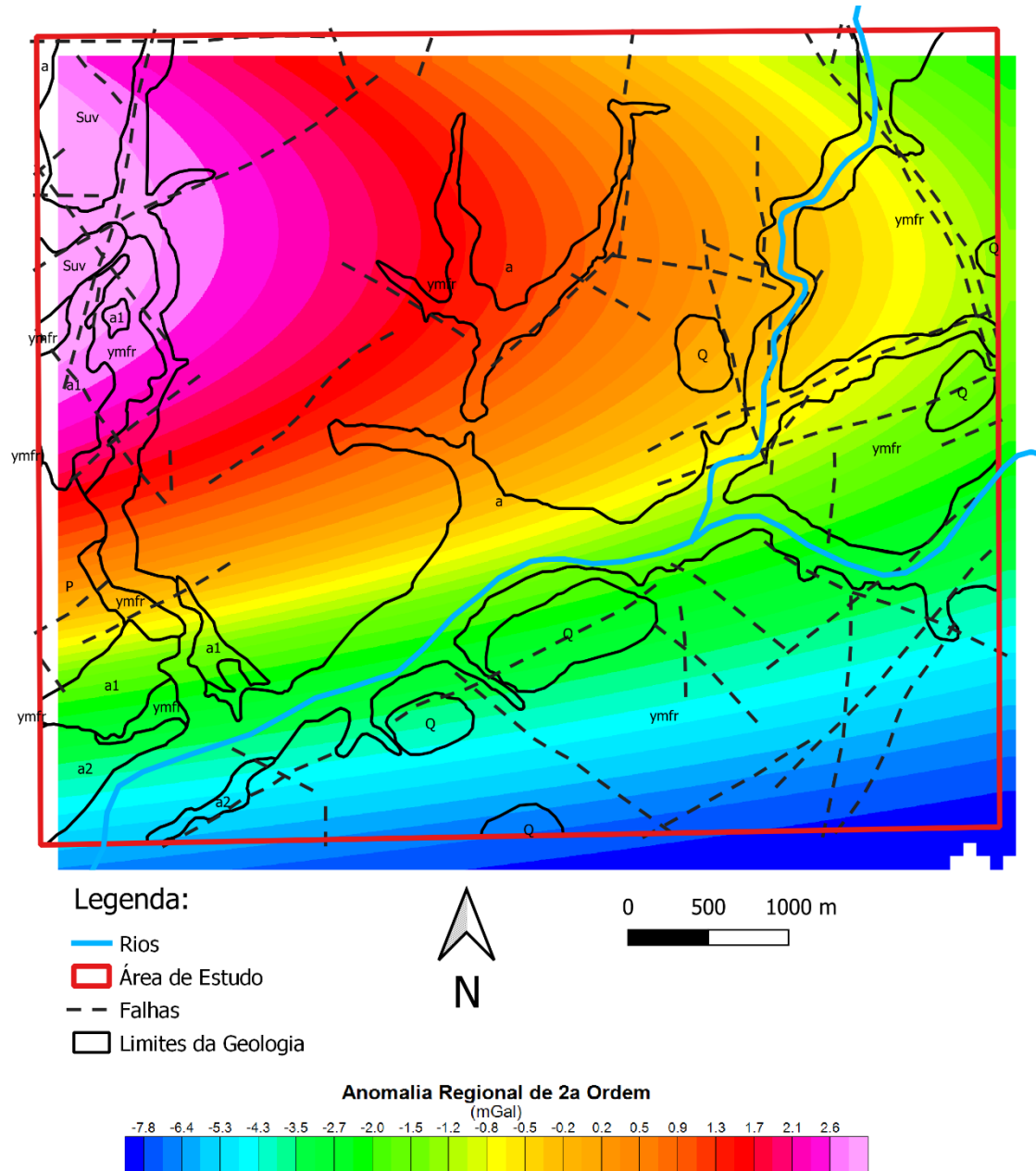


Figura 40 - Mapa da anomalia regional de 2ª ordem polinomial.

O mapa da anomalia regional de 3ª ordem apresenta valores compreendidos entre -8.6 e 3.7 mGal e aumenta de ESE para WNW.

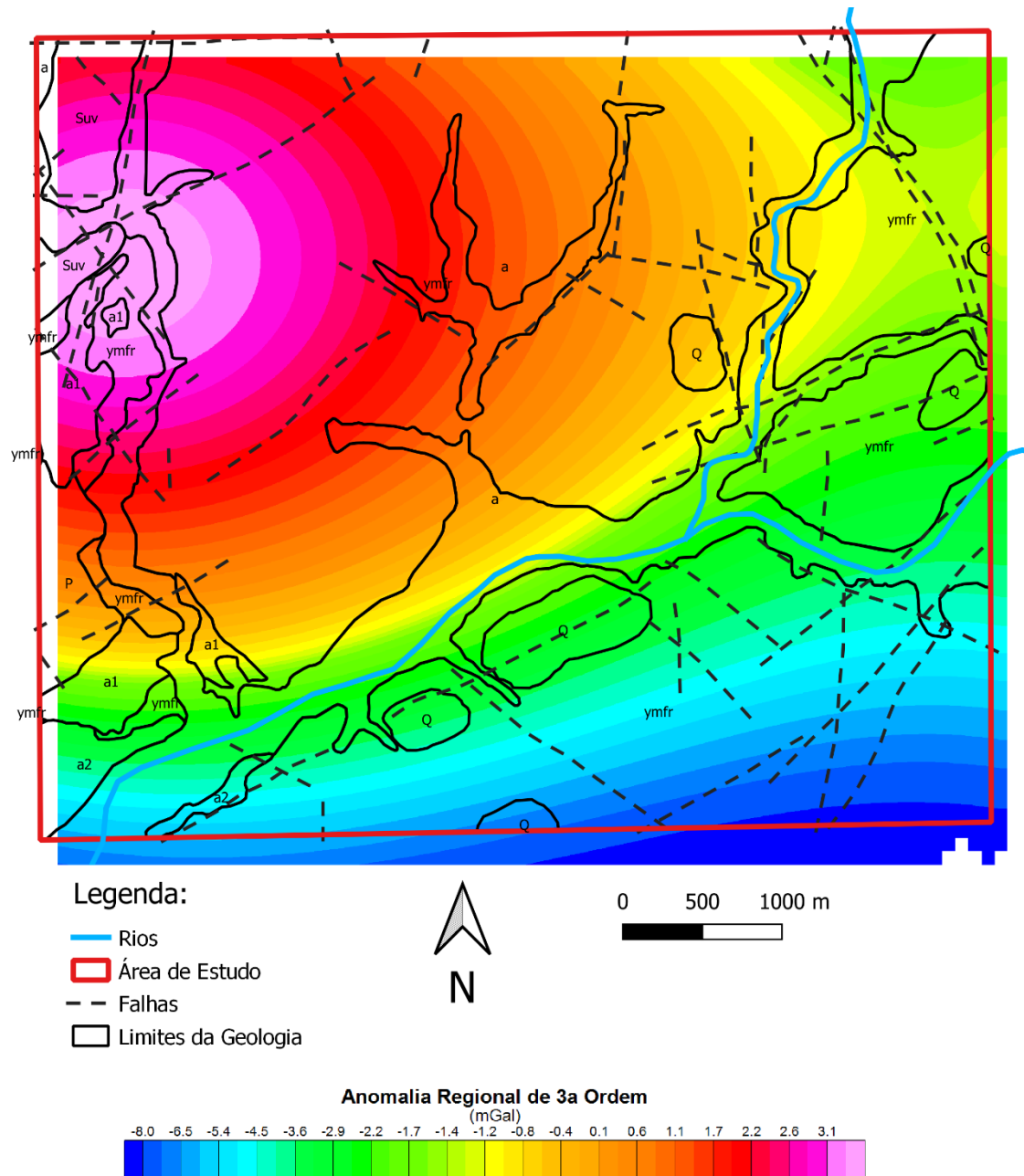


Figura 41 - Mapa da anomalia regional de 3ª ordem polinomial.

Capítulo 4 – Resultados e Discussão

Martínez-Moreno (2015) argumenta que os mapas de anomalia gerados utilizando o método polinomial de menor grau proporcionam resultados mais próximos da realidade. No entanto, é importante ter em consideração o conhecimento geológico da área identificando o controle estrutural das falhas presentes na região.

Neste capítulo são descritos os mapas obtidos anteriormente com mais pormenor e, no caso dos mapas de anomalias regional e residual, foram selecionados os de segunda ordem porque comparando com a litologia e estruturas presentes na área em estudo, são os que aparentam mais similaridades.

4.1. Mapa da Anomalia Completa de Bouguer

No mapa seguinte (figura 42), da anomalia completa de Bouguer, salientam-se três áreas e uma estrutura que separa as áreas. No bordo NW do mapa observam-se zonas onde a anomalia de Bouguer é mais positiva com valores de -1,2 a 3 mGal. No entanto, dentro dessa zona destaca-se uma área com valores inferiores a -2 mGal, valores equivalentes a estrutura que separa estas três zonas de interesse e se situa no quadrante NW do mapa e esta rodeado pela área de valores positivos. Ao observar o

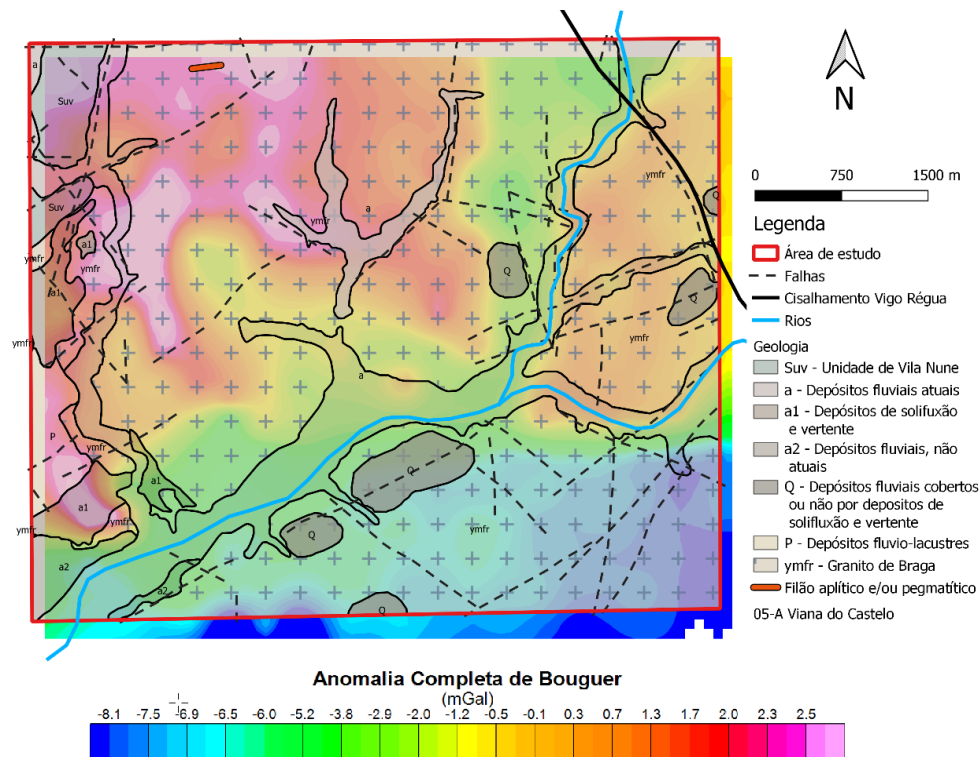


Figura 42 - Mapa da anomalia completa de Bouguer com sobreposição das litologias locais.

mapa geológico, verifica-se que esta anomalia poderá estar relacionada com uma falha presente na área.

Na segunda zona localizada no bordo NE, observam-se valores positivos, que alcançam os 1,5 mGal. A terceira zona de interesse é a zona mais negativa no bordo S do mapa, que apesar de ser o mesmo granito apresentam valores muito distintos.

A estrutura que separa estas áreas do mapa apresenta valores negativos entre os -6 a -3 mGal. Esta estrutura corresponde àquela que condiciona o percurso dos dois rios na superfície, Rio Homem e Rio Cávado, já que praticamente se sobrepõem.

4.2. Mapa da Anomalia Regional de 2ª Ordem

No mapa seguinte (figura 43), da anomalia regional de 2ª ordem, observa-se uma diminuição da anomalia de NW para SE e que a anomalia segue as falhas principais da área (NNW-SSE e ENE-WSW).

Comparando esta anomalia regional ao mapa das anomalias gravimétricas de Bouguer para a Península Ibérica (figura 33) podemos observar que as orientações não são iguais. Enquanto esta anomalia apresenta uma orientação NW-SE, a anomalia de Mezcuca (1996) na área de estudo aparenta ter uma orientação N-S.

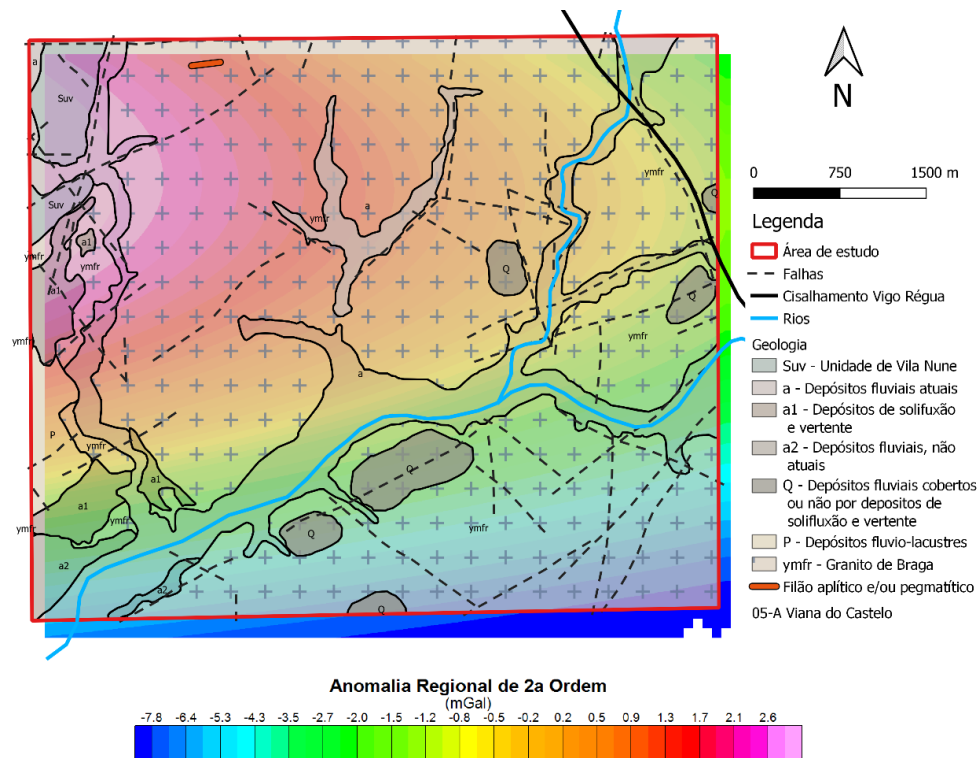


Figura 43 - Mapa da anomalia regional de 2ª ordem polinomial com sobreposição das litologias locais.

4.3. Mapa da Anomalia Residual de 2ª Ordem

No mapa seguinte (figura 44), observam-se as mesmas estruturas de interesse mencionadas anteriormente no mapa da anomalia de Bouguer. A realçar que os valores mais baixos da anomalia são coincidentes com as estruturas que condicionam os rios presentes na área, com orientações N-S e E-W, e a estrutura negativa no sector NW do mapa mencionada anteriormente que parece ser paralela a zona de cisalhamento. A estrutura E-W aparenta ser mais profunda a N, o que pode indicar uma inclinação nessa mesma direção. Os valores mais elevados encontram-se associados aos granitos da área.

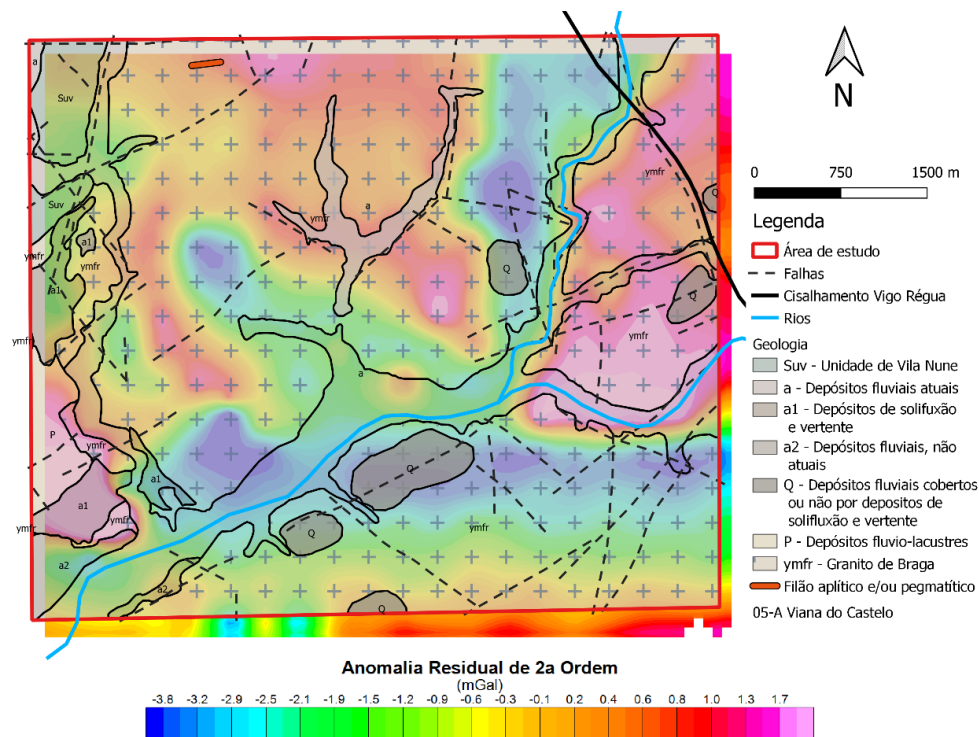


Figura 44 - Mapa da anomalia residual de 2ª ordem polinomial com sobreposição das litologias locais.

4.4. Discussão dos resultados

Normalmente, uma pesquisa gravimétrica deteta eficientemente descontinuidades, como falhas e limites geológicos permitindo deduzir sobre a profundidade e forma de corpos intrusivos além de contribuir com informações relevantes para a avaliação do potencial geotérmico na área.

Na área de estudo é observado uma forte influência estrutural devido à presença da zona de cisalhamento Vigo-Régua (direção NNW-SSE) e das falhas ENE-WSW da fraturação tardi-Varisca, claramente evidenciadas pelo alinhamento do rio Cávado.

Com base nos princípios teóricos da gravidade a influência principal sobre ela é determinada pela densidade, logo quando ocorrem anomalias positivas isso indica a presença de um corpo mais denso do que a região circundante. No entanto, considerando que a área é principalmente composta por granitos, a variação da anomalia não pode ser justificada apenas pela presença de corpos com diferentes densidades. Em vez disso, a variação da anomalia pode ser atribuída à presença de granitos com diferentes níveis de alteração como as zonas mais alteradas que conduzem a áreas menos densas e zonas de granito mais fresco que correspondem a áreas mais densas.

A variação do grau de alteração dos granitos é devido ao facto de esta ter sido fortemente condicionada pela zona de cisalhamento Varisco.

Na margem S do rio Cávado é visível uma anomalia negativa (variação -8,5 a -6,5) contrastando com uma anomalia positiva a N (variação -0,5 a 3). Este contraste pode ser explicada por uma estruturação Horst-Graben, já mencionado em trabalhos anteriores, numa área mais a SE (Rolo, 2021; Pereira, 2022). O Horst localizado a N implicou levantamento a N e o Graben localizado a S implicou descida tectónica. Esta estrutura ENE-WSW Horst-Graben tem uma origem tardi-Varisca.

É também visível uma anomalia negativa (figura 40), que apesar de ser menos negativa do que aquela que está sobre o Graben (terreno que abaixou/negativo), está sobreposta aos depósitos aluviais dos rios que existem na área, rio Cávado e o Rio Homem. Esta anomalia negativa pode ser explicada pela baixa densidade dos depósitos aluviais. A fraturação mencionada anteriormente também teve influência na orientação do rio Cávado.

Na margem N do rio Cávado, sector NW do mapa, encontra-se uma anomalia negativa circundada pela positiva, que pode ser devido as diferenças do grau de alteração do

granito associados a zona de cisalhamento e a circulação de águas quentes sulfúreas alcalinas ou a uma zona de enraizamento do granito.

Por último, uma explicação possível para a presença de águas quentes e o grau de alteração do granito será a existência de um “penacho mantélico” no subsolo da região proposto por Calado (2001). Calado (2001) indica que na ZCI podem ocorrer fluidos magmáticos alcalinos associados ao processo de penacho mantélico-fusão da litosfera inferior. Esses fluidos ascendem e interagem com rochas ácidas, como os granodioritos Variscos presentes nos plutões, até emergirem à superfície.

Capítulo 5 – Considerações finais

A pesquisa gravimétrica revela descontinuidades geológicas na área de estudo, como falhas e limites, fornecendo informações cruciais sobre a profundidade e forma de corpos intrusivos, além de contribuir para a avaliação do potencial geotérmico. A presença da zona de cisalhamento Vigo-Régua e das falhas ENE-WSW indica uma forte influência estrutural visível no alinhamento do rio Cávado. As variações das anomalias gravimétricas na área podem ser explicadas pelos diferentes níveis de alteração do granito, onde zonas mais alteradas são menos densas e zonas de granito fresco são mais densas influenciadas pela zona de cisalhamento.

Na margem S do rio Cávado há uma anomalia negativa contrastando com uma anomalia positiva a N, evidenciando uma estrutura Horst-Graben de origem tardi-Varisca. Essa estruturação indica um levantamento a N (Horst) e uma descida tectónica a S (Graben). A presença de depósitos aluviais dos rios Cávado e Homem contribui para uma leve anomalia negativa devido à menor densidade desses materiais, em comparação com os granitos. As fraturas e a influência da zona de cisalhamento também afetaram a orientação do rio Cávado.

Na margem N do rio Cávado no interior duma zona onde predomina uma anomalia positiva, ocorre uma anomalia negativa que pode ser atribuída às diferenças no grau de alteração do granito, associadas à zona de cisalhamento e à circulação de águas quentes. Essas observações destacam a complexidade estrutural da região e a importância de considerar fatores além da densidade para interpretar as anomalias gravimétricas encontradas.

Admite-se que a produção de magma, ou a fusão parcial das rochas paleozoicas e pré-câmblicas tenha sido desencadeada pela ascensão de um “penacho mantélico” que afetou o granito, aquecendo as águas que circulavam a área.

Um dos principais objetivos deste relatório era encontrar possíveis estruturas que promovem a circulação de água quente e a estrutura E-W visível no mapa da anomalia Residual de 2ª Ordem (figura 44) é um local plausível para encontrarmos águas termais subsuperficiais.

5.1. Trabalhos Futuros

Sugerem-se algumas abordagens para dar continuidade a esta investigação em trabalhos futuros. Uma delas, será expandir a área da rede de campanha gravimétrica aumentando o número de estações ou diminuindo o espaçamento entre as estações

existentes permitindo assim obter uma base de dados ainda maior e aumentar o nível de detalhe das informações coletadas.

Além disso, seria interessante explorar a aplicação de diferentes métodos complementares. A utilização de abordagens multidisciplinares pode fornecer conhecimentos adicionais e uma compreensão mais abrangente da área estudada.

Pessoalmente, este estágio curricular e a realização desta investigação científica foram enriquecedores para o desenvolvimento das competências científicas e profissionais como futura geóloga. O envolvimento necessário para a realização deste trabalho impulsionou o senso crítico e autonomia, o que foi fundamental para a conclusão deste trabalho de investigação. Esta experiência contribuiu significativamente para a formação e preparação para a futura carreira em geologia.

Referências Bibliográficas

- Almeida, F., Lourenço, M., Matias, M., Martins, A., 2018. A MatLab script to perform gravity terrain corrections using DEM-EU digital elevation model in a teaching lab. Near Surface Geoscience Conference & Exhibition 2018, pp.1-6.
- Azevedo M. & Aguado, B., 2013. Origem e instalação dos Granitóides Variscos na Zona Centro-Ibérica.
- Braga, M.A.S., 1998. Arenas e Depósitos Associados da Bacia de Drenagem do Rio Cávado (Portugal). Contrinuição Para o Estudo da Arenização. Dissertação de doutoramento Univ. do Minho, Braga. Pol.
- Cabral, J., 1995. Neotectónica de Portugal continental. Memórias do Instituto Geológico e Mineiro, 31, 265 p.
- Calado, C., 2001. A ocorrência de água sulfúrea alcalina no maciço hespérico: quadro hidrogeológico e quimiogénese. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa, Lisboa, p 462
- Campbell, C., & O'Sullivan, A. D., 1991. Cone penetration testing and its application. Thomas Telford.
- Castro, P., Coke, C., Ferreira, N., Llana-Fúnez, S., Pamplona, J., Pereira, E., Pimenta, P., Rodrigues, B.C., Rodrigues, J., 2010. Evolução e Estrutura da Zona de Cisalhamento Dúctil Malpica-Lamego: Livro Guia da Excursão pós-congresso. Rodrigues B.C. e Pamplona J. (Eds), VIII Congresso Nacional de Geologia, Braga, 11-12 pp.
- Dentith, M., Mudge, T., 2014. Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist. 1st Ed., Cambridge University Press. United Kingdom, pp. 516.
- Dias, R., Ribeiro, A., 1995. The Ibero-Armorican Arc: a collision effect against an irregular continent? Tectonophysics 246, 113– 128.
- Dias, G., Noronha, F., Almeida, A., Simões, P. P., Martins, H. C. B., Ferreira, N., 2010. Geocronologia e petrogénese do plutonismo tardi-varisco, NW de Portugal: síntese e inferências sobre os processos de acreção e reciclagem crustal na Zona Centro-Ibérica. Ciências Geológicas: Ensino, Investigação e sua História. Lisboa, APG, SGP. Vol. I, cap. II, 143-160 pp.

- Direção-Geral do Território, 2013. Rede Nacional de Gravimetria: <http://mapas.dgterritorio.pt/geodesia/geodesiaredegravimetricawms.html>
Acessado a 4 de Agosto de 2021.
- ESRI, 2023. Differential GPS Explained: <https://www.esri.com/news/arcuser/0103/differential1of2.html>. Acesso a 30 de maio de 2023.
- EN 1997-2, 2007 (English): Eurocode 7: Geotechnical design - Part 2: Ground investigation and testing [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC].
- Farias, P., Gallastegui, G., Lodeiro, F.G., Marquinez, J., Parra, L.M.M., Catalan, J.R.M., Macia, G.P., Fernanzer, L.R.R., 1987. Appontaciones al conocimiento de la litoestratigrafia y estrutura de Galicia Central. IX Reuniao de Geologia do Oeste Peninsular. Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol. Fac. Cien. Univ. Porto, Program Abstracts 1, 411–431.
- Ferreira, A. de Brum, 1983. Problemas da evolução geomorfológica Quaternária do Noroeste de Portugal. Linha de Acção de Geografia Física, Relatório n.18, Centro de Estudos Geograficos, Lisboa, pp. 1-19, pol.
- Ferreira, A. de Brum, 1986a. L'Èvolucion Tectonique Tertiaire et Quarnaire dans le Nord-Ouest du Portugal. L'Apport des Méthodes Géomorphologiques. Linha de Acção de Geografia Física, Relatório n.26, Centro de Estudos Geograficos, Lisboa, 27 pp., Pol.
- Ferreira, N., Iglésias, M., Noronha, F., Pereira, E., Ribeiro, A., Ribeiro, M.L., 1987. Granitóides da Zona Centro Ibérica e seu enquadramento geodinâmico. In: Los granitoides e rocas associadas dei Macizo Hespérico, Libra de homenaje a L. C. Garcia de Figuerola. Ed. Rueda, Madrid, pp. 37-51.
- Ferreira, N., Dias, G., P. de Meireles, Carlos A., Sequeira Braga, M.A., 2000. Carta Geológica de Portugal na Escala de 1/50000. Notícia Explicativa da Folha 5-D Braga. Departamento de Geologia. Instituto Geológico e Mineiro. Lisboa, 2000.
- Gomes, C. L., Meireles C., Castro P., 1997. Estudo preliminar sobre a natureza poligénica de turmalinitos das unidades de Valença-Vila Nune e Minho Central-Central-Occidental (NW de Portugal). I - Análise estrutural e paragenética. Comunicações da XIV Reunião de Geologia do Oeste Peninsular pp 85-90.

- Hackney, R.I. Featherstone, W.E., 2003. Geodetic versus geophysical perspectives of the 'gravity anomaly'. *Geophysical Journal International*, 154(1), pp. 35-43.
- Hammer, Sigmund, 1939. Terrain corrections for gravimeter stations: *Geophysics*, 4, pp. 184-194.
- Hinze, W. J., Von Frese, R. R. B., e Saad, A. H., 2013. *Gravity and Magnetic Exploration: Principles, Practices, and Applications*. Cambridge University Pres. pp. 34.
- IAG (International Association of Geodesy), 1971. *Geodetic Reference System 1967*. Pub. Spec. No. 3 du Bulletin Géodésique.
- Julivert, M., Fontbote, J., Riveiro, A., Conde, L., 1974. Memoria explicativa del Mapa Tectonico de la Peninsula Iberica y Baleares a escala 1:1000000. Inst. Geol. y Minero de Espana, Madrid, Spain, 133 pp.
- Kearey, P., Brooks, M., 1991. *An Introduction to Geophysical Exploration*. 2nd Ed., pp.,8-215, Blackwell Science Ltd. Oxford.
- Kearey, P., Brooks, M., Hill, I., 2002. *An Introduction to Geophysical Exploration*. 3rd Ed., 10 pp., Blackwell Science Ltd. Oxford.
- LaFehr, T.R.,1991. Standardization in gravity reduction. *Geophysics*, pp. 56.
- Loke, M., 2004. Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys, 33 pp.
- Martínez-Moreno, F. J., Galindo-Zaldívar, J., Pedrera, A., Teixidó, T., Peña, J. A., & González-Castillo, L., 2015. Regional and residual anomaly separation in microgravity maps for cave detection: The case study of Gruta de las Maravilhas (SW Spain). *Journal of Applied Geophysics*, 114, 1-11 pp.
- Martins, J.B., Miranda, T.S.F., 2003. *Ensaio de Penetração nos Solos Graníticos da Região Norte de Portugal: algumas Correlações*. Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Guimarães. 5-18p.
- Medeiros, A., Texeira, C., Lopes, J., 1975. Carta Geológica de Portugal na Escala de 1/50000. Notícia Explicativa da Folha 5-B Ponte da Barca. Direção Geral de Minas e Serviços Geológicos. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa, 1975.
- Mescherikov, Y.A. 1968. Beotectinics, In: *The Encyclopedia of Geomorphology*, R. W. Fairbridge (Ed.). Dowden, Hutchinson and Ross, Inc, Stroudsburg, Oennsylvania, pp. 768-773.

- Mezcua, J., Gil, A., Benarroch, R., 1996. Anomalías gravimétricas bouguer de la Península Ibérica y Baleares, Escala 1:1000000. Instituto Geográfico Nacional, Madrid.
- Mickus, Kevin, 2003. Gravity Method: Environmental and Engineering Applications, Department of Geosciences, Southwest Missouri State University, Springfield, pp. 2-13.
- Milson, J., 2003. Field Geophysics. 3rd Ed., pp. 1-144, Other Wiley Editorial Offices. England.
- Moritz, H., 1980. Geodetic reference system 1980, *Bull. Géodés.*, 54, 395– 405.
- Musset, E., Kahn., A., M., Aftab. M., 2000. Looking into the Earth. An Introduction to geological geophysics. 1st Ed., 1-213 pp., Cambridge University Press. USA.
- Noronha, F., Ramos, J.M.F., Rebelo, J. A., Ribeiro, A., Ribeiro, M. L., 1979, Essai de corrélation des phases de déformation hercyniennes dans le Nord-Ouest Péninsulaire, LEIDSE GEOLOGISCHE MEDEDELINGEN, Deel 52. Aflevering 1, 87-91 pp.
- Noronha F., Ribeiro, M.A., Almeida, A., Dória, A., Guedes, A., Lima, A., Martins, H.C., Sant’Ovaia, H., Nogueira, P., Martins, T., Ramos, R. & Vieira, R., 2013. Jazigos filonianos hidrotermais e aplito-pegmatíticos espacialmente associados a granitos (norte de Portugal). In: R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha, J.C. Kullberg (Eds), *Geologia de Portugal*, vol. 1, Escolar Editora, 403-438.
- Pereira, B., Azevedo, J., Oliveira, J., Dias, P., Leal Gomes, C., Marta Fernandes, J., Carvalho, J., 2013. PROSPEG – Projecto de prospecção, análise distanciada e detecção remota de pegmatitos. 146 pp. Sinergeo - Soluções Aplicadas em Geologia, Hidrogeologia e Ambiente, Lda.
- Pereira, B., Antunes, M., Sant'ovaia, H., Gonçalves, L., Cruz, C., Azevedo, J., Oliveira, J., 2022. Geothermal resources research in a granitic basement - the Braga area case study (NW Portugal). *European Geologist*, 54. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7882843>
- Pereira, E. & Ribeiro, A. 1983 - Tectónica do sector NW da Serra do Marão. *Com. Serv. Geai. Portugal*, Lisboa, T. 69 (2), pp. 283-290.
- Perez-Estaun, A., Bea, F., Bastida, F., Marcos, A., Martinez Catalan, J.R., Martinez Poyatos, D., Arenas, R., Diaz Garcia, F., Azor, A., Simancas, J.F. & Gonzalez

- Lodeiro, F., 2004. La cordillera varisca europea: el Macizo Iberico. In: Vera, J.A. (Eds.). *Geologia de Espana*. Soc. Geol. Espana/Inst.Geol. Min. Espana (SGE/IGME), Madrid, pp. 21-25.
- Reynolds, J.M., 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. Wiley, Chichester.
- Reynolds, J. M., 2011. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. 2nd Ed., 712 pp., JohnWiley & Sons, Ltd. UK;
- Ribeiro, A., 1974. *Contribuição à l'étude tectonique de Trás-os-Montes Oriental*. Serviços Geológicos de Portugal, Direcção-Geral de Minas e Serviços Geológicos. Memórias dos Serv. Geol. Portugal. Nova Série, V.24, 168 p.
- Ribeiro, A., Pereira, E., Ribeiro, M., Casto, P., 2006. *Unidades alóctones da região de Morais (Trás-os-Montes Oriental)*. Universidade de Évora.
- Rodrigues, D. 2016. *Caracterização geotécnica do campus do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) utilizando o ensaio do penetrómetro dinâmico médio (Mestrado)*. Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).
- Rolo, R., 2021. *Geofísica Aplicada à Prospeção Geológica Estudo gravimétrico de carácter exploratório em zonas com potencial geotérmico (região de Braga)*. Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.
- Simões, P. P., 2000 - *Instalação, geocronologia e petrogénese de granitóides biotíticos sintectónicos associados ao cisalhamento Vigo-Régua (ZCI, Norte de Portugal)*. Tese de doutoramento, Universidade do Minho, Braga, 351 pp.
- Texeira, C., Medeiros, A., 1969. *Carta Geológica de Portugal na Escala de 1/50000. Notícia Explicativa da Folha 5-C Barcelos*. Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa, 1969.
- Texeira, C., Medeiros, A., 1972. *Carta Geológica de Portugal na Escala de 1/50000. Notícia Explicativa da Folha 5-A Viana do Castelo*. Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa, 1972.
- Van Camp, M., de Viron, O., Watlet, A., Meurers, B., Francis, O. and Caudron, C., 2017. *Geophysics From Terrestrial Time-Variable Gravity Measurements. Reviews of Geophysics*, 55(4), pp. 938-992.

Anexos

Tabela 2 - Dados das estações gravimétricas e respetiva anomalia completa de Bouguer.

Data	Horas	Ponto	Base	métricas ETRS89		decimais WGS84		Altura	Anomalia Completa de Bouguer (mGal)
				Longitude (métricas ETRS89)	Latitude (métricas ETRS89)	Longitude (decimais WGS84)	Latitude (decimais WGS84)		
17/02/2023	15:24	50	base1	-28326.959	213646.115	-8.472848289	41.5916853	22.665	-6.36
17/02/2023	15:37	67	base1	-28069.259	213681.747	-8.469759277	41.5920152	24.014	-5.09
23/02/2023	10:35	85	base1	-27787.861	213381.185	-8.466370444	41.5893189	31.526	-6.77
23/02/2023	10:53	68	base1	-28073.694	213392.382	-8.46979893	41.5894097	24.765	-6.94
23/02/2023	11:05	51	base1	-28321.906	213336.776	-8.472773087	41.5889003	24.925	-6.60
23/02/2023	11:28	84	base1	-27741.842	213633.912	-8.465830227	41.5915959	24.492	-5.51
23/02/2023	11:40	119	base1	-27144.325	213368.868	-8.458652028	41.5892301	42.186	-7.12
23/02/2023	11:48	102	base1	-27420.656	213385.378	-8.461966786	41.5893693	34.185	-5.95
23/02/2023	12:00	100	base1	-27439.680	213971.587	-8.462221747	41.5946466	24.574	-6.59
23/02/2023	12:26	101	base1	-27472.943	213677.791	-8.462607246	41.5920003	24.595	-5.97
23/02/2023	14:32	16	base2	-28952.898	213676.718	-8.480356846	41.5919384	24.199	-5.56
23/02/2023	14:51	15	base2	-28958.819	213948.679	-8.480440985	41.5943868	23.75	-5.65
23/02/2023	15:03	32	base2	-28654.612	213984.070	-8.476794074	41.5947164	22.223	-6.54
23/02/2023	15:13	33	base2	-28651.509	213683.291	-8.476742494	41.5920084	22.684	-6.10
23/02/2023	15:24	49	base2	-28344.795	213964.675	-8.473077251	41.5945528	23.749	-5.27
23/02/2023	15:33	65	base2	-28033.545	214287.897	-8.469359269	41.5974739	24.976	-5.70
23/02/2023	15:43	64	base2	-28019.540	214595.565	-8.469205659	41.6002445	28.983	-4.69
23/02/2023	15:54	47	base2	-28360.964	214574.922	-8.473300031	41.6000466	28.35	-4.30

23/02/2023	16:13	82	base2	-27756.793	214231.631	-8.466037192	41.596977	25.718	-5.17
23/02/2023	16:20	81	base2	-27749.711	214583.276	-8.465968516	41.6001433	37.195	-4.80
23/02/2023	16:26	80	base2	-27743.081	214857.911	-8.465901694	41.6026162	45.657	-4.90
23/02/2023	16:33	97	base2	-27442.655	214880.847	-8.462299028	41.6028331	49.767	-4.99
23/02/2023	16:42	98	base2	-27428.732	214489.191	-8.462114104	41.5993073	30.388	-5.84
23/02/2023	16:52	116	base2	-27165.847	214300.158	-8.458952305	41.5976143	20.985	-5.79
23/02/2023	17:02	115	base2	-27148.307	214614.494	-8.45875615	41.600445	31.59	-5.49
23/02/2023	17:11	114	base2	-27141.852	214877.587	-8.458690629	41.602814	40.999	-5.62
23/02/2023	17:20	96	base2	-27454.762	215195.883	-8.462458679	41.6056691	55.989	-5.66
24/02/2023	10:40	134	base3	-26842.667	213998.119	-8.455062428	41.5949058	33.231	-5.84
24/02/2023	10:51	151	base3	-26552.332	213970.911	-8.451578964	41.5946705	46.092	-6.02
24/02/2023	10:58	152	base3	-26560.444	213675.659	-8.451663189	41.5920119	49.434	-6.27
24/02/2023	11:07	169	base3	-26243.390	213680.764	-8.447860854	41.5920683	58.729	-6.24
24/02/2023	11:18	170	base3	-26227.608	213386.721	-8.447658722	41.5894214	68.544	-7.08
24/02/2023	11:27	187	base3	-25945.38	213380.381	-8.444273707	41.5893736	67.797	-6.84
24/02/2023	11:38	186	base3	-25953.431	213723.484	-8.444385102	41.5924624	56.085	-7.06
24/02/2023	12:04	203	base3	-25645.038	213712.282	-8.440685912	41.5923715	53.42	-7.11
24/02/2023	12:26	221	base3	-25348.009	213386.341	-8.437109731	41.5894464	64.643	-7.51
24/02/2023	12:37	238	base3	-25035.557	213379.448	-8.433362223	41.5893942	78.831	-7.32
24/02/2023	12:44	237	base3	-25059.635	213679.104	-8.433663502	41.5920914	77.481	-7.12
24/02/2023	12:54	235	base3	-25048.707	214278.236	-8.433557453	41.5974861	69.125	-6.52
24/02/2023	13:04	218	base3	-25351.243	214263.632	-8.437185584	41.597345	70.345	-6.11
27/02/2023	09:52	220	base3	-25360.839	213686.995	-8.437276307	41.5921529	66.499	-6.64
27/02/2023	10:06	219	base3	-25301.854	213917.922	-8.436578612	41.594234	72.666	-6.34
27/02/2023	10:23	201	base3	-25645.376	214288.606	-8.440714602	41.5975605	61.467	-6.91
27/02/2023	10:42	184	base3	-25945.378	214260.548	-8.444311744	41.5972982	58.912	-6.04
27/02/2023	10:54	168	base3	-26246.789	213997.042	-8.447915456	41.5949159	44.986	-6.17
27/02/2023	11:11	202	base3	-25668.746	213969.438	-8.440981255	41.5946861	59.664	-6.67

27/02/2023	11:32	118	base3	-27158.205	213735.177	-8.458835068	41.5925277	30.158	-5.94
27/02/2023	11:58	133	base3	-26828.912	214276.087	-8.454909883	41.5974089	23.185	-5.94
27/02/2023	12:08	150	base3	-26592.759	214295.712	-8.452078239	41.5975935	31.734	-6.14
27/02/2023	12:23	149	base3	-26517.827	214564.306	-8.451191346	41.6000143	22.375	-5.75
27/02/2023	12:37	166	base3	-26285.424	214640.485	-8.448407037	41.6007079	30.384	-6.68
27/02/2023	12:50	200	base3	-25636.663	214638.163	-8.440625034	41.600708	43.626	-6.94
27/02/2023	12:58	217	base3	-25342.964	214554.989	-8.437098592	41.5999686	57.715	-7.03
27/02/2023	13:09	234	base3	-25112.311	214609.687	-8.434334224	41.6004683	61.682	-6.93
27/02/2023	13:18	183	base3	-25958.89	214658.716	-8.444491044	41.6008827	37.72	-6.76
27/02/2023	14:20	136	base3	-26859.004	213377.210	-8.45523058	41.5893148	50.037	-10.09
27/02/2023	14:28	153	base3	-26468.504	213340.993	-8.450545753	41.5890018	61.569	-7.05
27/02/2023	14:48	233	base3	-25027.559	214870.805	-8.433328521	41.602822	47.438	-6.75
27/02/2023	14:58	250	base3	-24764.043	214886.932	-8.4301682	41.6029754	50.675	-6.72
27/02/2023	15:06	251	base3	-24739.269	214572.183	-8.429858041	41.6001423	72.139	-6.56
27/02/2023	15:14	269	base3	-24445.620	214309.101	-8.426325018	41.5977826	81.583	-7.48
27/02/2023	15:21	286	base3	-24164.546	214275.183	-8.422952309	41.5974858	78.991	-7.26
27/02/2023	15:30	287	base3	-24137.322	213997.686	-8.422614607	41.5949882	68.534	-7.88
27/02/2023	15:44	305	base3	-23879.867	213670.849	-8.419513686	41.5920532	66.291	-7.63
27/02/2023	16:06	255	base3	-24761.110	213372.458	-8.430070507	41.5893398	98.875	-7.82
27/02/2023	16:35	267	base3	-24441.550	214867.688	-8.426298963	41.602812	44.639	-6.38
27/02/2023	16:46	284	base3	-24134.827	214855.300	-8.422619189	41.6027098	53.194	-6.68
27/02/2023	16:55	301	base3	-23866.930	214849.289	-8.419405413	41.6026638	27.22	-7.52
27/02/2023	17:11	318	base3	-23549.088	214877.228	-8.415593864	41.6029247	27.926	-7.58
27/02/2023	17:25	335	base3	-23247.431	214876.090	-8.411975303	41.6029233	30.447	-7.88
27/02/2023	17:37	336	base3	-23220.745	214561.210	-8.411643001	41.6000891	70.871	-7.64
27/02/2023	17:46	337	base3	-23238.486	214277.834	-8.411844825	41.5975371	79.781	-7.84
27/02/2023	17:53	321	base3	-23524.513	213978.836	-8.415263841	41.5948367	78.487	-8.01
27/02/2023	18:00	338	base3	-23242.439	213997.402	-8.411881374	41.5950121	85.572	-8.83

28/02/2023	15:14	319	base3	-23577.238	214550.427	-8.415918689	41.5999815	47.383	-8.15
28/02/2023	15:25	302	base3	-23857.253	214577.273	-8.419278513	41.6002149	64.097	-7.47
28/02/2023	15:31	285	base3	-24105.350	214565.378	-8.422253947	41.6001004	65.789	-7.12
28/02/2023	15:45	252	base3	-24753.850	214275.651	-8.430020701	41.597472	76.521	-7.39
28/02/2023	15:56	253	base3	-24739.681	213988.044	-8.429838892	41.5948829	83.469	-7.34
28/02/2023	16:09	270	base3	-24447.661	213972.194	-8.426335769	41.5947492	88.705	-7.41
28/02/2023	16:20	254	base3	-24813.990	213655.289	-8.430716389	41.5918846	92.438	-6.84
28/02/2023	16:29	271	base3	-24467.473	213651.391	-8.426560311	41.5918602	92.399	-7.77
28/02/2023	16:34	272	base3	-24462.402	213392.104	-8.426488922	41.5895259	110.225	-8.31
28/02/2023	16:42	288	base3	-24170.087	213738.864	-8.422997163	41.5926568	76.904	-7.78
28/02/2023	16:47	304	base3	-23846.378	213976.638	-8.419124191	41.5948074	64.423	-7.97
28/02/2023	16:54	303	base3	-23865.699	214258.560	-8.419367142	41.5973451	64.951	-7.89
01/03/2023	14:12	295	base4	-23861.417	216683.838	-8.419412306	41.6191814	54.866	0.70
01/03/2023	14:27	279	base4	-24145.783	216392.424	-8.422812521	41.6165491	46.808	-1.09
01/03/2023	14:41	262	base4	-24445.614	216383.179	-8.426409509	41.6164567	28.474	0.85
01/03/2023	14:55	263	base4	-24466.065	216075.523	-8.426642321	41.6136861	29.52	1.01
01/03/2023	15:08	264	base4	-24416.491	215748.959	-8.426034257	41.6107474	34.065	0.84
01/03/2023	15:17	265	base4	-24439.607	215470.532	-8.426300227	41.6082398	44.994	0.80
01/03/2023	15:29	266	base4	-24328.610	215201.856	-8.424957756	41.6058242	27.173	0.36
01/03/2023	15:48	282	base4	-24132.161	215482.671	-8.422612458	41.6083585	66.434	0.63
01/03/2023	16:00	283	base4	-24143.778	215178.140	-8.422739558	41.6056163	40.801	0.39
01/03/2023	16:18	329	base4	-23301.708	216639.684	-8.412694934	41.6188004	67.081	-1.09
01/03/2023	16:27	330	base4	-23231.254	216369.473	-8.411839123	41.6163696	61.517	-0.33
01/03/2023	16:37	331	base4	-23228.678	216066.473	-8.411796473	41.6136416	67.852	-0.66
01/03/2023	16:44	332	base4	-23256.038	215673.549	-8.412109479	41.6101031	53.816	-0.38
01/03/2023	16:50	315	base4	-23519.191	215747.145	-8.415269359	41.610758	72.243	-0.33
01/03/2023	16:58	316	base4	-23551.492	215455.567	-8.415645416	41.6081318	60.904	-0.39
01/03/2023	17:05	317	base4	-23559.727	215214.934	-8.415734752	41.605965	55.097	-0.05

01/03/2023	17:14	299	base4	-23786.762	215465.047	-8.418468192	41.6082102	69.985	0.04
01/03/2023	17:24	300	base4	-23829.065	215169.749	-8.418963941	41.6055502	36.839	-0.36
01/03/2023	17:34	280	base4	-24184.458	216075.741	-8.423263764	41.6136966	28.214	-0.15
01/03/2023	17:49	281	base4	-24164.856	215745.063	-8.423015259	41.61072	55.935	0.05
01/03/2023	18:04	311	base4	-23566.071	216968.603	-8.415879805	41.6217541	63.877	-0.46
02/03/2023	14:29	314	base4	-23548.368	216078.001	-8.41563239	41.613736	66.199	-0.17
02/03/2023	14:43	296	base4	-23891.693	216366.290	-8.419762912	41.6163214	48.717	0.61
02/03/2023	14:50	313	base4	-23549.241	216386.371	-8.415654981	41.6165124	46.237	0.19
02/03/2023	14:56	297	base4	-23841.788	216086.528	-8.419153025	41.6138041	44.892	0.63
02/03/2023	15:02	298	base4	-23898.576	215759.142	-8.419821285	41.6108547	64.961	0.67
02/03/2023	15:18	260	base4	-24424.981	217019.561	-8.426187896	41.6221871	25.208	1.42
02/03/2023	15:28	278	base4	-24209.946	216664.672	-8.423593346	41.6189983	32.75	0.89
02/03/2023	15:35	277	base4	-24146.433	216960.294	-8.422843203	41.6216619	44.315	1.41
02/03/2023	15:47	293	base4	-23817.194	217256.219	-8.418904452	41.6243362	47.872	0.56
02/03/2023	15:53	310	base4	-23558.064	217334.909	-8.415798134	41.6250524	63.053	-0.09
02/03/2023	16:06	294	base4	-23841.471	216985.471	-8.419184987	41.6218978	54.173	0.03
02/03/2023	16:21	328	base4	-23303.640	217023.380	-8.412733038	41.622255	75.056	-0.09
02/03/2023	16:29	327	base4	-23175.389	217205.944	-8.41120121	41.6239024	75.644	-0.63
02/03/2023	16:38	326	base4	-23395.642	217621.497	-8.413860334	41.6276374	55.328	-0.10
02/03/2023	16:50	291	base4	-23835.749	217797.507	-8.419148641	41.6292091	29.445	0.33
02/03/2023	16:58	308	base4	-23526.878	217855.999	-8.415444384	41.6297449	49.192	0.20
02/03/2023	17:08	325	base4	-23238.500	217832.269	-8.411982801	41.6295397	70.134	-0.33
02/03/2023	17:20	324	base4	-23301.806	218200.685	-8.412756834	41.6328549	59.527	-0.45
02/03/2023	17:41	292	base4	-23853.672	217572.894	-8.419354778	41.6271863	33.611	0.53
02/03/2023	18:12	248	base4	-24712.898	215450.050	-8.4295779	41.608047	34.669	0.45
02/03/2023	18:21	249	base4	-24751.059	215180.024	-8.430024548	41.6056147	22.542	0.58
03/03/2023	09:54	179	base5	-25939.007	215778.855	-8.444301003	41.6109686	48.87	-2.78
03/03/2023	10:04	197	base5	-25637.210	215487.536	-8.440667909	41.6083554	37.591	-2.95

03/03/2023	10:11	162	base5	-26260.153	215754.559	-8.448152702	41.6107393	38.002	-2.46
03/03/2023	10:18	145	base5	-26498.551	215769.454	-8.451013391	41.6108656	30.811	-0.63
03/03/2023	10:29	129	base5	-26848.940	215482.166	-8.455204103	41.6082672	49.39	-2.76
03/03/2023	10:37	130	base5	-26853.322	215171.272	-8.455242748	41.605468	43.8	-2.09
03/03/2023	10:44	113	base5	-27172.821	215122.032	-8.45907319	41.6050138	45.029	-1.10
03/03/2023	10:52	144	base5	-26551.894	216075.074	-8.451666879	41.6136154	42.059	-1.65
03/03/2023	10:58	127	base5	-26892.647	216057.008	-8.455754219	41.6134414	55.444	-1.17
03/03/2023	11:03	110	base5	-27131.944	216086.299	-8.458626478	41.613697	61.366	-1.04
03/03/2023	11:09	93	base5	-27429.145	216060.325	-8.462190931	41.613453	61.658	-1.16
03/03/2023	11:14	92	base5	-27441.180	216349.571	-8.462348562	41.6160568	61.684	-1.61
03/03/2023	11:18	75	base5	-27713.339	216394.267	-8.46561595	41.6164499	53.052	-1.23
03/03/2023	11:24	74	base5	-27743.633	216676.348	-8.465992474	41.6189885	57.357	-1.90
03/03/2023	11:30	91	base5	-27391.570	216627.548	-8.461766055	41.6185613	66.148	-1.45
03/03/2023	11:47	209	base5	-25374.050	216964.766	-8.437573466	41.6216641	58.802	-1.83
03/03/2023	11:55	208	base5	-25318.091	217302.501	-8.436916292	41.6247067	68.675	-2.64
03/03/2023	12:59	230	base5	-25027.526	215846.680	-8.43336886	41.6116083	37.484	-3.00
03/03/2023	13:06	229	base5	-25013.972	216086.762	-8.433216271	41.6137703	43.615	-3.36
03/03/2023	13:11	228	base5	-25014.946	216405.184	-8.433241247	41.6166372	50.429	-2.80
03/03/2023	13:18	227	base5	-25020.549	216694.087	-8.433320534	41.6192382	59.03	-3.12
03/03/2023	13:23	225	base5	-25046.428	217280.450	-8.433655556	41.6245167	70.366	-4.09
03/03/2023	13:27	226	base5	-25025.526	216997.379	-8.433392918	41.6219687	68.842	-5.09
03/03/2023	13:43	224	base5	-25039.388	217560.439	-8.433582783	41.6270378	75.641	-3.08
03/03/2023	13:56	222	base5	-25046.647	218185.880	-8.433696048	41.6326688	72.074	-3.80
03/03/2023	14:01	223	base5	-25045.845	217837.674	-8.43367186	41.6295337	71.501	-3.43
03/03/2023	14:11	239	base5	-24775.291	218189.388	-8.430439661	41.6327088	72.892	-3.38
03/03/2023	14:16	256	base5	-24455.202	218180.738	-8.426597929	41.6326408	61.921	-4.05
03/03/2023	14:23	273	base5	-24108.608	218215.113	-8.422439851	41.6329609	56.059	-4.47
03/03/2023	14:34	274	base5	-24165.313	217863.583	-8.423106183	41.6297941	38.481	-4.01

03/03/2023	14:42	257	base5	-24423.673	217819.085	-8.426204801	41.6293856	51.832	-2.62
03/03/2023	14:53	240	base5	-24717.535	217919.540	-8.429735395	41.630281	70.093	-3.40
03/03/2023	15:03	242	base5	-24763.973	217264.592	-8.430265596	41.6243828	63.244	-3.11
03/03/2023	15:14	241	base5	-24674.373	217594.386	-8.429204032	41.6273548	57.778	-2.44
03/03/2023	15:22	243	base5	-24716.534	216974.850	-8.429684401	41.6217755	51.986	-2.81
03/03/2023	15:29	244	base5	-24735.740	216659.335	-8.429901828	41.6189342	47.002	-2.82
03/03/2023	15:46	246	base5	-24756.765	216115.257	-8.430131618	41.6140349	39.881	-2.76
03/03/2023	15:55	245	base5	-24748.939	216381.051	-8.430048702	41.6164282	42.8	-2.66
03/03/2023	16:09	231	base5	-25037.643	215543.163	-8.433477558	41.6088753	29.885	-3.54
03/03/2023	16:18	232	base5	-25063.505	215191.128	-8.433773097	41.6057049	21.969	-3.32
03/03/2023	16:25	214	base5	-25358.426	215498.857	-8.437323971	41.6084662	38.385	-3.90
03/03/2023	16:31	215	base5	-25388.299	215224.360	-8.437670718	41.6059938	29.856	-3.15
03/03/2023	16:39	196	base5	-25693.867	215744.332	-8.441358598	41.6106657	45.631	-2.90
14/03/2023	11:11	207	base0	-25340.107	217585.775	-8.437192456	41.6272565	65.178	1.00
14/03/2023	11:23	190	base0	-25653.501	217574.288	-8.440952675	41.627143	61.428	1.43
14/03/2023	11:37	191	base0	-25647.82	217315.676	-8.440873431	41.6248148	56.672	2.02
14/03/2023	11:45	173	base0	-25988.965	217539.848	-8.444976722	41.6268221	75.019	1.11
14/03/2023	11:58	155	base0	-26222.796	217860.566	-8.447796703	41.629702	68.882	1.73
14/03/2023	13:09	206	base0	-25395.479	217923.034	-8.437871218	41.6302912	60.022	0.70
14/03/2023	13:19	205	base0	-25333.415	218171.845	-8.437136944	41.6325334	65.303	0.50
14/03/2023	13:31	188	base0	-25674.732	218181.908	-8.441233495	41.6326131	67.256	0.88
14/03/2023	13:37	171	base0	-25973.938	218195.251	-8.444824826	41.6327235	71.723	1.38
14/03/2023	13:48	139	base0	-26554.227	217598.827	-8.451762399	41.6273345	53.485	2.03
14/03/2023	13:59	122	base0	-26856.64	217570.569	-8.455390071	41.62707	78.449	2.12
14/03/2023	14:11	123	base0	-26854.099	217278.951	-8.455346506	41.6244445	62.207	1.87
14/03/2023	14:23	106	base0	-27135.821	217266.399	-8.458726433	41.6243219	74.359	2.49
14/03/2023	14:35	90	base0	-27596.687	216996.466	-8.464244103	41.6218758	64.29	2.37
14/03/2023	14:44	108	base0	-27151.824	216663.784	-8.45889115	41.6188957	61.608	2.10

14/03/2023	14:53	125	base0	-26832.75	216628.808	-8.455061213	41.6185916	47.937	2.35
14/03/2023	15:00	142	base0	-26586.781	216698.42	-8.452113086	41.6192266	46.52	2.50
14/03/2023	15:24	210	base0	-25329.666	216707.471	-8.437030029	41.619349	67.402	1.15
14/03/2023	15:35	193	base0	-25658.425	216671.985	-8.440973118	41.619019	52.726	1.18
14/03/2023	15:43	176	base0	-25928.336	216624.18	-8.444209554	41.6185798	41.62	1.93
14/03/2023	15:48	159	base0	-26259.266	216719.043	-8.448184319	41.6194231	53.589	2.24
14/03/2023	15:56	141	base0	-26505.881	216975.885	-8.451154686	41.6217275	45.787	2.23
14/03/2023	16:00	158	base0	-26228.169	216994.84	-8.447823275	41.6219073	56.65	1.56
14/03/2023	16:07	157	base0	-26163.903	217244.678	-8.447063061	41.6241588	62.094	1.58
14/03/2023	16:16	156	base0	-26286.586	217688.817	-8.44855467	41.6281536	60.22	1.80
14/03/2023	16:25	154	base0	-26320.18	218212.352	-8.448980811	41.6328661	81.374	1.68
14/03/2023	16:32	137	base0	-26565.726	218190.226	-8.45192662	41.6326588	78.871	1.90
14/03/2023	16:41	120	base0	-26800.744	218191.375	-8.454747107	41.6326613	66.757	2.52
14/03/2023	16:48	121	base0	-26856.35	217917.081	-8.455402129	41.6301898	73.596	2.34
14/03/2023	16:54	104	base0	-27139.34	217882.073	-8.458796555	41.629865	92.091	2.38
14/03/2023	17:05	103	base0	-27108.379	218241.089	-8.458441263	41.6330985	107.118	3.05
14/03/2023	17:10	102	base0	-27420.656	213385.378	-8.461966786	41.5893693	34.185	-14.72
30/03/2023	10:09	105	base0	-27144.911	217602.573	-8.458850742	41.6273484	97.121	2.82
30/03/2023	10:19	88	base0	-27438.012	217556.132	-8.462365809	41.6269202	100.33	1.48
30/03/2023	10:26	87	base0	-27437.513	217847.285	-8.462373158	41.6295416	121.652	1.76
30/03/2023	10:44	70	base0	-27787.379	217841.157	-8.466571385	41.6294744	115.422	2.54
30/03/2023	10:49	53	base0	-27980.145	217900.726	-8.468887423	41.630004	79.226	2.47
30/03/2023	10:55	52	base0	-28049.757	218181.704	-8.469735957	41.6325313	76.56	2.43
30/03/2023	11:06	54	base0	-28038.613	217591.731	-8.469574598	41.6272199	67.095	1.98
30/03/2023	11:13	37	base0	-28376.023	217528.344	-8.473620482	41.6266372	46.092	1.25
30/03/2023	11:20	38	base0	-28327.966	217272.168	-8.473031693	41.6243325	43.927	1.29
30/03/2023	11:51	124	base0	-26773.79	216973.081	-8.454369176	41.6216933	54.372	2.16
30/03/2023	12:02	89	base0	-27471.046	217286.703	-8.462749856	41.6244933	77.861	2.25

30/03/2023	12:10	72	base0	-27749.769	217311.162	-8.466095499	41.6247039	68.559	1.87
30/03/2023	12:18	71	base0	-27757.477	217582.746	-8.466200575	41.6271488	93.078	2.07
30/03/2023	12:27	55	base0	-28019.382	217283.478	-8.469329409	41.6244452	59.801	2.96
30/03/2023	12:35	56	base0	-28039.194	216971.842	-8.469552555	41.6216387	58.366	3.69
30/03/2023	12:43	57	base0	-28056.223	216688.516	-8.469743617	41.6190872	54.018	3.40
30/03/2023	12:50	58	base0	-28047.632	216377.163	-8.469625966	41.6162842	46.436	3.00
30/03/2023	12:57	59	base0	-28069.036	216035.942	-8.469866789	41.6132112	51.086	3.31
30/03/2023	13:03	60	base0	-28081.953	215792.696	-8.470010362	41.6110207	51.469	2.64
30/03/2023	14:01	19	base0	-28606.152	217878.197	-8.47639869	41.6297789	53.362	2.35
30/03/2023	14:16	1	base0	-28934.758	218159.672	-8.480355683	41.6323013	50.772	3.08
30/03/2023	14:29	18	base0	-28625.92	218213.174	-8.476651926	41.6327942	63.497	2.59
30/03/2023	14:41	21	base0	-28641.478	217246.78	-8.476792423	41.6240927	42.966	2.18
30/03/2023	14:49	20	base0	-28596.035	217585.947	-8.476263329	41.627148	49.926	1.41
30/03/2023	14:57	2	base0	-28891.359	217782.717	-8.479816673	41.628909	63.064	2.19
30/03/2023	15:07	4	base0	-28887.348	217342.748	-8.479747322	41.6249479	53.492	1.98
30/03/2023	15:13	3	base0	-28976.104	217593.632	-8.480824483	41.6272035	46.51	2.37
30/03/2023	15:21	22	base0	-28631.079	217003.335	-8.476656008	41.6219012	53.6	2.47
30/03/2023	15:28	6	base0	-28971.008	216639.755	-8.480717204	41.6186155	68.523	1.74
30/03/2023	16:03	39	base0	-28316.115	217040.509	-8.472878539	41.6222472	40.617	2.57
30/03/2023	16:14	40	base0	-28363.643	216663.74	-8.473430991	41.6188532	37.021	3.20
30/03/2023	16:23	24	base0	-28686.262	216384.509	-8.477288518	41.6163276	47.137	2.69
30/03/2023	16:29	41	base0	-28337.026	216450.913	-8.473101567	41.616938	36.806	3.02
31/03/2023	12:48	7	base0	-28993.532	216346.772	-8.480973279	41.6159768	55.22	1.21
31/03/2023	12:59	8	base0	-28932.744	216087.091	-8.48023142	41.6136409	44.808	0.79
31/03/2023	13:10	28	base0	-28688.65	215111.573	-8.477256251	41.6048667	28.553	-1.05
31/03/2023	13:19	42	base0	-28341.819	216016.521	-8.473138531	41.6130268	32.797	-0.02
31/03/2023	13:24	43	base0	-28326.584	215781.843	-8.472944663	41.6109144	40.512	-0.89
31/03/2023	13:31	61	base0	-28061.076	215472.244	-8.469744903	41.6081363	47.169	-0.53

31/03/2023	13:38	62	base0	-28062.315	215158.768	-8.469745095	41.6053138	43.904	0.13
31/03/2023	13:44	45	base0	-28245.459	215185.642	-8.471943328	41.6055493	41.549	0.14
31/03/2023	13:50	46	base0	-28298.16	214854.782	-8.47255991	41.6025686	27.888	-0.81
31/03/2023	13:59	31	base0	-28671.694	214256.111	-8.477011955	41.5971651	29.355	3.55
31/03/2023	14:03	48	base0	-28393.398	214326.198	-8.473677299	41.5978061	28.213	3.33
31/03/2023	14:16	30	base0	-28646.315	214575.557	-8.476722807	41.6000421	38.216	2.32
31/03/2023	14:53	14	base0	-28916.427	214383.346	-8.479953495	41.5983018	28.688	2.05
31/03/2023	15:04	29	base0	-28640.352	214859.587	-8.476664845	41.6025996	28.783	2.41
31/03/2023	15:12	28	base0	-28688.65	215111.573	-8.477256251	41.6048667	28.553	2.51
31/03/2023	15:20	11	base0	-28951.567	215325.281	-8.480420456	41.6067813	33.049	2.53
31/03/2023	15:31	9	base0	-28769.375	215914.002	-8.478263113	41.6120884	38.984	2.46
31/03/2023	15:41	23	base0	-28696.714	216747.863	-8.47743132	41.6195987	60.443	1.94
31/03/2023	15:49	73	base0	-27816.523	216957.04	-8.466880067	41.6215132	69.32	2.25
31/03/2023	16:00	107	base0	-27136.979	216965.671	-8.458726707	41.6216143	60.006	3.11
31/03/2023	16:17	175	base0	-26017.968	216945.418	-8.445298938	41.6214692	66.692	2.04
31/03/2023	16:22	174	base0	-25861.985	217253.892	-8.443440634	41.6242516	73.335	0.90
31/03/2023	16:42	189	base0	-25754.245	217897.273	-8.442175484	41.6300478	64.789	1.47
31/03/2023	16:55	213	base0	-25298.938	215801.171	-8.436623083	41.61119	40.687	0.55
31/03/2023	17:00	212	base0	-25346.624	216177.357	-8.437211078	41.6145755	50.972	0.27
31/03/2023	17:07	195	base0	-25643.055	216075.169	-8.440763166	41.613646	54.75	2.37
31/03/2023	17:16	211	base0	-25357.556	216381.885	-8.43735089	41.6164167	56.867	1.07
31/03/2023	17:29	177	base0	-25857.084	216376.994	-8.443343983	41.6163566	49.618	1.56
23/05/2023	16:16	180	base0	-25922.936	215519.208	-8.444096973	41.6086313	40.356	0.40
23/05/2023	16:34	95	base0	-27446.221	215334.112	-8.46236255	41.6069139	55.347	1.06
23/05/2023	16:41	78	base0	-27742.486	215438.417	-8.465921414	41.6078428	57.666	1.92