

Foto: Coautoria com Jorge Monteiro® (Jaydrey), Setembro (2017)



UNIVERSIDADE DE COIMBRA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
Departamento de Ciências da Terra

**HIDROGEOLOGIA E AVALIAÇÃO DOS RECURSOS
HÍDRICOS NO SETOR SUDESTE DO CONCELHO DA
MEALHADA**

Pedro Daniel da Graça Neves

Mestrado em Geociências
Área de especialização em Recursos Geológicos

Orientadores científicos

Prof. Doutor José Manuel Martins de Azevedo,
DCT, Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade de Coimbra

Doutor Guilherme José Campos Duarte,
Câmara Municipal de Mealhada

Setembro, 2017

AGRADECIMENTOS

Todos estes anos académicos e o presente ano de dissertação, são o resultado de apoio e colaboração de várias pessoas e entidades, ao qual expresso os meus mais sinceros agradecimentos:

Em primeiro lugar, um agradecimento especial ao Professor Doutor José Manuel Martins de Azevedo, orientador desta dissertação de mestrado, pela sua amizade, orientação, paciência, disponibilidade, empenho, predisposição em ajudar, sugestões, por todos os ensinamentos transmitidos neste ano e ao longo do percurso académico e pelo o gosto que me inculuiu na área da Hidrogeologia.

Ao Excelentíssimo Sr. Vice-Presidente Guilherme José Campos Duarte, por aceitar o convite para co-orientar esta dissertação, pela sua disponibilidade, orientação, conhecimentos transmitidos, integração e apoio, demonstrados ao longo das várias fases da dissertação.

Ao Executivo Municipal, em particular ao Excelentíssimo Sr. Presidente Rui Marquero e ao Excelentíssimo Sr. Vice-Presidente Guilherme Duarte, pela disponibilidade e cortesia em nos receber e por aceitarem estabelecer o Acordo de Estágio Curricular, no âmbito do Protocolo de Colaboração, celebrado com a Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra (DCT – FCTUC).

À Câmara Municipal de Mealhada, como entidade acolhedora deste projeto, nomeadamente, aos colaboradores do Setor do Ambiente e Serviços Urbanos - Secção de Águas e Saneamento e Divisão de Planeamento Urbanístico - Gabinete de SIG e em particular ao Sr. Eng^o. António Pita e à Sra. Eng^a. Sandra Lopes, pela disponibilidade, apoio, acessibilidade e cedência de toda a documentação necessária e imprescindível para esta dissertação.

Ao Professor Doutor Pedro Alexandre Dinis, pela a disponibilidade para esclarecer questões, acessibilidade em facultar toda a documentação pedida e por toda ajuda dada ao longo deste presente ano.

A todos Professores da Licenciatura e colaboradores em geral, do Departamento de Ciências da Terra, que me acompanharam ao longo do meu percurso académico, que com o seus conhecimentos e dedicação ajudaram a fomentar, desenvolver conhecimentos e o meu gosto pela área de Geologia.

A todos Professores de Mestrado em Geociências pela partilha dos seus conhecimentos, dedicação, amizade, entreaajuda, por todo o apoio, carinho e disponibilidade dados ao longo de todo o percurso académico, incluindo o presente ano de dissertação.

À minha família, sobretudo pais, tio, irmão, avós e namorada, pela presença contínua em todos os momentos da vida, pelo acompanhamento, carinho, aconselhamento e ajuda. Todo o apoio e incentivos demonstrados, têm sido cruciais e auxiliaram a alcançar metas e objetivos ao longo do percurso de vida e académico, pelo qual vos expresso a minha gratidão.

A todos os meus amigos da minha região e de universidade, pela amizade e companheirismo, por todos os momentos passados, pelo aconselhamento, motivação e apoio nas mais variadas etapas da vida.

Mais uma vez a todos que passaram pelo meu percurso, o meu grande e sincero obrigado, por tudo que contribuíram nesta fase, percurso vida e na qualificação de Mestre em Recursos Geológicos pela Universidade de Coimbra.

RESUMO

O presente trabalho de investigação tem como principais objetivos o estudo da hidrodinâmica e das disponibilidades hídricas, particularmente as subterrâneas, no setor SE do Concelho da Mealhada, mais especificamente nos domínios da bacia hidrográfica de Ribeira de Canedo (BhRC). O setor estudado apresenta uma área plana total de 38 km², e inclui domínios integrantes dos Sistemas aquíferos Cársico da Bairrada – O3 (o mais extenso e maior recetor hídrico), Tentúgal – O5 e Luso – A12 e domínios indiferenciados das Unidades hidrogeológicas da Orla Mesocenozóica Ocidental e do Maciço Antigo.

O desenvolvimento desta dissertação baseou-se na recolha de elementos bibliográficos, de informação documental, em trabalho de campo (foram previamente selecionados e estudados 100 pontos de água e feitas análises físico-químicas *in situ* em 43 desses pontos) e de gabinete.

A geologia da BhRC é variada e oscilam entre o Pré-câmbrico e o Cenozóico. As formações mais antigas pertencentes ao Maciço Antigo localizam-se a E e estão separadas pela Falha Porto-Tomar das formações sedimentares da Orla Mesocenozóica Ocidental. Todo o domínio apresenta um forte controlo estrutural, cujas direções principais são N-S e direções conjugadas NNE-SSW a ENE-WSW e NNW-SSE a NW-SE. A altimetria e os relevos montanhosos (*horsts* e *grabens*) evidenciam esse facto.

A nível hidrogeológico, ocorrem na BhRC numerosas unidades aquíferas integrantes dos Sistemas aquíferos e Unidades hidrogeológicas indiferenciadas acima referidas. O presente estudo destaca as unidades aquíferas freáticas, de escala local, associadas aos depósitos cenozóicos (destacam-se os depósitos aluvionares) e aos níveis mais grosseiros das formações triásicas.

Os elementos piezométricos quantificados (das unidades aquíferas superiores) apontam para um fluxo hídrico proveniente essencialmente de E, mas com contribuição significativa do setor W, seguindo uma direção preferencial para NW. A piezometria geral da região revelou alguma estabilidade dos níveis freáticos. As maiores variações piezométricas situam-se na região abrangida pelo Sistema Aquífero Cársico da Bairrada - O3.

A caracterização hidrogeoquímica *in situ* feita em 45 pontos de água (poços, nascentes e “minas de água”), assim como os dados de análises de água captada em furos, apontam para a ocorrência de quatro possíveis origens ou tipos de circulação da água subterrânea local: (1) relação muito próxima com a água proveniente da precipitação atmosférica; (2) tempo de residência da água no maciço rochoso; (3) interação física e química com substrato

rochoso e unidades de sistemas aquíferos (crescente grau de mineralização da água) e (4) suscetibilidade à alteração antrópica.

Relativamente às massas de água subterrâneas e aos recursos hídricos na BhRC, conclui-se que os aquíferos freáticos, embora comportando um armazenamento hídrico reduzido quando comparado com os volumes armazenados nas unidades produtivas dos Sistemas aquíferos locais, apresentam elevada importância quer na recarga aquífera regional, quer nas atividades antrópicas locais, como por exemplo, nas atividades agrícolas. Muitas destas massas de água freáticas evoluem nas unidades geológicas de cobertura Plio-quadernárias (Dinis, 2004).

Os estudos geológico-estruturais e hidrogeológicos desenvolvidos permitiram: (1) incrementar o conhecimento da hidrodinâmica e das massas de água locais; (2) avançar com a hipótese de ocorrer um prolongamento das unidades produtivas do Sistema aquífero de Tentúgal; (3) formular um conjunto de medidas e procedimentos para a melhor gestão e uso dos recursos hídricos na BhRC.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica de Ribeira de Canedo (Mealhada); Hidrogeologia; Sistemas e unidades aquíferas; Hidrodinâmica subterrânea; Hidrogeoquímica.

ABSTRACT

This present research work has as main objectives the study of hydrodynamics and water availability, particularly underground availabilities, in the SE sector of Mealhada County, more specifically in the areas of the Ribeira de Canedo hydrographic basin (BhRC). The studied area has a total flat area of 38 km², and includes domains that are part of the O3 - Bairrada Karst Aquifer system (the most extensive and largest water receptors), O5 - Tentúgal and A12 - Luso Aquifers systems and undifferentiated domains of the hydrogeological units of the Western Meso-cenozoic Sedimentary Basin and the Hesperic Massif.

This master dissertation was based on bibliographic elements, on documental information, in field work (these 100 water points were previously selected and studied *in-situ* which 43 of these were carried out to *in situ* physical-chemical analyses) and at the office.

The geology of BhRC is varied and with geological ages range between Precambrian to Cenozoic. The oldest formations are located at E and belongs to the Hesperic Massif. These oldest formations are separated by the Porto-Tomar Fault from the sedimentary formations of the Western Meso-cenozoic Sedimentary Basin. It has a strong structural control, through main orientations according to N-S and conjugated directions NNE-SSW to ENE-WSW and NNW-SSE to NW-SE, with altimetry and mountainous reliefs (horsts and grabens) to evidence that.

At the hydrogeologic level, this region of BhRC were intersected by numerous Aquifers unities, integrating the aquifer systems and undifferentiated hydrogeological units mentioned above. This present study highlights the local phreatic aquifers unities, at the local scale, associated with Cenozoic deposits (alluvial deposits) and the coarser levels of the triassic formations.

The quantified piezometric elements (from the upper aquifer units) point to a water flow coming essentially from E, but with a significant contribution from sector W, following a preferred direction for NW. The general piezometry of the region revealed some stability of the groundwater tables. The greater piezometric variations are registered in areas coinciding with the region covered by the O3 - Bairrada Karst Aquifer System.

From the *in situ* hydrogeochemistry survey in 45 water points (wells, springs and "water mines"), as well as the data of analyzes of water abstracted from the boreholes, point to the occurrence of four possible sources or types of groundwater circulation location: (1) very close relation with the water coming from the atmospheric precipitation; (2) residence time of the water in the rocky massif; (3) physical and chemical interaction with bedrock and units of aquifer systems (growing degree of mineralization of water) and (4) susceptibility to anthropogenic change.

Concerning the groundwater bodies and water resources in the BhRC, it is concluded that phreatic water masses, although with reduced water storage when compared to the volumes stored in the productive units of the local Aquifer systems, are of high importance in the regional aquifer, either in local anthropogenic activities, for example in agricultural activities. Many of these phreatic water masses evolve in the plio-quadernary geological cover units (Dinis, 2004).

The geological-structural and hydrogeological studies developed, allowed: (1) to increase knowledge of hydrodynamics and local water bodies; (2) to proceed with the hypothesis that there is an extension of the productive units of the Aquifer System of Tentúgal; (3) formulate a set of measures and procedures for the best management and use of water resources in BhRC.

Key Words: Ribeira de Canedo hydrographic basin (Mealhada); Hydrogeology; Underground hydrodynamic; Aquifer Systems and Unities; Hydrogeochemistry.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABELAS	XVII
ACRÓNIMOS E SIGLAS	XIX
1. Introdução	1
1.1 A água – Importância, distribuição e consumos	1
1.2 A água – O desenvolvimento económico e o papel da Hidrogeologia	2
1.3 Área de estudo	5
1.4 Objetivos	5
1.5 Metodologias	6
1.5.1 Fluxograma - Quadro metodológico	7
1.5.2 Pesquisa bibliográfica, documental e cartográfica	8
1.5.3 Estudos anteriores (estado de arte)	8
1.5.4 Atividades de campo	9
1.5.5 Análise e tratamento de dados	10
2. Enquadramento Geral	11
2.1 Geográfico e Administrativo	11
2.2 Hidrografia e Climatologia da Bacia do rio Vouga	13
2.2.1 Enquadramento Hidrográfico	13
2.2.2 Enquadramento Climatológico	14
2.2.3 Precipitação atmosférica	16
2.2.4 Escoamento superficial	17
2.2.5 Temperatura atmosférica	18
2.2.6 Humidade	19
2.2.7 Evaporação	20
2.2.8 Evapotranspiração potencial	21
2.2.9 Classificação climática	22
2.3 Enquadramento Geológico	23
2.3.1 Maciço Antigo	23
2.3.2 Orla Mesocenozóica Ocidental	26
2.4 Enquadramentos tectónico-estrutural e geomorfológico	27
2.4.1 Enquadramento tectónico-estrutural regional	27
2.4.2 Neotectónica	29

2.4.3	Enquadramento tectónico-estrutural local	29
2.4.4	Geomorfologia regional	31
2.4.5	Geomorfologia local	32
2.5	Enquadramento Hidrogeológico	34
2.5.1	Unidade do Maciço Antigo	34
2.5.2	Unidade da Orla Ocidental	36
3.	Enquadramento do domínio em estudo	37
3.1	Enquadramento topográfico	37
3.2	Enquadramento hidrográfico	40
3.2.1	Caracterização morfométrica da bacia	44
3.3	Enquadramento geológico	46
3.4	Enquadramento hidrogeológico	58
3.4.1	Sistema Aquífero Cársico da Bairrada (O3)	59
3.4.2	Sistema Aquífero de Tentúgal (O5)	61
3.4.3	Sistema Aquífero Luso (A12)	62
3.4.4	Outras unidades aquíferas	63
3.4.4.1	Unidades aquíferas da Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia do Vouga (O01 RH4)	64
3.4.4.2	Unidades aquíferas do Maciço Antigo Indiferenciado da Bacia do Vouga (A0 x1RH4)	65
3.5	Tipo, Uso e Ocupação do solo	66
3.5.1	Tipos de solos	66
3.5.2	Uso e Ocupação do solo	68
3.6	Fontes potencialmente contaminantes da água	71
3.7	Balanço hídrico da Bacia Hidrográfica Ribeira de Canedo	72
4.	Hidrogeologia local	75
4.1.	Enquadramento da zona estudada nos Sistemas Aquíferos e Unidades hidrogeológicas indiferenciadas regionais	75
4.2	Classificação hidrogeológica das formações locais	76
4.3	Caracterização hidrogeológica	79
4.3.1	Pontos de água e medições efetuadas	79
4.3.2	Resultados, tratamento e interpretação	90
4.3.2.1	Piezometria das unidades aquíferas freáticas	90
4.3.3	Enquadramento hidrogeológico das nascentes locais	99
4.4	Caracterização físico-química in situ dos aquíferos freáticos	102
4.4.1	Temperatura da água	106
4.4.2	pH da água	107

4.4.3	Conductividade elétrica da água	109
4.4.4	Enquadramento hidrogeoquímico nos Sistemas Aquíferos e Unidades Hidrogeológicas regionais	112
4.5	Modelo hidrogeológico conceptual	115
4.5.1	Hidrodinâmica superficial e subterrânea.....	121
4.6	Unidades aquíferas Cenozóicas e os Recursos hídricos locais	125
4.7	Proposta de redefinição de limites do Sistema Aquífero de Tentúgal	131
5.	Conclusões e Recomendações	135
5.1	Conclusões.....	135
5.2	Recomendações.....	138
5.3	Captação de águas subterrâneas.....	140
5.4	Trabalhos Futuros.....	142
5.5.	Importância da água na indústria local.....	144
6.	Referências Bibliográficas	145

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1: DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA NA SUPERFÍCIE TERRESTRE (IN CHARTSBIN.COM).	1
FIGURA 1.2: DISPONIBILIDADE HÍDRICA GLOBAL PER CAPITA (IN CHARTSBIN.COM).	2
FIGURA 1.3: FLUXOGRAMA EXPLICATIVO DAS METODOLOGIAS E SEQUÊNCIAS DE TRABALHO ADOTADAS.	7
FIGURA 2.1: ENQUADRAMENTO DO DOMÍNIO ESTUDADO NAS NTUS DE PORTUGAL CONTINENTAL E DA REGIÃO CENTRO (ADAPTADO DE CCDRC, 2017 E PORDATA, 2017).	12
FIGURA 2.2: LOCALIZAÇÃO DA ZONA ESTUDADA NA REDE DE DRENAGEM DO RIO VOUGA (ADAPTADO DE FERREIRA, 2000).	13
FIGURA 2.3: VARIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO ATMOSFÉRICA MÉDIA ANUAL (1) E TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA (2) EM PORTUGAL CONTINENTAL (IN FERREIRA, 2000).	15
FIGURA 2.4. VARIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL NA ÁREA DE ESTUDO - BACIA HIDROGRÁFICA DE RIBEIRA DE CANEDO (ADAPTADO DO MAPA DA PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS VOUGA, MONDEGOS E LIS DO PGBH, 2012).	16
FIGURA 2.5: VARIAÇÃO DO ESCOAMENTO MÉDIO ANUAL NA ÁREA DE ESTUDO - BACIA HIDROGRÁFICA DE RIBEIRA DE CANEDO (ADAPTADO DO MAPA DE ESCOAMENTO MÉDIO ANUAL DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS VOUGA, MONDEGOS E LIS DO PGBH, 2012).	17
FIGURA 2.6: VARIAÇÃO DAS TEMPERATURAS MÉDIAS ANUAIS DA ÁREA DE ESTUDO - BACIA HIDROGRÁFICA DE RIBEIRA DE CANEDO ADAPTADO DO MAPA DE ESCOAMENTO MÉDIO ANUAL DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS VOUGA, MONDEGOS E LIS DO PGBH, 2012).	18
FIGURA 2.7: MAPA DE HUMIDADE MÉDIA ANUAL DA ÁREA DE ESTUDO - BACIA HIDROGRÁFICA DE RIBEIRA DE CANEDO (ADAPTADO DO MAPA DE HUMIDADE MÉDIA ANUAL DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS VOUGA, MONDEGOS E LIS DO PGBH, 2012).	19
FIGURA 2.8: MAPA DA EVAPORAÇÃO DE PICHE MÉDIA ANUAL DA ÁREA DE ESTUDO - BACIA HIDROGRÁFICA DE RIBEIRA DE CANEDO (ADAPTADO DO MAPA DA EVAPORAÇÃO DE PICHE MÉDIA ANUAL DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS VOUGA, MONDEGOS E LIS DO PGBH, 2012).	20
FIGURA 2.9: MAPA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÉDIA ANUAL DA ÁREA DE ESTUDO - BACIA HIDROGRÁFICA DE RIBEIRA DE CANEDO (ADAPTADO DO MAPA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÉDIA ANUAL DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS VOUGA, MONDEGOS E LIS DO PGBH, 2012).	21
FIGURA 2.10: LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NO MAPA DE CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE KOPPEN – GEIGER DE PORTUGAL CONTINENTAL (IN IPMA, 2017).	22
FIGURA 2.11: MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO DE ESTUDO (ADAPTADO DO MAPA GEOLÓGICO DE PORTUGAL DO EX-IGM E ATUAL LNEG E DO MAPA GEOLÓGICO DO PGBH, 2012).	23

FIGURA 2.12: MAPA COM AS UNIDADES TECTÓNICO-ESTRUTURAIS DA PENÍNSULA IBÉRICA (ADAPTADO DE RIBEIRO ET AL., 1979 IN PGBH, 2012).	24
FIGURA 2.13: MAPA REGIONAL DE ALINHAMENTOS ESTRUTURAIS DA BACIA LUSITÂNICA (IN KULLBERG ET AL., 2013).	28
FIGURA 2.14: FALHAS PRESENTES NA ÁREA DE ESTUDO (CRIADO EM ARCGIS® 10.2.2, COM BASE NA CARTOGRAFIA DE DINIS, 2004).	30
FIGURA 2.15: REPRESENTAÇÃO DAS ÁREAS MORFOESTRUTURAIS, NA REGIÃO EM ESTUDO (ADAPTADO DE DINIS, 2004).	32
FIGURA 2.16: LOCALIZAÇÃO DO DOMÍNIO ESTUDADO NO MAPA DE PORTUGAL COM AS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS (ADAPTADO DE SNIRH, 2000).	35
FIGURA 3.1: FRAGMENTO DA CARTA MILITAR ESCALA 1/25000, FOLHA Nº 219, REPRESENTANDO A ÁREA ESTUDADA (CRIADO EM SOFTWARE ARCGIS® 10.2.2).	38
FIGURA 3.2: MODELO DIGITAL DO TERRENO DA ÁREA ESTUDADA - BACIA HIDROGRÁFICA DE RIBEIRA DE CANEDO (IMAGEM CRIADA EM SOFTWARE ARCGIS® 10.2.2, COM BASE CARTA MILITAR Nº219).	39
FIGURA 3.3: REDE DE DRENAGEM NA ZONA EM ESTUDO - BACIA HIDROGRÁFICA DE RIBEIRA DE CANEDO (CRIADA EM SOFTWARE ARCGIS® 10.2.2 E OBTIDA COM BASE NA CARTA MILITAR Nº219, À ESCALA 1/25000).	40
FIGURA 3.4: MAPA DA ZONA ESTUDADA - BACIA HIDROGRÁFICA DE RIBEIRA DE CANEDO - COM REPRESENTAÇÃO DO MODELO DIGITAL DO TERRENO E DA REDE DE DRENAGEM (IMAGEM CRIADA EM SOFTWARE ARCGIS® 10.2.2, COM BASE DE DADOS DIGITAIS E VETORIZADOS DA ALTIMETRIA DA CARTA MILITAR Nº219).	42
FIGURA 3.5: PERFIL LONGITUDINAL DA RIBEIRA DE CANEDO DESDE A ORIGEM DOS VÁRIOS TRIBUTÁRIOS NAS CUMEADAS DA SERRA DO BUÇACO ATÉ À CONFLUÊNCIA COM A RIBEIRA DE LENDIOSA, OBTIDO EM SOFTWARE ARCGIS® 10.2.2. O GRÁFICO INFERIOR MOSTRA DE FORMA EXCLUSIVA O PERFIL LONGITUDINAL DA RIBEIRA, DESDE A SUA ORIGEM COMO CURSO DE ÁGUA UNITÁRIO.	43
FIGURA 3.6: ASPETOS DAS VÁRIAS ZONAS E RIBEIRAS LOCALIZADAS NA ÁREA DE ESTUDO TIRADAS EM ABRIL (1-4) E JUNHO (5-6). FOTOS 1 E 2 CORRESPONDEM À MESMA RIBEIRA (RIBEIRA DE RAPOSEIRA), SITUADA NA REGIÃO ESTE, QUE AO LONGO DO SEU TRAJETO, SENSIVELMENTE 1 KM ENTRE CADA FOTOGRAFIA, SE OBSERVOU ESTAR SECA PARA JUSANTE, COINCIDENTE COM A PASSAGEM DE SUBSTRATO ARENÍTICO E DETRÍTICO PARA CALCÁRIO. FOTOS 3 E 4 CORRESPONDEM A UMA ZONA CENTRAL DA ÁREA DE ESTUDO, NA REGIÃO DE PAMPILHOSA DO BOTÃO, CONSTITUÍDA POR ZONAS DE CHARCOS DE ÁGUA. FOTOS 5 E 6, CORRESPONDEM À ZONA MAIS W DA BACIA HIDROGRÁFICA, CARATERIZADO POR TER VARIAÇÕES DE SUBSTRATO ROCHOSO PERMEÁVEL E IMPERMEÁVEL E ONDE OS NÍVEIS FREÁTICOS SE ENCONTRAM REGULARMENTE MUITOS PRÓXIMOS DA SUPERFÍCIE.	45

FIGURA 3.7: CARTA GEOLÓGICA DA ZONA ESTUDADA - BACIA HIDROGRÁFICA DA RIBEIRA DE CANEDO (CONSTRUÍDA COM SOFTWARE ARCGIS® 10.2.2 A PARTIR DA CARTA GEOLÓGICA À ESCALA 1:50.000 DE DINIS, 2004).	46
FIGURA 3.8: CORTE GEOLÓGICO A-B, INTERPRETATIVO DA ÁREA EM ESTUDO (CRIADO EM SOFTWARE ARCGIS® 10.2.2, COM BASE NA CARTOGRAFIA GEOLÓGICA DE DINIS, 2004).	56
FIGURA 3.9: ASPETOS DAS DIVERSAS LITOLOGIAS E ESTRUTURAS TECTÓNICAS EXISTENTES NA ZONA ESTUDADA: (1-2) - AFLORAMENTO DE UNIDADES GEOLÓGICAS DA FORMAÇÃO DO QUARTZITO ARMORICANO; (3) - UNIDADES XISTENTAS DA SÉRIE NEGRA, (4) - ZONA DE CISALHAMENTO DA FALHA PORTO - TOMAR, (5) - UNIDADES DETRÍTICAS E CALCÁRIAS DO GRUPO DE SILVES, (6) - UNIDADES DE CALCÁRIOS DOLOMÍTICOS DA FORMAÇÃO DE COIMBRA, (7-8) - FORMAÇÃO DE FURADOURO, (9) - FORMAÇÃO DE OIÃ E (10) - UNIDADE GEOLÓGICA AREIAS E CONGLOMERADOS DE CARQUEIJO, COM CAMADA DE ALTERAÇÃO SUPERFICIAL. ...	57
FIGURA 3.10: MAPA EXPRESSANDO OS SISTEMAS AQUÍFEROS E OS DOMÍNIOS INDIFERENCIADOS QUE EVOLUEM NA ZONA ESTUDADA (ADAPTADO DE PGBH, 2012).	58
FIGURA 3.11: IMAGEM REFERENTE AOS TIPOS SOLOS ENCONTRADOS NO CONCELHO DE MEALHADA (IN PLANO DIRETOR MUNICIPAL DE MEALHADA, CAP.7, 2013).	66
FIGURA 3.12: IMAGEM CRIADA EM SOFTWARE ARCGIS® 10.2.2 PARA OS DIVERSOS TIPOS DE SOLOS DA REGIÃO, COM BASE NA CLASSIFICAÇÃO FAO (ADAPTADO A PARTIR DE ELEMENTOS DIGITAIS E VETORIZADOS DISPONÍVEIS NO PORTAL DIGITAL DO ATLAS DO AMBIENTE, SNIAMB – APA, 2017).	67
FIGURA 3.13: CARTA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO AO LONGO DO CONCELHO DA MEALHADA (IN PDM DE MEALHADA, CAP.7, 2013).	69
FIGURA 3.14: EXCERTO DA CARTA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO PARA A ZONA DA BACIA HIDROGRÁFICA DE RIBEIRA DE CANEDO (ADAPTADO DA CARTA DE USO E OCUPAÇÃO DE SOLOS DISPONÍVEL NO PGBH, 2012).	70
FIGURA 4.1: DISTRIBUIÇÃO DOS SETORES DA ZONA ESTUDADA OCUPADOS COM SISTEMAS AQUÍFEROS E UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS INDIFERENCIADAS REGIONAIS. (IMAGEM CRIADA EM SOFTWARE ARCGIS® 10.2.2.; ADAPTADO DE DADOS VETORIZADOS DISPONÍVEIS EM SNIAMB – APA).	76
FIGURA 4.2: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS PONTOS DE ÁGUA EM ESTUDO (MAPA CRIADO EM SOFTWARE ARCGIS® 10.2.2, COM BASE NOS ELEMENTOS DISPONÍVEIS NAS SEGUINTE TABELAS 4.4 À 4.8, DEVIDAMENTE VETORIZADOS).	80
FIGURA 4.3: EXEMPLO DOS VARIADOS PONTOS DE ÁGUA ANALISADOS NO CAMPO: POÇOS (1 - 2), LINHAS DE ÁGUA (3), CHARCOS (4) E NASCENTES (5 - 6).	83
FIGURA 4.4: COLUNA ESTRUTURAL DOS FUROS E REINTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA ENCONTRADA NA ÁREA DOS FUROS DE SANTO AMARO (F1) E CARVALHEIRAS (F5), QUE SE INSEREM DENTRO DA	

REGIÃO EM ESTUDO. ELEMENTOS CRIADOS EM SOFTWARE ARCGIS® 10.2.2, COM BASE EM ELEMENTOS DISPONIBILIZADOS PELA CÂMARA MUNICIPAL DE MEALHADA.	88
FIGURA 4.5: MAPA DA DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DOS DIVERSOS PONTOS ALVO DE ANÁLISE DE CAMPO E POSTERIOR MODELAÇÃO COMPUTACIONAL, EXCETUANDO OS FUROS E A MINA DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO, ANTERIORMENTE REFERIDOS (CRIADO EM SOFTWARE ARCGIS® 10.2.2 COM BASE DOS DADOS ALTIMÉTRICOS GEORREFERENCIADOS).....	90
FIGURA 4.6: CARTA DE FLUXO SUBTERRÂNEO PARA ABRIL DE 2017 (A) E JUNHO DE 2017 (B), PARA TODA A ÁREA ESTUDADA, ENGLOBALANDO VÁRIAS UNIDADES AQUIFÉRAS FREÁTICAS LOCAIS (CARTAS CRIADAS NO SOFTWARE SURFER® 12.6.963 DA GOLDEN SOFTWARE, BASEADAS NO MÉTODO DA “KRIGAGEM”).	94
FIGURA 4.7: CARTA DA VARIAÇÃO DOS NÍVEIS PIEZOMÉTRICOS NA ÁREA DE ESTUDO NO PERÍODO COMPREENDIDO ENTRE AS CAMPANHAS DE ABRIL E JUNHO DE 2017 (MODELO CRIADO NO SOFTWARE SURFER® 12.6.963 DA GOLDEN SOFTWARE, COM BASE NO MÉTODO DA “KRIGAGEM”.....	95
FIGURA 4.8: IMAGENS DAS NASCENTES N1 (A) E N2 (B), ALVO DE AUMENTO DE CAUDAL ENTRE CAMPANHAS DE CAMPO.	99
FIGURA 4.9: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS NASCENTES ALVO DE ESTUDO DE VARIAÇÃO DE CAUDAL NA REGIÃO DA BHRC.....	100
FIGURA 4.10: EXEMPLOS DOS PONTOS DE ÁGUA ANALISADOS IN SITU, NOMEADAMENTE NASCENTES (1-2) E POÇOS (3 E 4) E (5) EQUIPAMENTOS UTILIZADOS - MEDIDOR MULTIPARÂMETROS (WTW® PH 330I E WTW® COND 330I).	103
FIGURA 4.11: MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE ÁGUA – POÇOS, EXSURGÊNCIAS, “MINA DE ÁGUA”, CHARCOS, LOCAIS EM LINHAS DE ÁGUA E FUROS – UTILIZADOS NA CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA IN SITU DA ÁGUA.....	104
FIGURA 4.12: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS VALORES DE TEMPERATURA NOS PONTOS DE ÁGUA ALISADOS NA ZONA ESTUDADA.	107
FIGURA 4.13: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS VALORES DE PH DA ÁGUA NOS PONTOS DE ÁGUA ALISADOS NA ZONA ESTUDADA.	108
FIGURA 4.14: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS VALORES DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (CE) NOS PONTOS DE ÁGUA ALISADOS NA ZONA ESTUDADA.	110
FIGURA 4.15: MAPA COM PROJEÇÃO DOS VALORES DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DOS PONTOS DE ÁGUA ANALISADOS NOS SISTEMAS AQUIFEROS E DOMÍNIOS INDIFERENCIADOS DAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS REGIONAIS.	112
FIGURA 4.16: PERFIL GEOLÓGICO-ESTRUTURAL COM DESENVOLVIMENTO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL PARA A REGIÃO ESTUDADA - BACIA HIDROGRÁFICA DE RIBEIRA DE CANEDO (MODELO CRIADO EM SOFTWARE ARCGIS® 10.2.2).	124

FIGURA 4.17: MAPA GEOLÓGICO DA DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES GEOLÓGICAS DE COBERTURA CENOZÓICA (MAPA CRIADO EM SOFTWARE ARCGIS® 10.2.2 COM BASE NA CARTOGRAFIA DE DINIS, 2004).....	126
FIGURA 4.18: IMAGENS DE PORMENOR DAS REGIÕES ONDE PODERÁ HAVER MAIOR CONTRIBUTO HÍDRICO DAS UNIDADES GEOLÓGICAS PLIO-QUATERNÁRIAS (CENOZÓICO) E OS RESPETIVOS PONTOS DE ÁGUA ONDE SE OBSERVARAM DIFERENÇAS HIDRODINÂMICAS (MAPA CRIADO EM SOFTWARE ARCGIS® 10.2.2 COM BASE NA CARTOGRAFIA DE DINIS (2004).	127
FIGURA 4.19: MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL DEMONSTRATIVO DA HIDRODINÂMICA DAS UNIDADES AQUÍFERAS PLIO-QUATERNÁRIAS (CENOZÓICO) QUE OCORREM NA REGIÃO DA VILA DE PAMPILHOSA DO BOTÃO. MODELO CRIADO EM SOFTWARE ARCGIS® 10.2.2.	130
FIGURA 4.20: CARTA GEOLÓGICA DA ÁREA DE ESTUDO NAS ENVOLVENTES DA VILA DE PAMPILHOSA DO BOTÃO (CRIADO EM SOFTWARE ARCGIS® 10.2.2).	131
FIGURA 4.21: CORTE GEOLÓGICO INTERPRETATIVO CD, DA REGIÃO DA VILA DE PAMPILHOSA DO BOTÃO. CRIADO EM SOFTWARE ARCGIS® 10.2.2.	132
FIGURA 4.22: SISTEMAS AQUÍFEROS E SETORES INDIFERENCIADOS DAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS PRESENTES NA ÁREA DE ESTUDO: A- LIMITES ATUAIS; B- LIMITES REDESENHADOS E PROPOSTOS (HIPÓTESE DE CONTINUIDADE LATERAL PARA NE DAS UNIDADES AQUÍFERAS DO SISTEMA AQUÍFERO DE TENTÚGAL - O5). CRIADO EM SOFTWARE ARCGIS® 10.2.2.....	133

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 3.1: DADOS MORFOMÉTRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DA RIBEIRA DE CANEDO (BHRC), COM BASE NOS ELEMENTOS DE CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS, DISPONÍVEL EM AZEVEDO (2016).	44
TABELA 3.2: BALANÇO HÍDRICO PARA A ÁREA ESTUDADA - BACIA HIDROGRÁFICA RIBEIRA DE CANEDO.....	72
TABELA 4.1: CARACTERIZAÇÃO DAS FORMAÇÕES GEOLÓGICAS CLASSIFICADAS COMO AQUÍFERAS QUE EVOLUEM NA ZONA ESTUDADA.....	77
TABELA 4.2: CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DAS FORMAÇÕES GEOLÓGICAS CLASSIFICADAS COMO NÃO-AQUÍFERAS QUE EVOLUEM NA ZONA ESTUDADA.	77
TABELA 4.3: CLASSIFICAÇÃO CRONOSTRATIGRÁFICA DOS SISTEMAS AQUÍFEROS E DOMÍNIOS INDIFERENCIADOS DAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS REGIONAIS.	78
TABELA 4.4: ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E ALTIMETRIA DE SUPERFÍCIE DOS POÇOS INVENTARIADOS PARA O ESTUDO.....	81
TABELA 4.5: ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E ALTIMETRIA DE SUPERFÍCIE DAS NASCENTES E “MINA DE ÁGUA” INVENTARIADAS PARA O ESTUDO.	82
TABELA 4.6: ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E ALTIMETRIA DE SUPERFÍCIE DOS LOCAIS EM LINHAS DE ÁGUA IDENTIFICADOS PARA O ESTUDO.	82
TABELA 4.7: ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E ALTIMETRIA DE SUPERFÍCIE DOS CHARCOS INVENTARIADOS PARA O ESTUDO.....	82
TABELA 4.8: ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E ALTIMETRIA DE SUPERFÍCIE DOS FUROS DE ÁGUA UTILIZADOS, NECESSÁRIOS PARA O ESTUDO.....	82
TABELA 4.9: PARÂMETROS FÍSICOS E HIDROGEOLÓGICOS DOS FUROS EM ESTUDO, COM BASE NA DOCUMENTAÇÃO FORNECIDA PELA CÂMARA MUNICIPAL DE MEALHADA.	86
TABELA.4.10: PARÂMETROS FÍSICOS REFERENTES AOS CHARCOS DE ÁGUA INVENTARIADOS NO TRABALHO DE CAMPO.	91
TABELA 4.11: PARÂMETROS FÍSICOS EM LOCAIS DE LINHAS DE ÁGUA INVENTARIADOS AO LONGO DO TRABALHO E CAMPO.	91
TABELA 4.12: PARÂMETROS FÍSICOS REFERENTES AOS POÇOS INVENTARIADOS NO TRABALHO DE CAMPO.	92
TABELA 4.13: PARÂMETROS FÍSICOS DAS NASCENTES INVENTARIADAS NAS DUAS CAMPANHAS DE CAMPO.	93
TABELA 4.14: QUADRO RESUMO DE INTERPRETAÇÃO HIDROGEOLÓGICA COM BASE NOS DADOS DE CAMPO E NAS CARTAS DE FLUXO E DE VARIAÇÃO DOS NÍVEIS PIEZOMÉTRICOS ENTRE AS DUAS CAMPANHAS DE CAMPO DE ABRIL E JUNHO DE 2017 (FIGURAS 4.5 E 4.6), PARA A ZONA ESTUDADA.	97

TABELA 4.15: RESULTADOS DAS MEDIÇÕES (ABRIL E JUNHO) PARA A VARIAÇÃO DE CAUDAL, REGISTRADOS NAS NASCENTES IDENTIFICADAS NA ÁREA ESTUDADA (LOCALIZAÇÃO NA FIGURA 4.9).....	100
TABELA 4.16: RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA IN SITU DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA ZONA ESTUDADA NOS DIVERSOS PONTOS DE ÁGUA: CHARCOS – C, LINHAS DE ÁGUA – L, POÇOS – P E NASCENTES – N E MINA DE ÁGUA - M (VER LOCALIZAÇÃO NA FIGURA 4.11)...	105
TABELA 4.17: VALORES DE ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS EFETUADAS EM AMOSTRAS DE ÁGUA DE FUROS E DE UMA “MINA DE ÁGUA” PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO DO CONCELHO DA MEALHADA. RETIRADO DE “MEMÓRIA DESCRITIVA DAS CAPTAÇÕES DO MUNICÍPIO DE MEALHADA (2016)”.....	106
TABELA 4.18: BALANÇO HÍDRICO E ESTIMATIVA DA RECARGA AQUÍFERA SETORIZADA PARA OS DOMÍNIOS DA ZONA EM ESTUDO OCUPADOS COM OS SISTEMAS AQUÍFEROS E ÁREAS INDIFERENCIADAS DAS UNIDADE HIDROGEOLÓGICAS.	116
TABELA 4.19: PROCESSOS DE RECARGA E DESCARGA AQUÍFERAS REFERENTES AO SISTEMA AQUÍFERO CÁRSICO DA BAIRRADA (O3) NA ZONA EM ESTUDO.....	118
TABELA 4.20: PROCESSOS DE RECARGA E DESCARGA AQUÍFERAS AFETOS AO SISTEMA AQUÍFERO DE TENTÚGAL (O5) NA ZONA EM ESTUDO.....	119
TABELA 4.21: PROCESSOS DE RECARGA E DESCARGA AQUÍFERAS AFETOS AO SISTEMA AQUÍFERO DO LUSO (A12) NA ZONA EM ESTUDO.	120
TABELA 4.22: PROCESSOS DE RECARGA E DESCARGA AQUÍFERAS RELATIVOS AOS DOMÍNIOS DAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DA ORLA OCIDENTAL INDIFERENCIADA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO VOUGA (O01 RH4) LOCALIZADOS NA ZONA EM ESTUDO.	120
TABELA 4.23: PROCESSOS DE RECARGA E DESCARGA AQUÍFERAS RELATIVOS AOS DOMÍNIOS DAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DO MACIÇO ANTIGO INDIFERENCIADO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO VOUGA (A0 X1RH4) NA ZONA EM ESTUDO	121
TABELA 4.24 PROCESSOS DE RECARGA E DESCARGAS AQUÍFERAS REFERENTES ÀS UNIDADES AQUÍFERAS FREÁTICAS ASSOCIADAS AOS DEPÓSITOS E FORMAÇÕES CENOZÓICAS NA ÁREA DE ESTUDO.....	129

ACRÓNIMOS E SIGLAS

APA	Agência Portuguesa do Ambiente
APA - ARH do Centro	Agência Portuguesa do Ambiente – Administração da Região Hidrográfica do Centro.
BH	Bacia Hidrográfica
BhRC	Bacia Hidrográfica de Ribeira de Canedo
BL	Bacia Lusitânica
CRNOA	Centro Nacional de Reconhecimento e Ordenação Agrário
EUROSTAT	Gabinete de Estatística da União Europeia
FAO	Food and Agriculture Organization
MA	Maciço Antigo
MDT	Modelo Digital do Terreno
NF	Nível Freático
NP	Nível Piezométrico
NUTS	Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos
PDM	Plano Diretor Municipal
PGBH (2012)	Plano de Gestão de Bacias Hidrográficas (2012)
RAN	Reserva Agrícola Nacional
REN	Reserva Ecológica Nacional
RH4	Rede hidrográfica dos Rios Vouga, Mondego e Liz, definido e abrangido pelo Plano de Gestão de Bacias Hidrográficas (2012)
SNIAmb	Sistema Nacional de Informação de Ambiente
ZCI	Zona Centro Ibérica
ZOM	Zona Ossa Morena
VMA	Valor Máximo Admitido
VMR	Valor Máximo Recomendável

1. Introdução

1.1 A água – Importância, distribuição e consumos

A molécula de água ocorre em grandes quantidades no universo, sobre os mais variados estados ou formas. A Terra não é exceção e em todo o seu ciclo hidrológico, encontramos água na atmosfera, na hidrosfera e na litosfera, tanto no estado sólido, gasoso ou líquido (Matthess, 1982).

Cerca de 71% da superfície terrestre está coberta por água e dessa parcela, cerca de 96,5% correspondem a “salgada” (água dos oceanos). Os cerca de 3,5% pertence à parcela da água doce, onde se insere a dita água potável para consumo humano, encontrando-a em lagos terrestres, rios, glaciares, no ar, nos solos e claro nos aquíferos. Em termos gerais a água subterrânea dos aquíferos, representa cerca de 0,76% da água total disponível no planeta e cerca de 30,1% da fatia de água potável. Em comparação a água superficial (rios e lagos) constituem apenas 0,0003% da água total e 0,009% da água doce (*in* USGS). Por este motivo, deve-se olhar para os aquíferos como uma excelente fonte de água potável, regeneradora e manutenção da água superficial e tão essencial para toda a biodiversidade e vida e necessidades humanas.

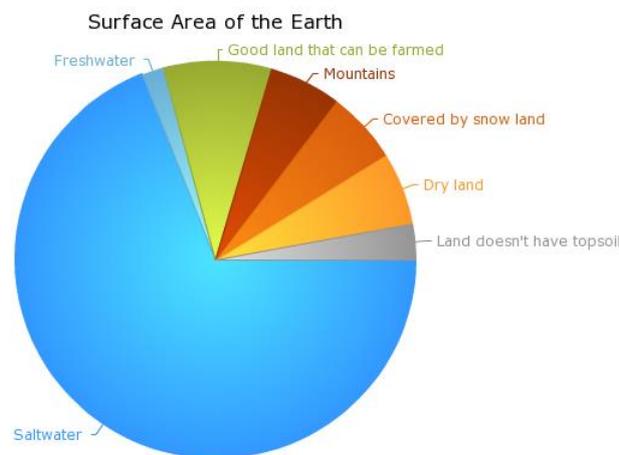


Figura 1.1: Distribuição de água na superfície terrestre (*in* Chartsbin.com).

O consumo per capita a nível mundial está a aumentar a ritmo exponencial, implicando uma reutilização e uma economia circular, com uma gestão sustentada deste recurso natural imprescindível.

Segundo dados da FAO (Food and Agriculture Organization of United Nations), a disponibilidade de reservas hídricas potável ronda os 24,776m³/per capita/ano ou cerca de 24 776 000 litros por pessoa. Mas claro que não se encontra uniformemente distribuída, onde a grande parcela deste valor a situa-se nas zonas de latitudes mais altas e inacessíveis, e em

contrapartida, os países subsarianos a registarem os valores per capita mais baixos do mundo.

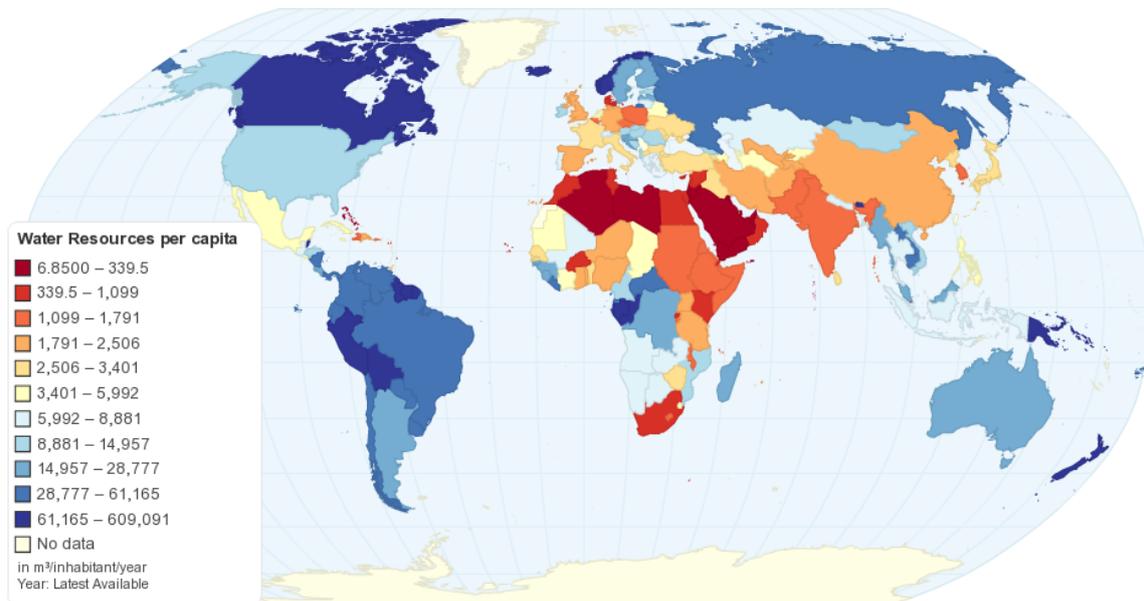


Figura 1.2: Disponibilidade hídrica global per capita (in Chartsbin.com).

Portugal situa-se nos países medianos quanto à disponibilidade de reservas renováveis, que segundo os dados estimados da FAO em 2008, registava cerca de 6434 m³/per capita/ano e 3671 m³/per capita/ano em 2014, com evidente descida para cerca de metade. De forma equivalente e segundo os mesmos dados da FAO, Portugal utiliza cerca de 10% a 20% das suas reservas.

1.2 A água – O desenvolvimento económico e o papel da Hidrogeologia

A água é um fluído absolutamente vital e essencial para o desenvolvimento de qualquer tipo de Vida na Terra (biodiversidade terrestre) e muito importante para o Ser Humano, quer para consumo próprio, quer para uso em fins múltiplos no desenvolvimento da sociedade, como na agricultura, na pecuária e na indústria em geral.

É considerada como recurso natural, abundante em todos os estados físicos e um bem renovável à escala da vida humana, devendo ser gerida de forma cuidada e sustentável a curto e longo prazo, pois o que é agora um recurso renovável no futuro pode deixar de o ser, se não se aplicarem boas práticas de sustentabilidade.

Implica assim, a prática de boas medidas de gestão cuidada e sustentável para evitar esgotar, contaminar ou sobre explorar reservas ao ponto de a exploração ou uso dessa massa de água ser irreversível, inviável ou insustentável.

Outra condição para a aplicação de boas medidas de gestão da água é o facto de o planeta estar a mudar, devido à emissão de gases poluentes e com efeito de estufa, refletindo-

se no aquecimento global acelerado e indiretamente no degelo massas polares de água doce que se misturarão com a do mar, implicando perda de volume de água doce e/ou potável. Todos estes fatores, aliada a uma sobre-exploração ou exploração descuidada, poderão condicionar a oferta deste recurso e das reservas de água doce e/ou potável.

Ao longo dos anos as populações e suas atividades foram desenvolvendo e fixando consoante a abundância deste recurso natural renovável. E esta região de Portugal Continental não é exceção. As populações e atividades fixaram-se e desenvolveram-se aonde abundava mais água.

A zona sudeste do Concelho da Mealhada, como grande parte do Concelho de Mealhada comprova tudo isto, em tempos houve a fixação da população em zonas próximas a nascentes e ribeiras, onde a nível superficial ocorria água de forma abundante, que ao longo dos tempos e para complementar as secas mais severas, captavam água subterrânea das unidades aquíferas freáticas. Tal era possível nas zonas de ribeiras e nos seus aluviões onde a abundância de água era grande e os níveis freáticos estavam próximos da superfície (fácil extração) e eram praticamente estáveis ao longo de todo o ano.

A atividade industrial que no século XX se instalou nesta região, pertenciam às indústrias do barro, madeiras e química, todas elas com elevada demanda e carência de água. Instalaram-se nas regiões mais baixas e próximas a ribeiras, nascentes e charcos naturais, onde ocorre água de forma abundante e para onde todo o escoamento de água superficial e subterrâneo se direciona.

No entanto, devido a vários fatores sociais, económicos e da maior ou menor disponibilidade de recursos geológicos e hídricos, levou ao fecho destas indústrias e aparecimento de novas indústrias, modernas e mais eficientes, recorrendo por vezes à utilização da água captada em furos. Para isso, a gestão e conhecimento dos recursos hídricos locais são fundamentais, para o contínuo desenvolvimento da indústria, população e da sociedade da região.

Nesta vertente surge a Hidrogeologia, que é um ramo das Geociências, com crescimento visível nos últimos 150 anos e que se dedica ao estudo das massas e dos recursos hídricos subterrâneos. Um hidrogeólogo é um profissional que se dedica essencialmente à investigação, prospeção e avaliação das águas subterrâneas, nomeadamente ao nível dos volumes armazenados, da distribuição e da qualidade, assim como da relação entre a composição física e química com as formações geológicas, com o meio biológico e antrópico (Almeida *et al.*, 2000). Procura encontrar e dimensionar as melhores zonas para captação hídrica subterrânea, tentando conciliar com as melhores

soluções ou técnicas mais económicas (Almeida *et al.*, 2000) e do ponto de vista ambiental mais sustentáveis.

Na importante componente da Geologia e Hidrogeologia, esta dissertação visa incrementar e complementar o conhecimento hidrogeológico e dos recursos hídricos do Concelho da Mealhada, nomeadamente do setor sudeste, dando a conhecer a hidrodinâmica das massas de água superficiais e subterrâneas, a importância dos aquíferos da região, os seus comportamentos e particularidades ao longo do ano hidrológico e claro a determinação das zonas mais abundantes em água e as que expressam maiores riscos.

O desenvolvimento desta dissertação seguiu os procedimentos usuais, nomeadamente a investigação de bibliografia, os trabalhos de campo, procedendo ao levantamento geológico, dos níveis piezométricos e a interpretação e a modelação hidrogeológica conceptual.

1.3 Área de estudo

A área de estudo situa-se no Concelho de Mealhada, mais especificamente no seu setor sudeste, na fronteira física do Concelho e Distrito de Coimbra. A seleção e delimitação deste domínio de estudo baseou-se na bacia hidrográfica de Ribeira de Canedo, que da confluência com a Ribeira de Lendiosa, constituem o setor inicial do Rio Cértima. Este domínio insere-se na grande bacia hidrográfica do rio Vouga (RH4).

Constitui uma zona com cerca de 38km² de área plana, com grande variabilidade geológica, tectónica, morfológica e topográfica. Trata-se de uma região com vasta heterogeneidade hidrogeológica, tanto na constituição, tipologia e hidrodinâmica das massas de água subterrâneas e superficiais.

A escolha deste tema e local de estudo tiveram como base: (1) a implementação de um protocolo de estágio curricular entre o Departamento de Ciências da Terra – FCTUC, da Universidade de Coimbra, e a Câmara Municipal de Mealhada, no âmbito do estudo e avaliação dos recursos hídricos na região; (2) ser um setor com poucos estudos científicos aprofundados, nos domínios da hidrogeologia e dos recursos hídricos; (3) a existência de algum de conhecimento geológico e hidrogeológico da região; (4) abranger a zona de residência do autor e ser uma região com interesse na geologia e hidrogeologia, tornando um trabalho mais estimulante, motivador e enriquecedor; (5) de se situar na região Centro Litoral do país e a respetiva proximidade geográfica com a Universidade de Coimbra; (6) pela disponibilidade e facilidade de acesso ao campo e a recursos bibliográficos, essenciais para esta dissertação e todo o trabalho de campo necessário e (7) poder dar um contributo para o conhecimento mais aprimorado desta região em particular.

1.4 Objetivos

Esta dissertação tem como objetivo fulcral a caracterização e avaliação dos recursos hídricos da região sudeste do Concelho da Mealhada, coincidente com a área de bacia hidrográfica de Ribeira de Canedo. Pretende-se avaliar e correlacionar a relação entre as massas de água aquíferas e as superficiais, e interpretar a hidrodinâmica das massas de água subterrâneas e dos sistemas e unidades aquíferos no setor.

Em função da prioridade, os objetivos propostos dividem-se em dois tipos: principais (estratégicos) e secundários (táticos).

Principais (estratégicos)

- a) Avaliação e caracterização dos aquíferos e massas de água locais;
- b) Avaliação dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos;

- c) Apresentação de propostas para a melhor gestão e uso da água (proteção de massas de água e captações existentes; locais e processos para a implantação de novas captações, etc).

Secundários (táticos):

- a) Enquadramento físico regional e local da área de estudo (topografia, hidrografia, climatologia, uso e ocupação do solo);
- b) Caracterização geológica e hidrogeológica da área em análise;
- c) Caracterização físico-química da água, superficial e subterrânea;
- d) Interpretação de resultados e criação de modelos hidrogeológicos conceptuais;
- e) Caracterização de massas água locais e respetivos tipos de usos da água;

Com o desenvolvimento desta dissertação e de todo trabalho implícito na caracterização e avaliação dos recursos hídricos subterrâneos, pretende-se aumentar o conhecimento desta região, criar e fomentar medidas complementares para o uso e consumo eficiente da água.

1.5 Metodologias

As metodologias de um trabalho correspondem aos diversos procedimentos e métodos que foram utilizados ao longo das várias fases de desenvolvimento desta dissertação, para se atingir de forma otimizada, os objetivos propostos. Deste modo as metodologias adotadas para o desenvolvimento desta dissertação e de todo o trabalho realizado foram as seguintes:

- a) Levantamento do Estado de Arte e pesquisa bibliográfica;
- b) Análise e reconhecimento de campo, aos níveis topográfico, geológico, hidrográfico, hidrogeológico;
- c) Reconhecimento e seleção de pontos de água: poços, nascentes, pontos em linhas de água, furos e minas de água;
- d) Recolha de amostras e medições *in situ*: níveis piezométricos, caudais, temperatura, condutividade elétrica e pH.
- e) Processamento, análise e tratamento de dados com recurso a software computacional;
- f) Construção de elementos gráficos e cartográficos e modelação hidrodinâmica e hidrogeoquímica;
- g) Avaliação dos recursos hídricos na região.

1.5.1 Fluxograma - Quadro metodológico

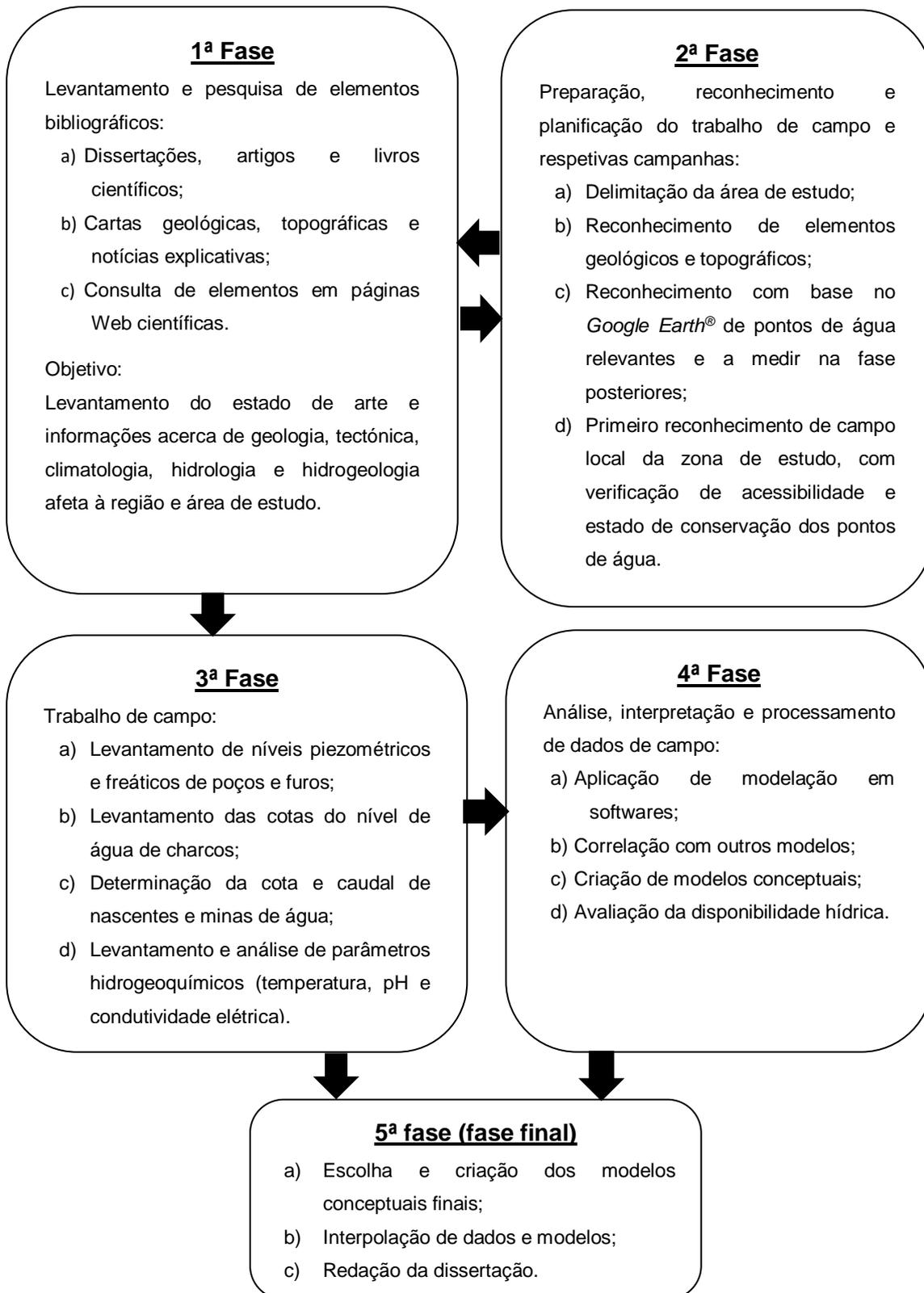


Figura 1.3: Fluxograma explicativo das metodologias e sequências de trabalho adotadas.

1.5.2 Pesquisa bibliográfica, documental e cartográfica

Todo o levantamento do estado de arte focou-se na procura e tratamento de bibliografia a partir de artigos científicos, dissertações de mestrado e doutoramento, livros e páginas científicas e/ou estatais na Internet. Incidiu-se sobretudo no desenvolvimento das temáticas de enquadramentos geológicos e tectónicos, geomorfológicos, hidrogeológicos, hidrológicos, climatológicos e tratamento de dados hidrológicos e hidrogeológicos afetos à área de estudo e ao trabalho de campo.

Realizou-se o levantamento de elementos cartográficos, recorrendo à Carta militar nº 219, à escala 1:25.000 e a Cartas geológicas (1: 50.000) das áreas em redor disponíveis (19-A, 19-C e 19-D), bem como das respetivas Notícias explicativas, da Carta geológica de Dinis (2004), à escala 1:50.000. Recorreu-se também à Carta de solos do Atlas do Ambiente de Portugal Continental e a formatos digitais destas cartas vetorizadas na plataforma do SNIAmb.

Fez-se o levantamento de elementos digitais e vetorizados de: Sistemas de aquíferos, tipo, uso e ocupação de solos, rede de drenagem através da plataforma digital do Atlas do Ambiente (SNIAmb-APA) e de dados fornecidos pela Câmara Municipal de Mealhada.

1.5.3 Estudos anteriores (estado de arte)

Especificamente para o domínio em estudo, não existem trabalhos científicos no ramo de hidrogeologia. No entanto, para a região enquadrante existem os trabalhos referentes à caracterização de Bacias hidrográficas e aos Sistemas aquíferos, nomeadamente (1) todo o trabalho realizado para o Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas dos Rios Vouga, Mondego e Lis (2012); (2) Ribeiro, L., Condesso de Melo, M. T., Nascimento, J., Buxo, A., Barreiras, N., Miguéns, F., Mendes, P. – Breve Síntese Sobre as Águas Subterrâneas nos Planos de Gestão das Bacias Hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Liz. CVRM – Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. 10p.; na vertente hidrogeológica, de destacar (3) todo o trabalho desenvolvido por Almeida, C.; Mendonça J. J. L.; Jesus, M. R.; Gomes A. J. (2000) – Sistemas de Aquíferos de Portugal Continental, para as unidades hidrogeológicas indiferenciados Antigo do Orla Mesocenozóica e Maciço Antigo e os Sistemas aquíferos Cársico da Bairrada (O3), de Tentúgal (O5), e Luso (A12) e (4) todo o trabalho realizado para o Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas dos Rios Vouga, Mondego e Lis (2012).

No âmbito da geologia há que destacar alguns estudos, tais como: (1) a tese de doutoramento de Dinis, P. A. (2004) – “Evolução Pliocénica e Quaternária do vale do Cértima; (2) as folhas 19-A e 19-D da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000, de Barbosa *et al.*, (1998) e Soares *et al.*, (2005), respetivamente. Na área da cartografia geológica e geomorfológica, de destacar o excelente e detalhado esboço de cartografia geológica, à escala

1:50000, realizado por Dinis (2004), com base na Carta Corográfica do Instituto Geográfico e Cadastral, nº16-C, 16-D, 19- A, 19-B, à escala 1/50000,

Na componente topográfica há que realçar a Folha N.º 219, da Carta Militar de Portugal à escala 1:25.000.

No âmbito da hidrogeologia local, destaca-se o documento “Memória descritiva das Captações do Município de Mealhada - Autorização de Utilização dos Recursos Hídricos (2016)”, também facultado pela Câmara Municipal de Mealhada.

Na componente do estudo dos solos local, importa destacar os documentos disponibilizados pela Câmara Municipal de Mealhada, nomeadamente a consulta do “Capítulo 7 - Análise Biofísica”, do Plano Diretor Municipal de Mealhada (2013).

1.5.4 Atividades de campo

Toda a atividade de campo realizada para esta dissertação iniciou-se em janeiro de 2017 com reconhecimento de campo e de pontos de água, seguindo-se duas campanhas de campo (1 a 2 semanas cada): uma em abril e outra em junho do corrente ano de 2017, para levantamento e caracterização dos pontos de água anteriormente levantados.

As tarefas realizadas até abril abordaram o reconhecimento de litologias e correspondente correlações de campo, com levantamento de estruturas geológicas (contactos) e tectónicas (falhas), que permitam evidenciar e destacar os condicionamentos geológico-estruturais na dinâmica dos sistemas e unidades aquíferos e por fim o levantamento de todos pontos e linhas de água tais como nascentes, depressões, poços, furos, rios, e minas de água.

As campanhas de campo de abril e junho tiveram como objetivo principal o levantamento e medição dos níveis piezométricos nos diversos pontos de água, e procurar correlacionar e encontrar evidências de interligações entre unidades aquíferas.

Foram identificados 106 pontos de água correspondendo a:

- 57 poços,
- 10 nascentes,
- 1 “mina de água”,
- 5 furos,
- 21 pontos em linhas de água
- 12 pontos em charcos naturais ou construídos pelo Homem (antropogénicos).

Em junho, para além destas atividades, realizou-se também a caracterização físico-química da água (temperatura, pH e condutividade elétrica) em certos pontos de água estratégicos de modo a poder identificar as várias origens e tipologias da água subterrânea, bem como a suscetibilidade à poluição. Foram inventariados 43 pontos, previamente escolhidos, correspondendo a 25 poços, 10 nascentes, 4 linhas de água, 3 charcos e 1 “mina de água”.

1.5.5 Análise e tratamento de dados

Para a realização desta dissertação, foram utilizados programas informáticos para tratamento, processamento e modelação computacional com base nos dados recolhidos no campo, disponíveis em portais digitais, na bibliografia consultada e em elementos disponibilizados pela Câmara Municipal de Mealhada. Utilizaram-se os seguintes *softwares* informáticos:

- a) Ferramentas do Microsoft Office® 365, para estudantes, recorrendo ao Microsoft Word, Excel e PowerPoint (2017) para a elaboração, processamento de dados e criação da apresentação desta dissertação.
- b) Google Earth® 7.1.8 da empresa Google (2017), para escolha preliminar dos pontos de água e posterior georreferenciação em coordenadas de GPS.
- c) ArcGis® 10.2.2 da ESRI (2014), para todo o trabalho de delimitação da bacia hidrográfica, enquadramentos geológicos, hidrogeológicos e hidrográficos, elaboração de modelos com base na altimetria, análise e classificação de dados hidrogeoquímicos de campos, criação de mapas e modelos de classificação, elaboração de perfis geológicos e hidrogeológicos conceptuais.
- d) Surfer® 12.6.963 da Golden Software (2015), para modelar os dados de campo dos níveis piezométricos, e permitir criar cartas de fluxo e hidrodinâmica subterrânea.

2. Enquadramento Geral

Com este capítulo pretende-se enquadrar a área de estudo ao nível regional, nomeadamente nos domínios geográfico e administrativo, climatológico, hidrográfico, geológico e hidrogeológico.

2.1 Geográfico e Administrativo

As NUTS, criada pelo EUROSTAT, juntamente com os diversos Institutos Nacionais de Estatística dos países ou Estados Membros da União Europeia, é um acrónimo e traduz a “Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos”. Constitui a representação de uma divisão administrativa de cada Estado Membro, com a análise estatística a ter por base uma divisão estruturada e coerente do território económico comunitário (PORDATA, 2017).

A divisão administrativa NUTS, subdivide-se por três níveis hierárquicos, e tendo por base informação estatística da demografia de cada Estado Membro. São progressivamente menores e agregam sucessivamente maior número de unidades administrativas semelhantes, contíguas e com menor dimensão.

Assim a NUTS do tipo I é a região territorial que reflete ou classifica o país, região autónoma ou Estado Membro, e conseqüente a mais ampla a nível hierárquico, com níveis populacionais médios entre 3 milhões e 7 milhões de habitantes. A NUTS II é a sub-região que integrante da NUTS I e classifica territórios em função a dimensão demográfica (800 mil a 3 Milhões de habitantes). Por fim a NUTS III, unidade administrativa mais restrita e localizada, cujo os limiares demográficos variam entre 150 mil e 800 mil (INE, 2013)

Segundo o enquadramento administrativo e territorial da CCDRC (Comissão de Coordenação e de Desenvolvimento Regional do Centro), o domínio de estudo (BH Ribeira de Canedo), insere-se em Portugal Continental (NUTS I), na Região Centro (região de Aveiro) (NUTS II) e na sub-região do Baixo Vouga (NUTS III).

A área de estudo localiza-se maioritariamente no Distrito de Aveiro, intersectando uma pequena região pertencente ao distrito e concelho de Coimbra. Enquadra-se no Concelho de Mealhada, abrangendo a Vila de Pampilhosa do Botão e aldeias de Canedo, Carqueijo, Santa Luzia, Travasso, Quinta do Valongo, Pego, Santa Cristina, Louredo e Carvalheiras estando limitado na parte mais sudeste a sudoeste por aldeias e freguesias já pertencentes ao Concelho de Coimbra. Deste modo, abrange a aldeia de Póvoa do Loureiro, Paço, Marmeleira e um pouco da aldeia de Larçã, pertencentes à União de Freguesias de Souselas - Botão.

Toda a gestão destas massas de água superficiais e subterrâneas regionais é feita pelos municípios de Mealhada e Coimbra juntamente com a APA – DPI-ARH Centro.

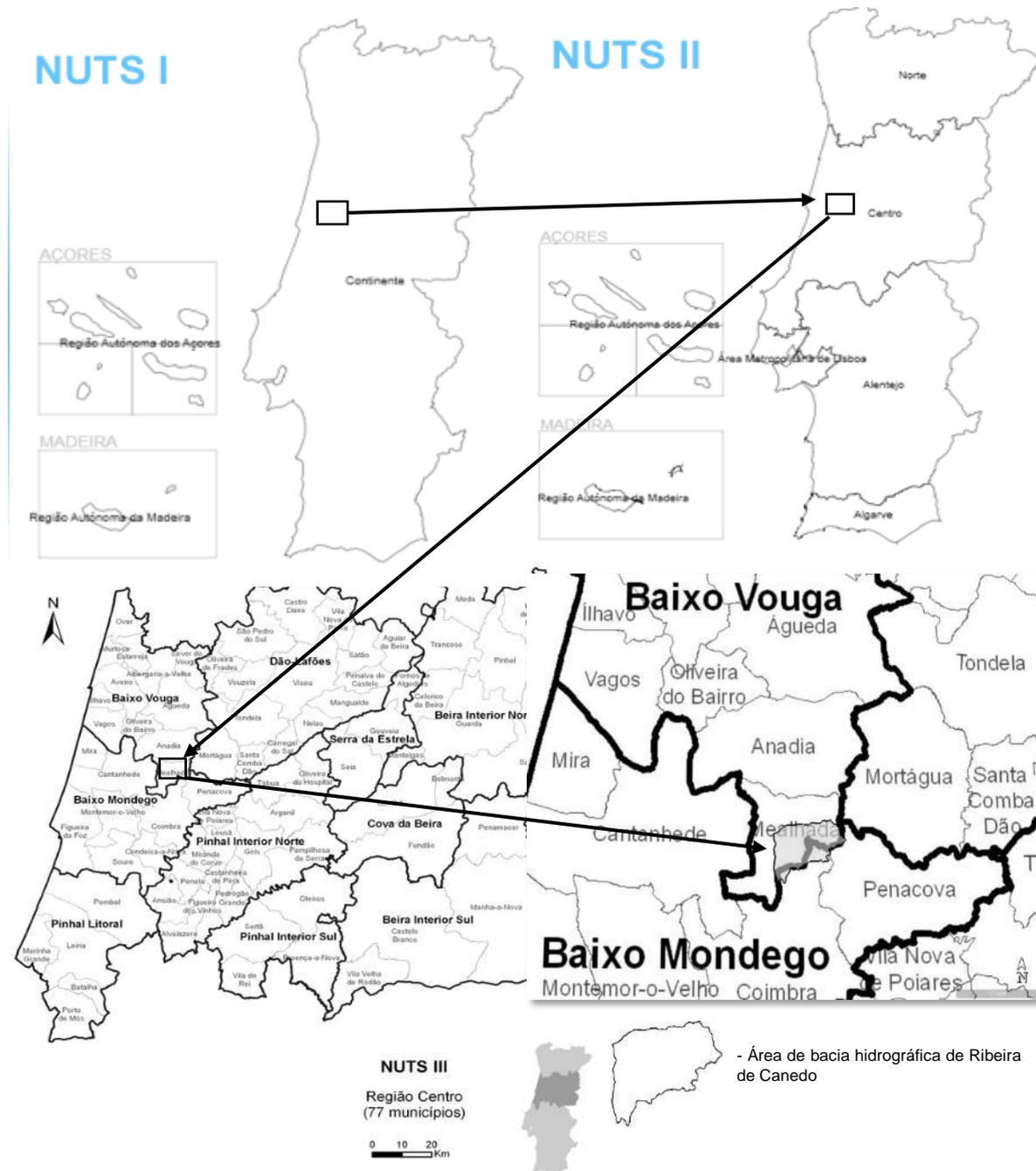


Figura 2.1: Enquadramento do domínio estudado nas NTUS de Portugal Continental e da Região Centro (adaptado de CCDRC, 2017 e PORDATA, 2017).

2.2 Hidrografia e Climatologia da Bacia do rio Vouga

2.2.1 Enquadramento Hidrográfico

A região em estudo corresponde à bacia hidrográfica da Ribeira de Canedo, tributária do rio Cértima. De acordo com o último Plano de Gestão de Bacias Hidrográficas do rio Vouga, Mondego e Lis (PGBH, 2012), a área de estudo enquadra-se na sub-bacia hidrográfica do rio Cértima, afluente do rio Águeda, o qual se insere na bacia hidrográfica do rio Vouga.

De acordo com dados do PGBH (2012) da Agência Portuguesa do Ambiente (APA) e para fins de gestão e administrativos, a bacia hidrográfica do Rio Vouga, enquadra-se na região hidrográfica individualizada RH4, juntamente com as bacias do Mondego, Lis e as Ribeiras do Oeste, cuja a sua gestão administrativa é feita pelo Departamento Regional da APA do Centro – ARH Centro.

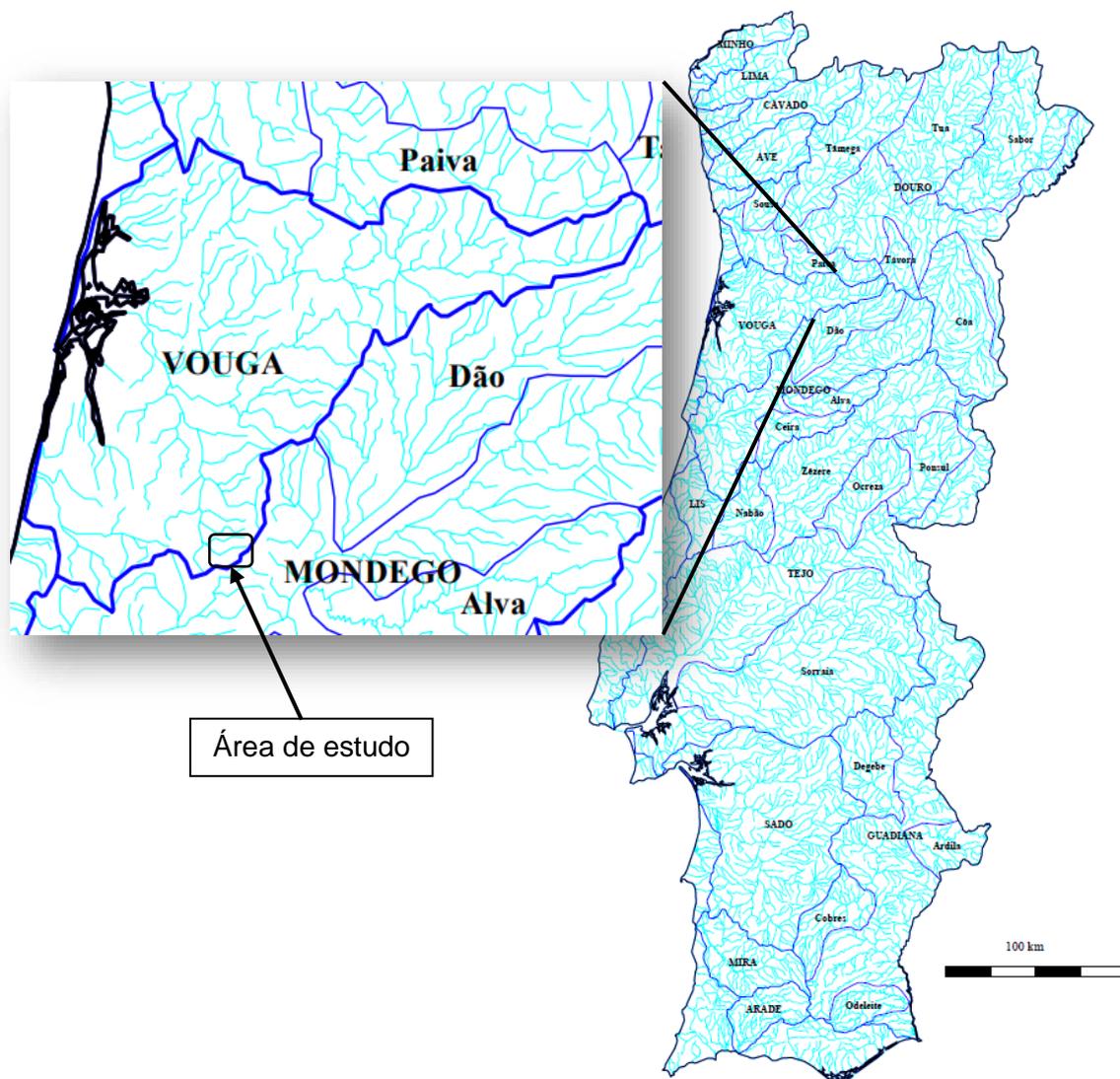


Figura 2.2: Localização da zona estudada na rede de drenagem do Rio Vouga (adaptado de Ferreira, 2000).

O rio Águeda tem como afluentes diretos, os rios Cértima, Alfusqueiro e Agadão. O rio Cértima resulta da confluência da Ribeira de Lendiosa e Ribeira de Canedo (domínio de estudo), e desagua na Pateira de Fermentelos que, por sua vez, integra a rede de drenagem do rio Águeda (Ribeiro, *et al.*, 2013).

2.2.2 Enquadramento Climatológico

O clima de Portugal Continental é influenciado praticamente, na sua totalidade por misturas de influências Atlânticas e Mediterrâneas (Ribeiro *et al.*, 1991a). O domínio Atlântico está mais presente na zona litoral Oeste e Norte de Portugal Continental, enquanto o domínio Mediterrâneo se faz mais sentir a Sul do país.

O clima de Portugal Continental, sobretudo na zona Litoral Centro e Norte, é amplamente influenciado pela Fachada Atlântica, caracterizado por ser um clima do tipo temperado, com prevalência de invernos pouco rigorosos e chuvosos e verões secos e quentes (Rebelo *et al.*, 1990). É importante ainda referir que o domínio da influência atlântica se limita a uma estreita faixa litoral, no Verão, enquanto no Inverno pode alcançar quase todo o território de Portugal Continental (Ferreira, 2000).

Assim, para além da variabilidade destes corredores de massas de ar naturais da dinâmica atmosférica e a maior ou menor influência atlântica, a variabilidade do relevo também tem um papel importante, sobretudo nas zonas mais interiores do país (Brito, 1994; Ferreira, 2000). Assim a orografia do centro de Portugal, mesmo que baixa, constitui um grande fator da modificação climática local, tanto no domínio continental como no domínio tipo atlântico (Ferreira, 2000).

A orografia tem um papel muito importante no clima de Portugal, pois pode funcionar como escudo impedindo que zonas mais centrais sejam afetadas pela Fachada Atlântica, favorecendo a criação de microclimas e variação de grandes amplitudes térmicas no interior do país.

Outra causa associada a estes fenómenos, é a precipitação atmosférica que se faz sentir com maior presença a Norte e Litoral Centro do país, ou seja, regiões fortemente influenciadas e bem demarcadas do domínio da Fachada Atlântica.

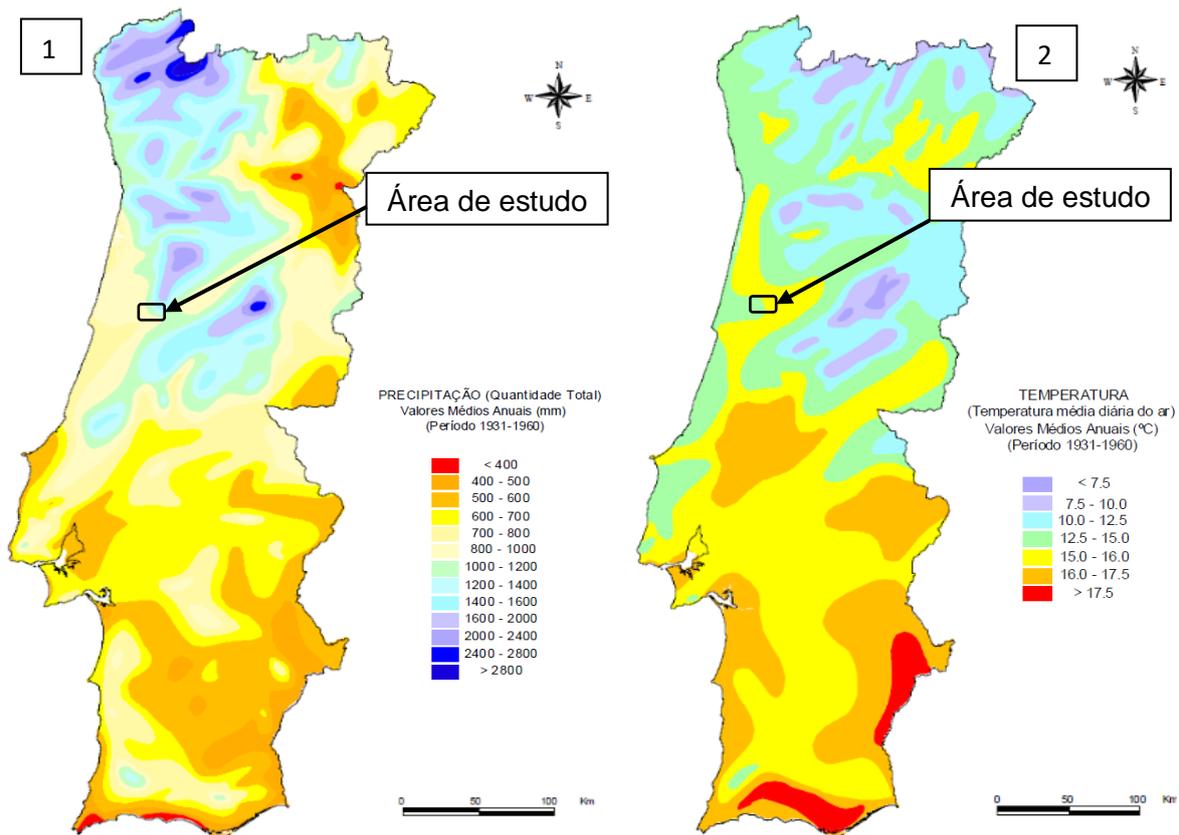


Figura 2.3: Variação da precipitação atmosférica média anual (1) e temperatura média diária (2) em Portugal Continental (*in* Ferreira, 2000).

Com base na Figura 2.3, verifica-se que a precipitação evolui de forma descendente de Norte para Sul, enquanto a temperatura evolui inversamente, fazendo-se notar temperaturas mais altas a Sul do país, muito influenciadas pela proximidade do clima mediterrânico e de fluxos de massas de ar mais quentes de oeste, de origem anticiclónicas e subtropicais. Por outro lado, as temperaturas mais baixas estão associadas a zonas mais húmidas e de domínio Atlântico.

Devido a este clima mediterrâneo, muito marcado com a influência atlântica e a orografia, a precipitação e a temperatura, apresentam grandes variações segundo N - S e W - E, e variabilidade sazonal e inter-anual muito acentuada (IPMA).

Do ponto de vista climatológico, a região do Baixo Vouga (NUTS III), já se caracteriza por amplitudes de temperaturas menores, influenciado pela ação marítima atlântica próxima. Contudo na proximidade da zona de transição para o Alto Vouga, o relevo já começa a ser mais acidentado que as zonas a W, havendo uma influência maior de climas de montanha, fazendo acentuar-se maiores amplitudes térmicas em relação e menor regulação térmica devido do domínio atlântico.

2.2.3 Precipitação atmosférica

Com base nos dados definidos no Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Lis (2012), a precipitação média anual ponderada registada na bacia hidrográfica do rio do Vouga ronda os 1301 mm, sendo mais elevada em comparação com as bacias hidrográficas dos rios Mondego e Lis (1073 mm/ano e 988 mm/ano, respetivamente). Este valor pode variar entre 521mm e 2019 mm para anos seco e húmido respetivamente.

De acordo com os elementos publicados no PGBH (2012), para a Região Hidrográfica 4 (RH4), onde se enquadra o domínio em estudo, a precipitação máxima diária variou entre 39 mm, Ferreira-A-Nova (bacia hidrográfica do Mondego) e os 100 mm em Campia (bacia hidrográfica do Vouga).

Da análise a figura 2.4, adaptada de PGBH (2012), verifica-se que os valores mais altos registados na bacia hidrográfica do rio Vouga se localizam nas zonas montanhosas referentes às serras do Caramulo, Arada e Freita, com valores de precipitação média anual a rondar os 1700 a 1800 mm/ano, enquanto que o valor mínimo de precipitação média anual registado ronda os 1000 mm/ano, nas zonas mais baixas desta bacia hidrográfica e correspondentes à na região do Baixo Vouga Lagunar.

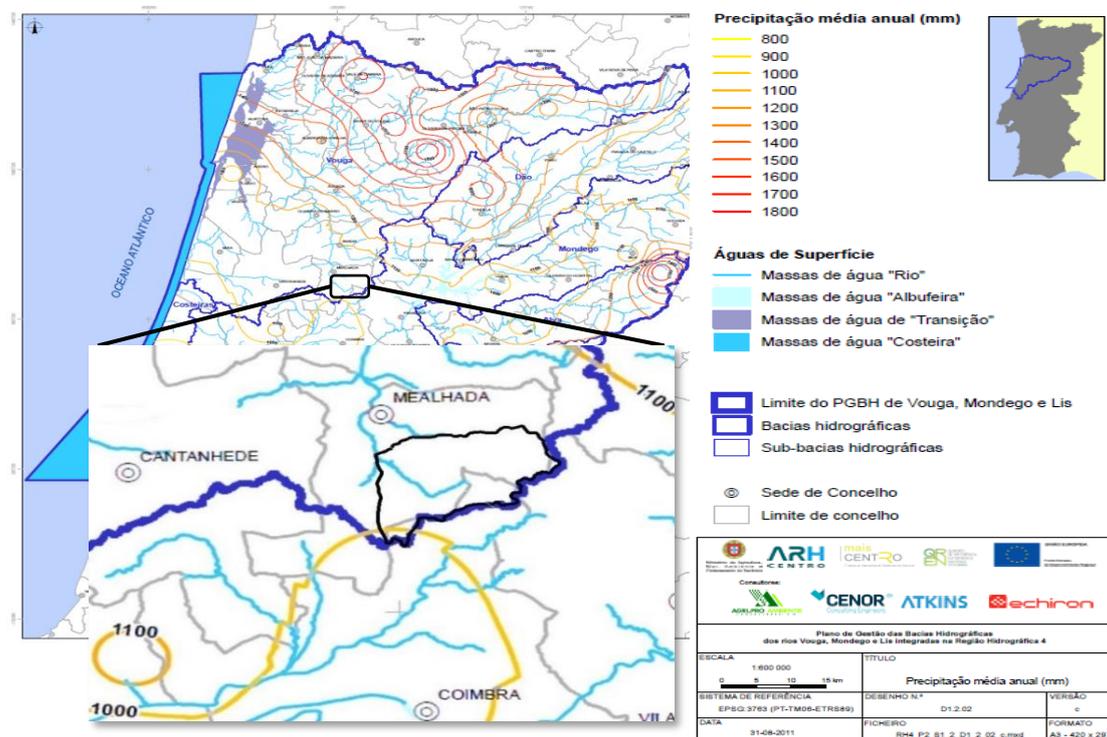


Figura 2.4. Variação da precipitação média anual na área de estudo - bacia hidrográfica de Ribeira de Canedo (adaptado do mapa da precipitação média anual das Bacias hidrográficas dos rios Vouga, Mondegos e Lis do PGBH, 2012).

De acordo com a Figura 2.4, na área em estudo, a precipitação média anual varia entre os 1000 mm e 1100 mm anuais, com os meses de Inverno e Outono a registarem os maiores valores de precipitação média mensal.

2.2.4 Escoamento superficial

O escoamento anual médio gerado na bacia hidrográfica do Vouga ronda os 2609 hm³/ano ou 709 mm/ano (PGBH 2012). Os maiores valores médios anuais de escoamento obtêm-se na região do Maciço Antigo, onde a infiltração é menor, os declives são mais íngremes, favorecendo o escoamento superficial.

De acordo com o PGBH (2012), das bacias hidrográficas da Região Hidrográfica 4 (RH4), a bacia hidrográfica do rio Vouga é a que apresenta um maior escoamento anual médio superficial com 709 mm, enquanto que para as bacias hidrográficas dos rios Mondego e Lis ocorrem valores de 569 mm e 378 mm, respetivamente. Tal facto justifica-se com a sua grande extensão e o grande número de afluentes que apresenta, como também o clima, as regiões climáticas e as variadas litologias que atravessa ao longo do seu percurso.

Na região de estudo, segundo dados do PGBH (2012), o escoamento superficial anual médio registado varia entre 350 mm a 400 mm. Segundo dados mais antigos, apresentados no Altas do Ambiente (2009), os valores de escoamento anual médio rondam os 250 mm/ano para a região em estudo.

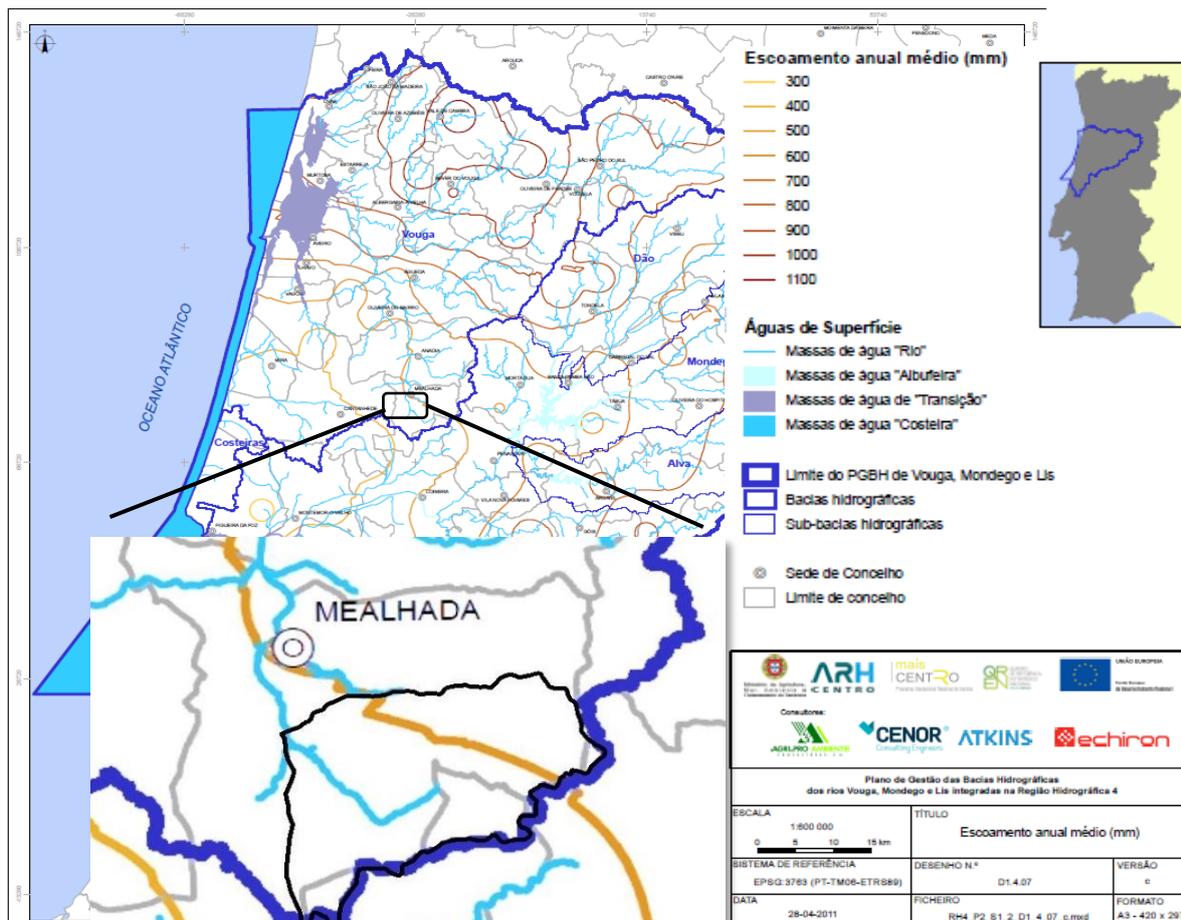


Figura 2.5: Variação do escoamento médio anual na área de estudo - bacia hidrográfica de Ribeira de Canedo (adaptado do mapa de escoamento médio anual das Bacias hidrográficas dos rios Vouga, Mondegos e Lis do PGBH, 2012).

2.2.5 Temperatura atmosférica

De acordo com o PGBH (2012), a temperatura média anual registada na área de estudo – bacia hidrográfica de Ribeira de Canedo – afluente do rio Cértima e pertencente ao domínio de bacia hidrográfica do rio Vouga, ronda os 14°C. A temperatura média do ar varia entre os 9°C nos meses mais frio (dezembro e janeiro) e 19°C, nos meses mais quentes, julho e agosto.

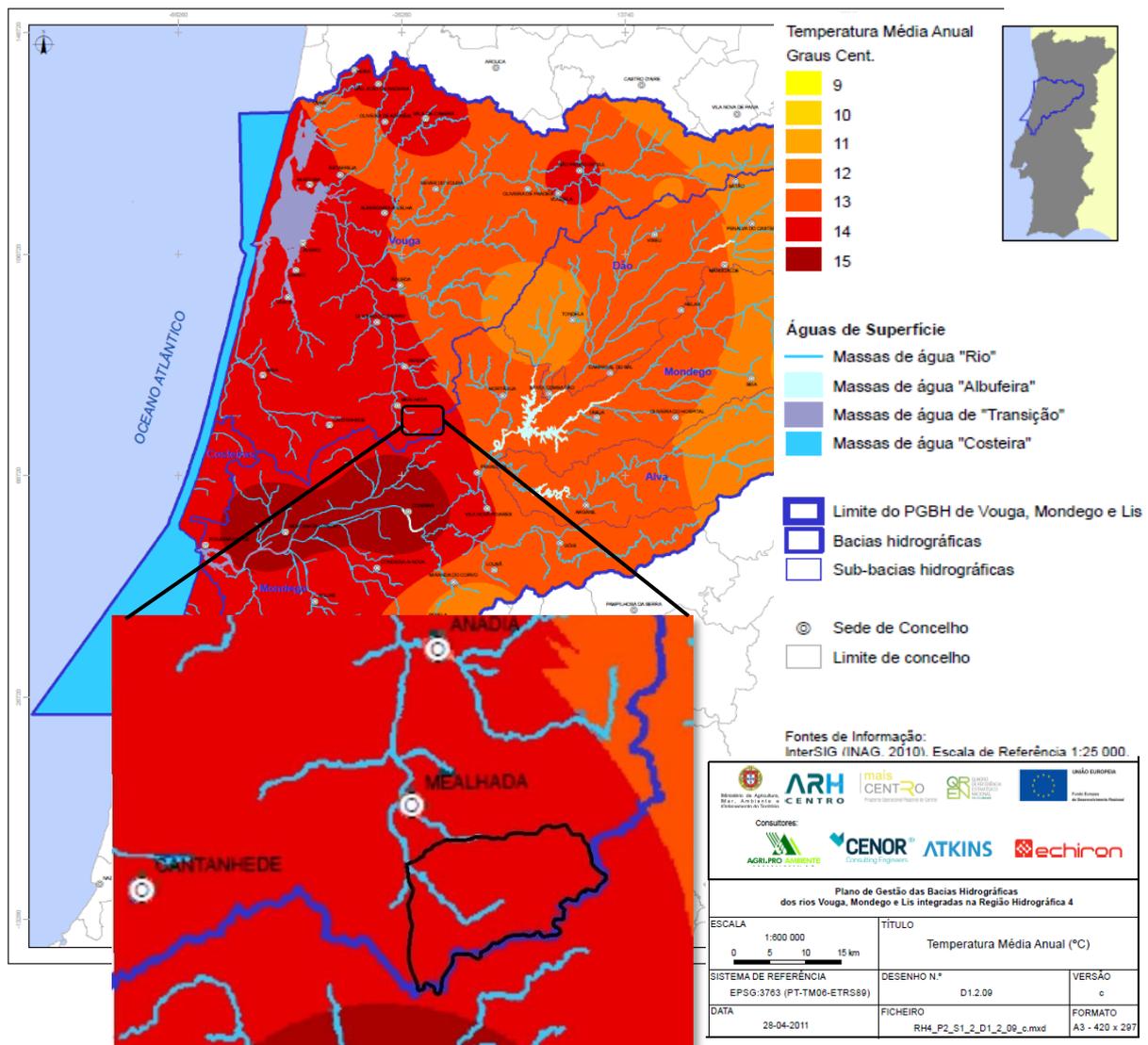


Figura 2.6: Variação das temperaturas médias anuais da área de estudo - bacia hidrográfica de Ribeira de Canedo adaptado do mapa de escoamento médio anual das Bacias hidrográficas dos rios Vouga, Mondegos e Lis do PGBH, 2012).

2.2.6 Humidade

Com base nos dados do PGBH (2012), na bacia hidrográfica do Vouga, a humidade relativa média do ar ponderada varia entre 74% e 84% e juntamente com a bacia hidrográfica do rio Mondego, apresenta valores médios de humidade relativa mensal inferiores, quando comparados com as restantes bacias da região RH4, com a exceção para os meses mais frios (dezembro a fevereiro).

A amplitude da humidade média do ar ao longo do ano é normalmente mais baixa em zonas litorais, quando comparadas com zonas mais interiores e de maiores altitudes que registam maior variação. Nos meses mais quentes a humidade relativa média do ar anda na ordem dos 73% e nos meses mais frios ronda os 85% (PGBH, 2012). Na região em estudo o valor da humidade relativa média anual ronda os 78% e o 80%.

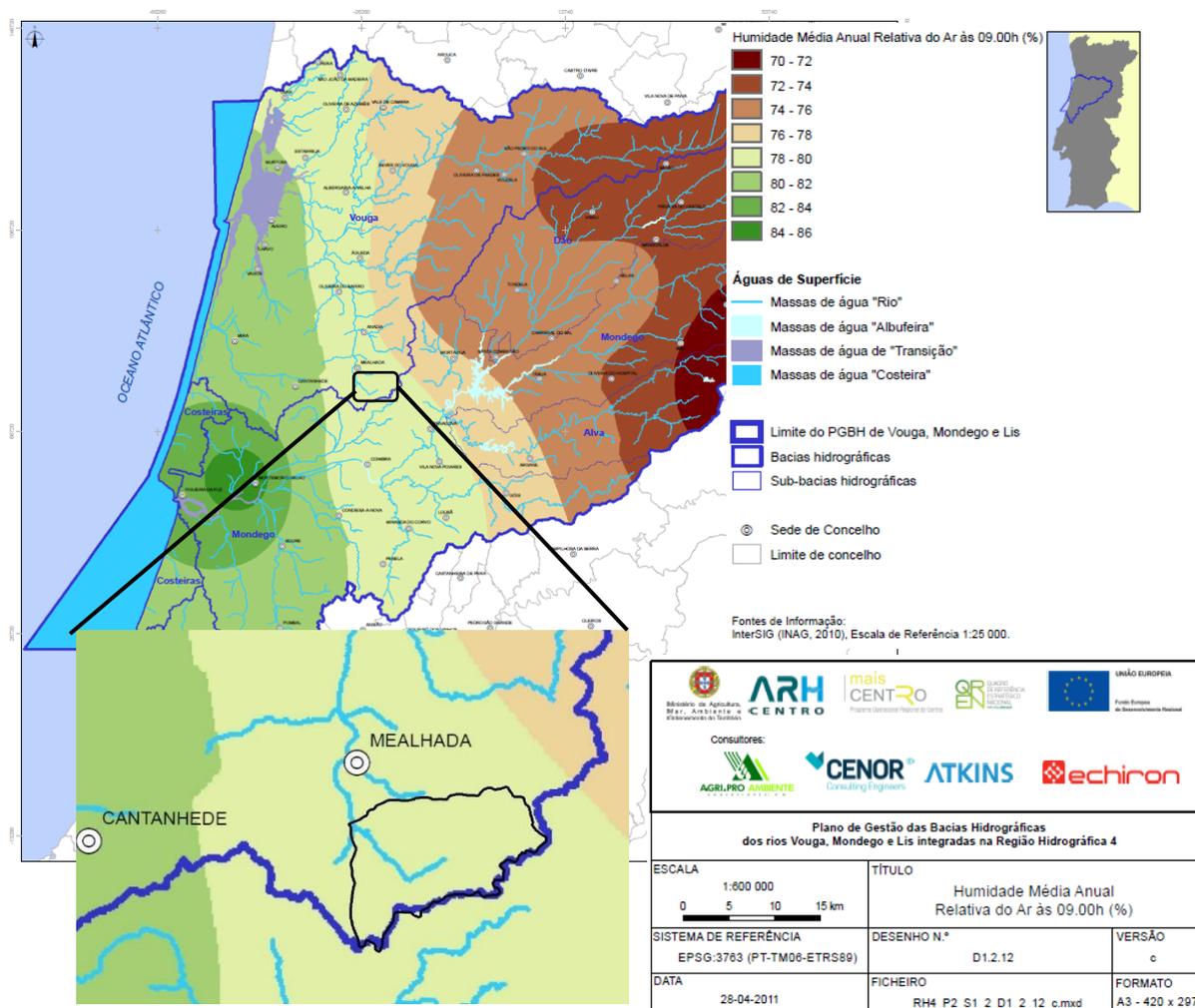


Figura 2.7: Mapa de humidade média anual da área de estudo - bacia hidrográfica de Ribeira de Canedo (adaptado do mapa de humidade média anual das Bacias hidrográficas dos rios Vouga, Mondegos e Lis do PGBH, 2012).

2.2.7 Evaporação

A região em estudo e segundo os dados incluídos no PGBH (2012), a evaporação de piche média anual na região ronda os 993 mm, onde a bacia hidrográfica do rio Mondego regista maior evaporação, em relação às bacias hidrográficas dos rios Vouga e Lis. A área de estudo segue a mesma tendência, com valores de evaporação de piche média anual a rondar entre os 900 e 1000 mm/ano.

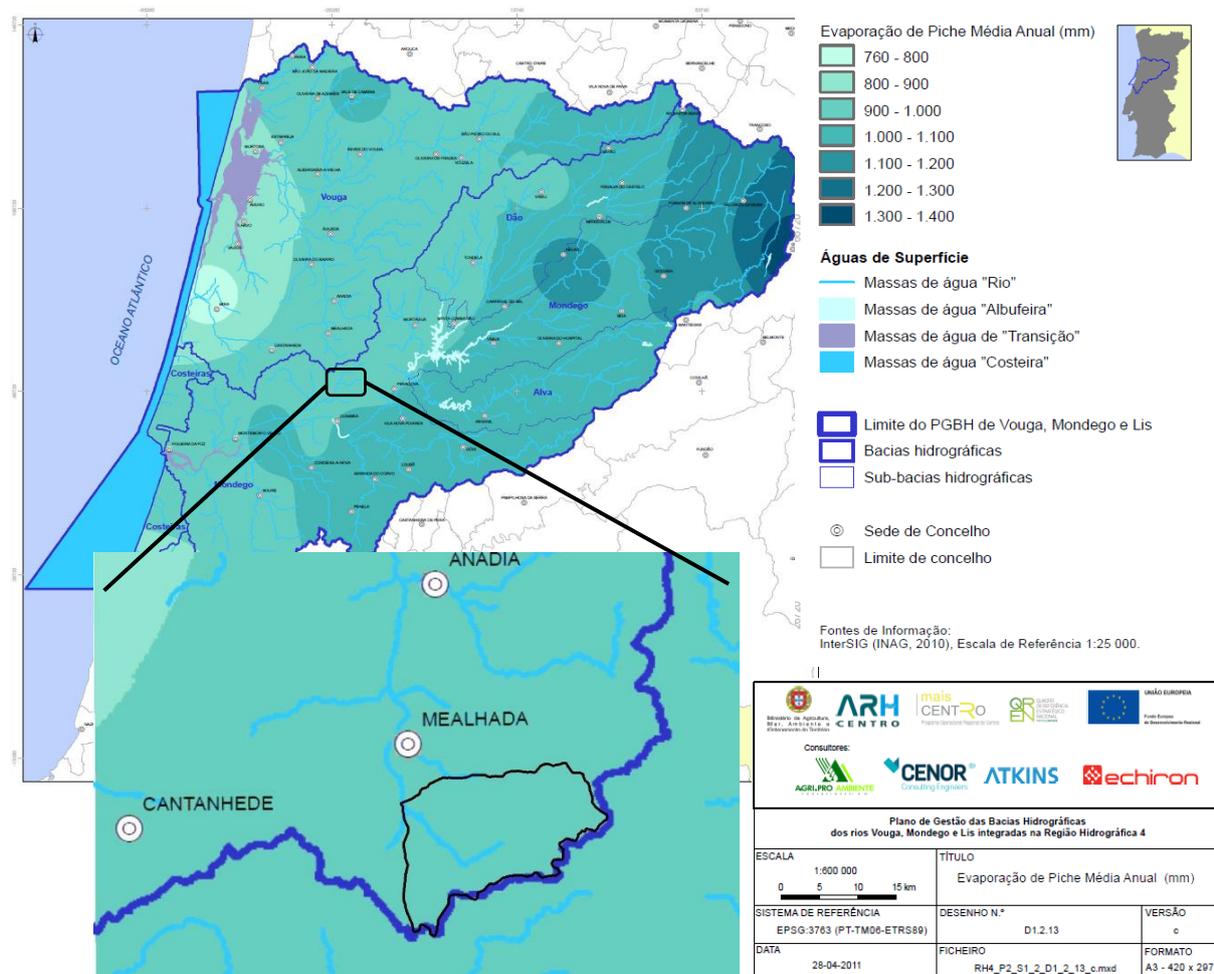


Figura 2.8: Mapa da evaporação de piche média anual da área de estudo - bacia hidrográfica de Ribeira de Canedo (adaptado do mapa da evaporação de piche média anual das Bacias hidrográficas dos rios Vouga, Mondegos e Lis do PGBH, 2012).

2.2.8 Evapotranspiração potencial

Na área de estudo, a evapotranspiração potencial anual registada na região é aproximadamente 718 mm/ano, semelhante à registada na região do Médio e Baixo Vouga.

Na bacia hidrográfica do Vouga, a evapotranspiração potencial média mensal apresenta valor máximo no mês de Verão geralmente mais quente, em julho (114,4 mm) e o valor mínimo de evapotranspiração potencial média mensal a ocorrer no mês de Inverno tendencialmente mais frio, em janeiro, com valor registado de 21,5 mm (PGBH 2012).

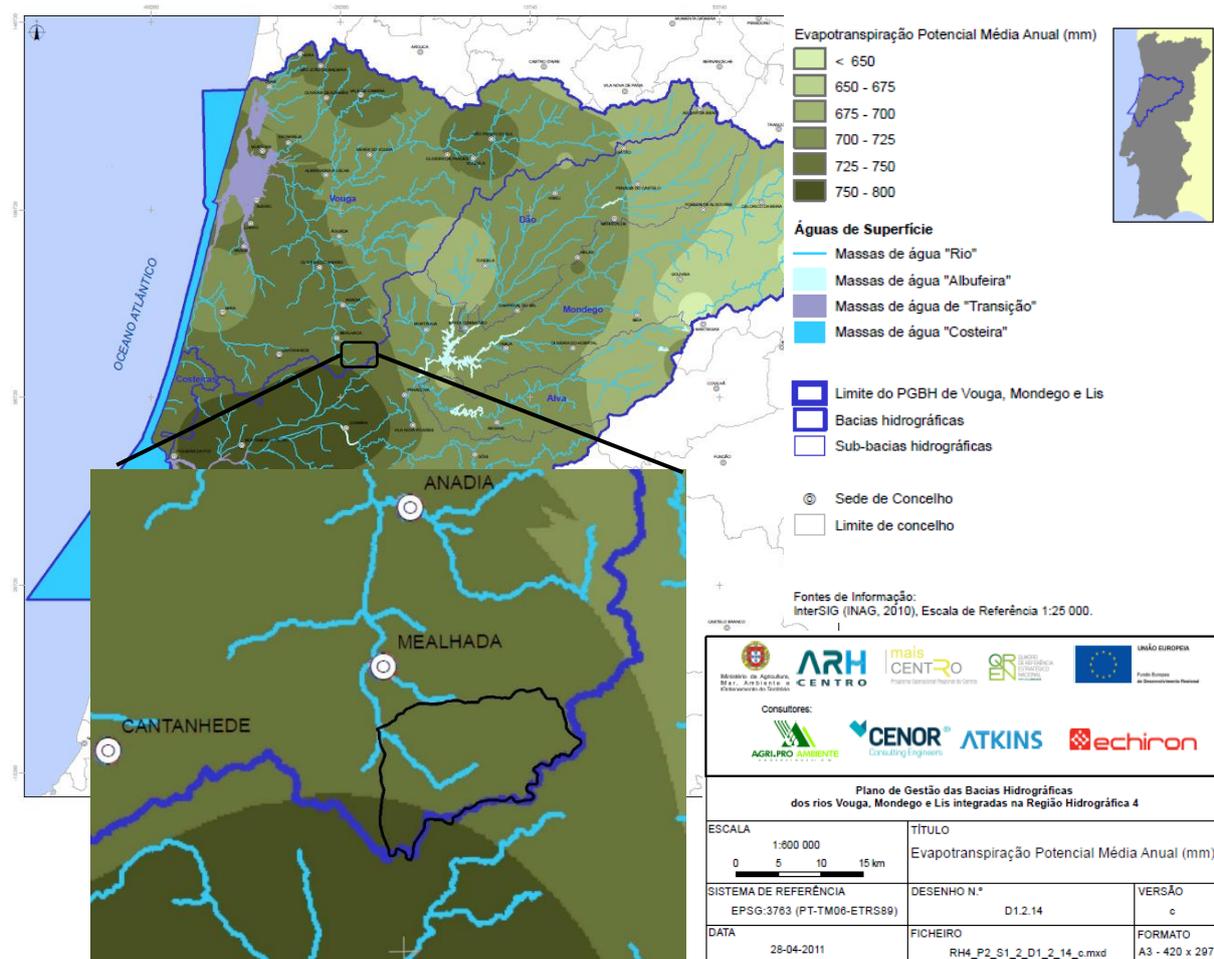


Figura 2.9: Mapa da evapotranspiração média anual da área de estudo - bacia hidrográfica de Ribeira de Canedo (adaptado do mapa de evapotranspiração média anual das Bacias hidrográficas dos rios Vouga, Mondegos e Lis do PGBH, 2012).

2.2.9 Classificação climática

Segundo o expresso no Plano de Gestão de Bacias Hidrográficas dos Rios Vouga, Mondego e Liz (2012), de acordo com a classificação climática Koppen – Geiger e a de Thornthwaite, a região enquadrante do domínio estudado apresenta:

- Segundo a classificação climática de Koppen – Geiger, o clima da região em estudo (Facha Centro Litoral) é do tipo Csb, isto é, insere-se num clima tipicamente mediterrânico, considerado como clima temperado quente e húmido (mesotérmico) e com estações de Verão e Inverno bem definidas (Grupo C), com a estação húmida ou período de maior precipitação a desenvolver-se no Inverno e a estação seca a coincidir com o Verão (subtipo s) e com um Verão temperado e bem definido (tipologia b).

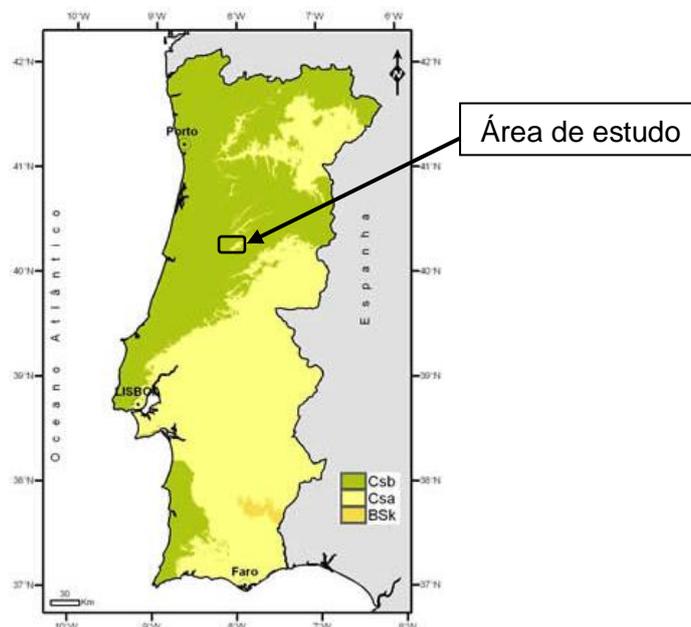


Figura 2.10: Localização da área de estudo no mapa de Classificação Climática de Koppen – Geiger de Portugal Continental (in IPMA, 2017).

- Segundo a classificação de Thornthwaite, o clima da região em estudo (incluída na bacia hidrográfica do Vouga) classifica-se como um clima do tipo B1B'2sa'. Ou seja, trata-se de um clima húmido (B1), mesotérmico ou temperado (B'2), com moderada deficiência de água no Verão (s) e pequena concentração térmica no Verão (a'). Ou seja, e de acordo com as estações analisadas, o clima na bacia do Vouga é do tipo mesotérmico e a concentração térmica no Verão é pequena.

Em suma, a região onde se efetua o estudo desta dissertação, caracteriza-se por apresentar um clima temperado húmido, de origem mediterrânea com grande influência Atlântica, mas com amplitudes térmicas maiores face a zonas mais litorais, resultantes da proximidade e influência de mais regiões continentais (Maciço Antigo), com relevos mais acidentados (maiores fluxos de massas de ar de montanha), onde o domínio atlântico apresenta mais dificuldades a entrar e instalar-se.

2.3 Enquadramento Geológico

Ao longo do trajeto do rio Vouga e da sua bacia hidrográfica encontram-se várias litologias, de idades diferentes e pertencentes ao Maciço Antigo e à Orla Mesocenozóica Ocidental. De acordo com o PGBH (2012), esta bacia hidrográfica integra duas grandes unidades geológicas e morfoestruturais, denominadas por Maciço Antigo ou Hespérico e Orla Mesocenozóica Ocidental ou Bacia Lusitânica, estando separadas pelo grande alinhamento tectónico, designada por Falha de Cisalhamento Porto-Tomar.

Cerca de dois terços desta bacia hidrográfica correspondem a unidades geológicas e morfoestruturais do Maciço Antigo, ocupando o terço médio e superior (PGBH, 2012) da área da bacia hidrográfica, restando o terço inferior ocupado por unidades da Orla Mesocenozóica Ocidental.

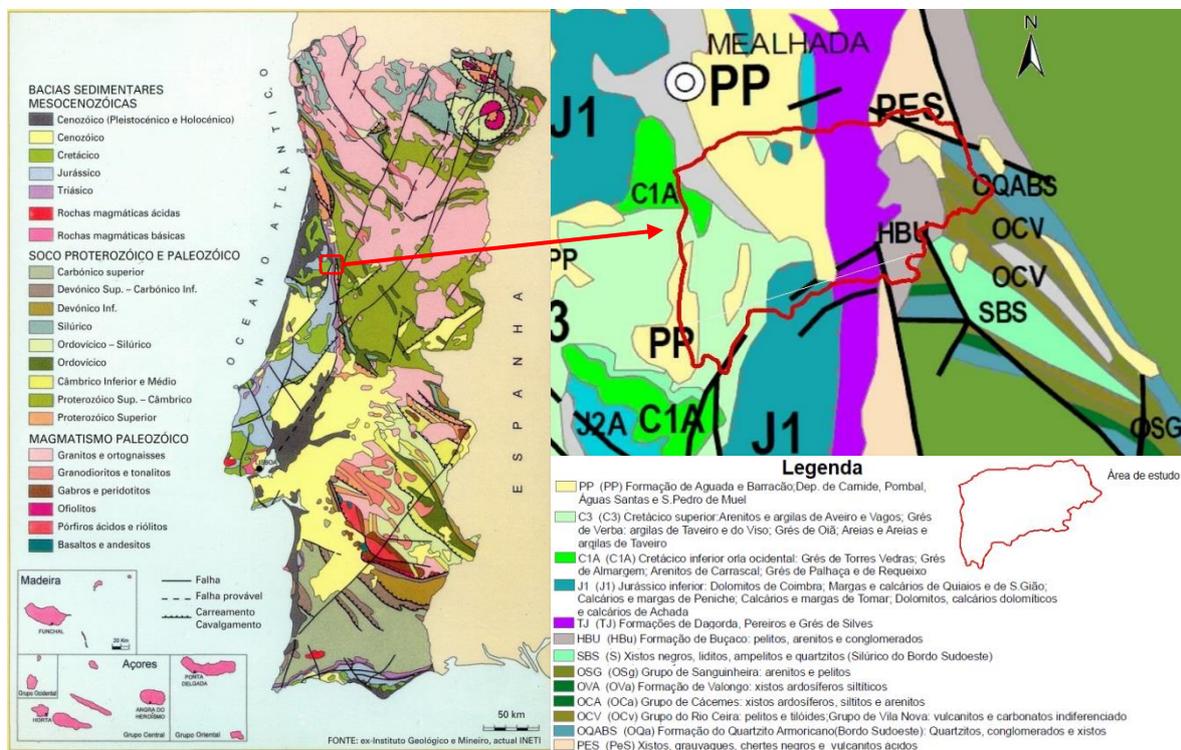


Figura 2.11: Mapa geológico da região de estudo (adaptado do Mapa geológico de Portugal do ex-IGM e atual LNEG e do Mapa geológico do PGBH, 2012).

2.3.1 Maciço Antigo

O Maciço Antigo apresenta uma grande expressão na Península Ibérica, ocupando maior parte do território nacional continental, sobretudo na zona central e ocidental do país. Constitui parte de um soco antigo formado por litologias (terrenos antigos), com idades compreendidas entre o Pré-Cámbrico e o Paleozóico (PGBH, 2012), emersas e sujeitas aos agentes erosivos. Ocorrem essencialmente rochas metassedimentares (xistos e grauvaques), rochas eruptivas (granitóides) e também rochas quartzíticas do Ordovícico, com importante componente hidrotermal (PGBH, 2012).

O Maciço Antigo, segundo vários autores, tem sido dividido em várias zonas tendo por base critérios estratigráficos, estruturais, metamórficos e magmáticos. Atualmente e segundo Julivert *et al.* (1974) e Ribeiro *et al.* (1979), o Maciço Antigo divide-se em Zona Astúrica-Leonesa (ZAL), Zona Cantábrica (ZA), Zona Galaica-Trasmontana (ZGTM), Zona Centro Ibérica (ZCI) e Zona Ossa Morena (ZOM).

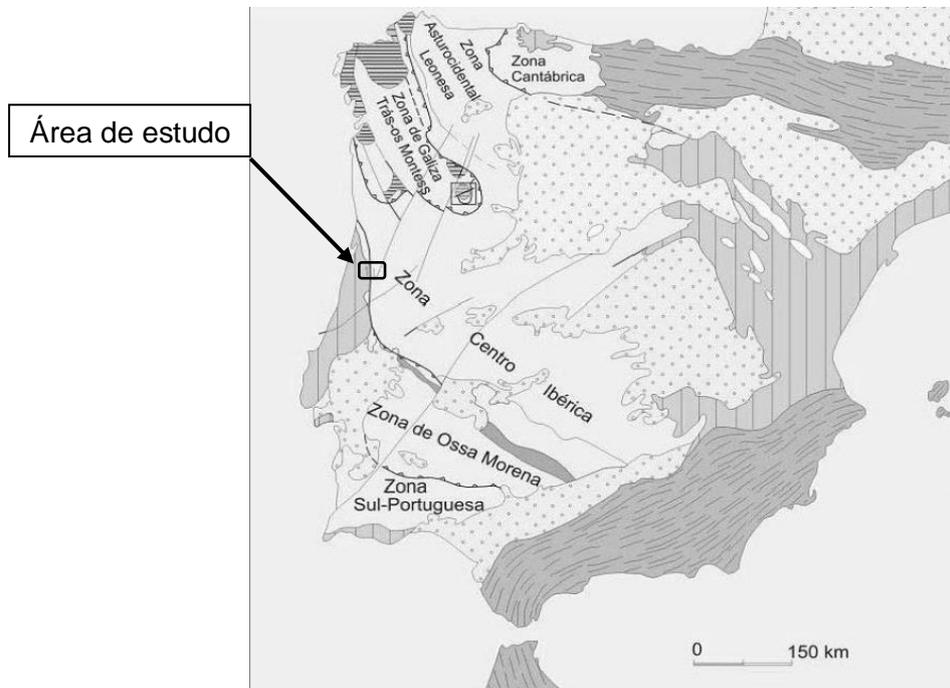


Figura 2.12: Mapa com as Unidades tectono-estruturais da Península Ibérica (adaptado de Ribeiro *et al.*, 1979 in PGBH, 2012).

De acordo com os autores do PGBH (2012), no setor do Maciço Antigo, onde se enquadra a parte mais superior da bacia hidrográfica do rio Vouga, até à região do médio Vouga, situam-se a Zona Centro Ibérica (ZCI) e Zonas Ossa Morena (ZOM).

A Zona Centro Ibérica (ZCI) engloba uma unidade geológica de base com grande expressão cartográfica (PGBH, 2012), designado por Complexo Xisto Grauváquico ou também conhecido por Supergrupo Dúrico-Beirão, datados do final do pré-Câmbrico (Sequeira & Sousa, 1991). Este grupo litológico é formado essencialmente por metassedimentos pelíticos e em menor parte por psamíticos (Dinis, 2004). Correspondem a rochas com baixa permeabilidade, grandes fraturas e superfícies de diaclasamento e planos de xistosidade (Almeida *et al.*, 1999). Ainda inseridas na ZCI (Zona Centro Ibérica), ocorrem formações quartzíticas do Ordovícico (Formação dos Quartzitos do Armoricano), com grande componente hidrotermal e que se encontram em discordância angular de 1ª ordem sobre unidades do Complexo Xisto Grauváquico (PGBH, 2012).

A Zona Ossa Morena (ZOM) compreende formações rochosas (litoestratigráficas) muito antigas e datadas do Pré-câmbrico (Chaminé *et al.*, 1995; Ribeiro *et al.*, 1995; Chaminé 2000). Na zona de sutura entre a ZCI com a ZOM e sobre esta última encontra-se um fosso tectónico, onde ocorrem unidades de preenchimento e de natureza sedimentar datadas do

Pérmico – Carbónico, de forma discordante e por vezes cavalgada por estas unidades morfoestruturais do Maciço Antigo (Dinis, 2004), de idade similar à Orogenia Hercínica (Ribeiro *et al.*, 1979, Domingos *et al.*, 1983 *in* Dinis, 2004).

A ZOM à medida que se evolui para W e para a Bacia Lusitânica, tende a ficar coberta por sedimentos e formações geológicas pertencentes à Orla Mesocenozóica e também por depósitos sedimentares de cobertura recentes, com fraca exposição e mal calibrados, do tipo argiloso cascalhento do Pliocénico ou Plistocénico (Dinis, 2004). A sua extensão ronda em média 2 km de Largura E-W e encontra-se alongada N-S ao longo de grande parte da secção do Médio Vouga. Excetua-se a região entre Albergaria-a-Velha até Espinho que apresenta uma extensão longitudinal em média de 5 km (Dinis, 2004; PGBH, 2012). Esta Unidade Geológica é constituída sobretudo por metassedimentos e metapelitos negros, com elevada presença de elementos orgânicos do Devónico e Carbónico (Chaminé 2000 *in* Dinis, 2004). Para além de xistos negros, também ocorrem xistos quartzo-sericíticos e moscovíticos, muito deformados designados regionalmente por Xistos de Aradas. À medida que se avança para W tendem a dar origem a micaxistos polimetamórficos e com porfiroblastos de biotite, estauroлите e granadas (PGBH 2012). Destaca-se na zona de Oliveira de Azeméis, a existência de uma faixa mais blastomilonítica do Pré-câmbrico (PGBH, 2012), constituída por ortognaisses, migmatitos, anfíbolitos e micaxitos com elevado grau de metamorfismo (Chaminé 1995, Chaminé, 2000 *in* Dinis, 2004).

Em relação às rochas magmáticas presentes na região da bacia hidrográfica do rio Vouga, que se destacam pela sua expressão regional, encontram-se relacionadas com as variadas fases da orogenia hercínica. São essencialmente granitos hercínios, de origem pós-tectónicos, granitos sin a tarditectónicos e granitos sintectónicos relativamente à terceira fase da deformação hercínica (D3) de idade intra-veste-falana (Sant’Ovaia & Noronha., 2005). Nas zonas mais altas do planalto do Vouga e do Maciço Antigo ocorrem maioritariamente granitos monzoníticos de grão grosseiro, porfiróides de fase tardi a pós-tectónicos. Também há ocorrência de outros granitóides como granodioritos porfiróides tardi- tectónicos (PGBH, 2012). Nas zonas mais centrais e ocidentais do Alto Vouga, há ainda o predomínio de granitos de duas micas indiferenciados podendo comportarem-se por granodioritos e granitos gnaissóides de origem sintectónica (PGBH, 2012).

2.3.2 Orla Mesocenozóica Ocidental

A Orla Mesocenozóica Ocidental, também designada por Bacia Lusitânica, com limites *onshore* e *offshore*, tem uma extensão aproximada de 200 km e meridional (vertical) de 100 km (Kulberg *et al.*, 2013), constituindo uma área de cerca de 20000 km².

Kullberg *et al.* (2013) afirma que: “A Bacia Lusitânica é uma bacia sedimentar que se desenvolveu na Margem Ocidental Ibérica (MOI) durante parte do Mesozóico, e a sua dinâmica enquadra-se no contexto da fragmentação da Pangeia, mais especificamente da abertura do Atlântico Norte. Caracteriza-se como uma bacia sedimentar distensiva, pertencente a uma margem continental do tipo atlântico de rift não vulcânica” (p196).

Esta bacia sedimentar está assente no soco do Maciço Antigo e encontrando-se limitada pela Falha Porto-Tomar a Este e pelo *horst* das Berlengas a Oeste, constituído por rochas cristalinas de origem hercínica (Kulberg *et al.*, 2000; PGBH, 2012).

Contém litologias variadas e com origens diferentes, resultantes dos vários episódios de distensão crustal (Kulberg *et al.*, 2000), dos vários episódios de rifting (4 episódios) associados e dos fenómenos de transgressão e regressão marinha associados.

As idades das litologias constituintes da Bacia Lusitânica, variam desde o início do Triásico até ao Cretácico Superior (Kulberg *et al.*, 2000), estando coberta por unidades sedimentares mais recentes, de idades Cenozóicas e constituídas por material pouco consolidado, nomeadamente aluviões e terraços antigos (PGBH, 2012). Ocorrem depósitos carbonatados, sedimentares e evaporíticos, com alguns setores a atingirem espessuras na ordem dos 5 km (Ribeiro *et al.*, 1979 *in* Kulberg *et al.*, 2013).

No período Triásico - Jurássico Inferior, a Bacia Lusitânica integra, estratigraficamente, unidades geológicas do Grupo de Silves e equivalentes laterais, como as Margas Dagorda (Dinis, 2004). Entre o período do Jurássico Inferior a Médio, encontram-se depositadas rochas carbonatadas e margosas, referentes a processos de transgressão marinha e respetiva progradação. O Cretácico está representado por unidades maioritariamente arenosas e argilosas, com leves intercalações de unidades carbonatadas. O Cenozóico está representado por unidades predominantemente argilosas e areno-conglomeráticas pouco consolidadas (Dinis, 2004).

O domínio estudado na presente dissertação inclui formações e depósitos geológicos pertencentes à Orla Mesocenozóica e ao Maciço Antigo.

2.4 Enquadramentos tectónico-estrutural e geomorfológico

2.4.1 Enquadramento tectónico-estrutural regional

O Maciço Antigo e a Orla Mesoceno-zóica têm um forte controlo estrutural, com várias fases de orogenia e como consequência com alinhamentos estruturais bem demarcados e bastante controlado por falhas regionais.

Os principais alinhamentos encontrados ao longo do Maciço Antigo apresentam orientações principais segundo N-S, NNE-SSW a ENE-WSW, NNW-SSE a NW-SE, coincidentes com as orientações dos principais lineamentos tectónicos (Falha Porto-Tomar, Falha Penacova-Régua-Verin e Falha do Rio Dão) e alinhamento estrutural das unidades geológicas (PGBH, 2012).

Existem três episódios de fracturação e respetiva orientação preferencial ao longo do Maciço Antigo (Ribeiro *et al.*, 1979; PGBH 2012). Uma segundo N-S e que reflete a direção principal de compressão máxima, dando a origem a dois sistemas ou corredores de cisalhamento secundários. Estes dois últimos corredores de falhas e fracturação são sistemas de desligamentos conjugados, um com desligamento esquerdo, segundo NNE-SSW a ENE-WSW (direção bética e paralelos à Flexura de Guadalquivir), e o outro de desligamento direito com direções segundo o sistema NNW-SSE a NW-SE de origem tardi-hercínica (Ribeiro *et al.*, 1979). Neste último sistema de falhas e fraturas, a direção de compressão máxima é segundo os pontos cardais E-W, com influência bem demarcada sobretudo nas regiões ocidentais do soco hercínico ou Maciço Antigo (Ribeiro *et al.*, 1979).

A evolução tectónica da Bacia Lusitânica, herda sensivelmente as mesmas orientações e tensões estruturais do Maciço Antigo e associadas à fraqueza crustal, resultando na compartimentação e subdivisão interna desta bacia (Kullberg *et al.*, 2000).

Segundo Ribeiro *et al.* (1979), os limites estruturais da Bacia Lusitânica, evoluíram entre o final da orogenia hercínica e o Triásico, com orientação preferencial segundo N-S. Deste alinhamento compressivo resultam dois sistemas de falhas conjugadas, de direções segundo NNE-SSW a ENE-WSW e segundo NNW-SSE a NW-SE (Ribeiro *et al.*, 1979 *in* Kullberg *et al.*, 2000). O mesmo autor refere que existe um terceiro alinhamento tectónico segundo NW-SE. Segundo Ribeiro *et al.* (1979) *in* PGBH (2012), estes alinhamentos resultam da reordenação (rejogo) pós-hercínica das famílias de fraturas pré-existente da fase tardi-hercínica.

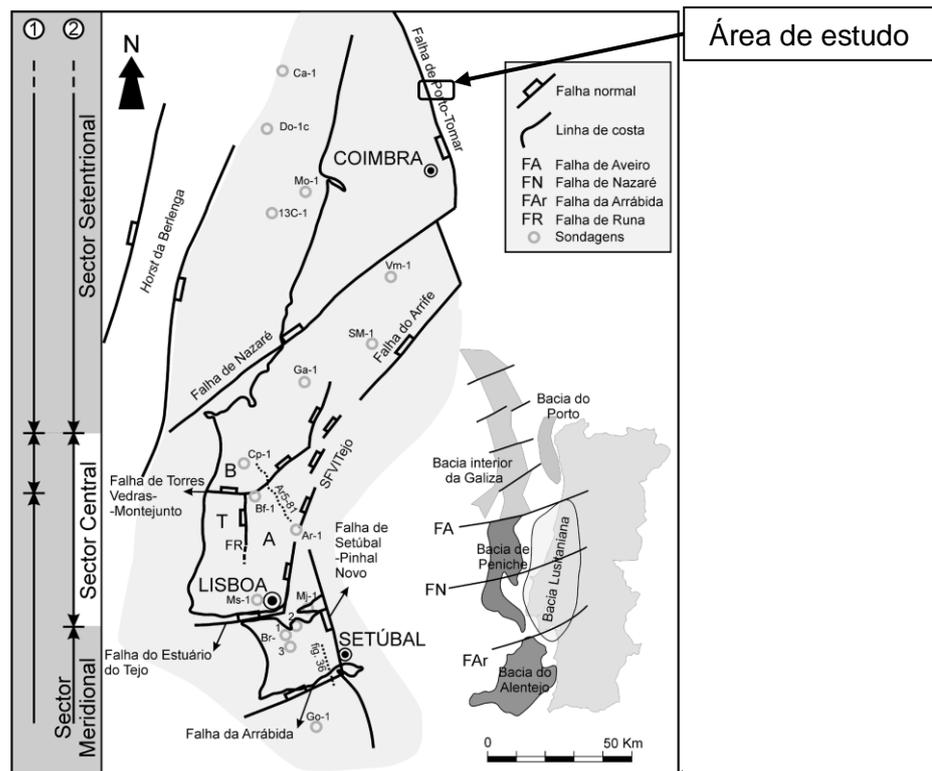


Figura 2.13: Mapa regional de alinhamentos estruturais da Bacia Lusitânica (in Kullberg *et al.*, 2013).

O domínio em estudo insere-se zona de transição entre o Maciço Antigo e a Orla Mesoceno-zóica e é atravessado pela Falha Porto-Tomar, no sentido E-W. Constitui um importante alinhamento tectónico regional, caracterizado por apresentar zonas com componente de cavalgamento e cisalhamento dúctil, segundo uma direção aproximada N-S (PGBH, 2012), podendo apresentar atividade tectónica em alguns pontos. Segundo Marques de Sá *et al.* (2012), esta falha traduz-se num grande acidente-tectónico com uma orientação NNW-SSE e que se tem mantido ativo desde a orogenia Varisca.

2.4.2 Neotectónica

A evolução neotectónica da região no geral, seguiu a mesma orientação preferencial já existente, tanto no Maciço Antigo como na Orla Mesocenozóica.

Ao longo do Pliocénico até ao Quaternário, atividade tectónica intensificou-se, levando ao rejeito das estruturas geológicas já existentes, o que levou a um soerguimento generalizado na região litoral da Bacia Lusitânica, acompanhado pela rotação do campo de tensões máxima horizontal seguindo de NW-SE para a atual WNW-ESE (Cabral, *et al.*, 1989; Cabral, 1995; PGBH 2012).

Cabral (1995) afirma ainda que devido ao soerguimento vertical e generalizado, nesta altura (Pliocénico até ao Quaternário), Portugal Continental sofreu levantamento generalizado, sobretudo nas zonas mais litorais do Norte e Centro do país. Tais factos são evidenciados pelas plataformas de abrasão marinha e a sobrelevação de sedimentos litorais plio-quadernários, nas regiões mais litorais e a morfologia acentuada das linhas de água em zonas de vales juntamente com o escalonamento de terraços fluviais nas vertentes, nas regiões mais interiores.

As superfícies de erosão em zonas elevadas também evidenciam a sobrelevação neotectónica. O soerguimento neotectónico atingiu o máximo de 600 m, na região Centro do País, coincidente com a Cordilheira Central (atingindo os 2000 m atuais), região intracontinental que apresenta orientações preferenciais ENE-WSW (PGBH 2012). A regiões litorais e conseqüente Orla Mesocenozóica apresenta menores elevações por vezes em forma de *horsts* (elevações) e *grabens* (subsidiências), rondando os 100 m e em raras exceções os 300 m.

2.4.3 Enquadramento tectónico-estrutural local

A morfologia da região do vale do Cértima, e mais especificamente do domínio de estudo, estão bem marcadas e talhadas pela tectónica. A nível tectónico, a região inicial do vale do Cértima encontra-se bastante controlada por falhas inversas com orientações preferenciais N-S, com interceção de outras falhas menores, oblíquas e de direções variáveis entre NW-SE e NE-SW, passando a ter um controlo segundo NNW-SSE para jusante até à sua foz no rio Águeda, seguindo a tendência dos contornos morfoestruturais da região da bacia hidrográfica do rio Vouga (Dinis, 2004).

De acordo com Dinis (2004), na região do vale do Cértima e particularmente na área estudo, as falhas com direções NW-SE e NE-SW, correspondem a falhas conjugadas e perpendiculares entre si. Também afirma que as que se desenvolvem segundo NW-SE, tendem a ser mais evidentes e desenvolvidas a S, enquanto que, as que evoluem segundo NE-SW, se localizam mais a N (Figura 2.14).

Esta depressão desenvolve-se e alarga-se, em forma de funil para NNW, seguindo a zona de bacia hidrográfica do rio Cértima e com basculamento no mesmo sentido, desenvolvendo pequenos *horsts* orientados para W (Dinis, 2004).

O Horst Litoral (Dinis, 2001b), também designado por Anticlinal de Cantanhede, situado a oeste da bacia hidrográfica de Ribeira de Canedo, apresenta orientações preferenciais entre NE-SW e ENE-WSW, com orientações menores e mais localizadas segundo NNW-SSE a NW-SE (Dinis, 2004). Este desenvolve-se segundo N-S, com basculamento dos blocos segundo NNW, alongando-se segundo E-W e de maior extensão a Sul (Dinis, 2004).

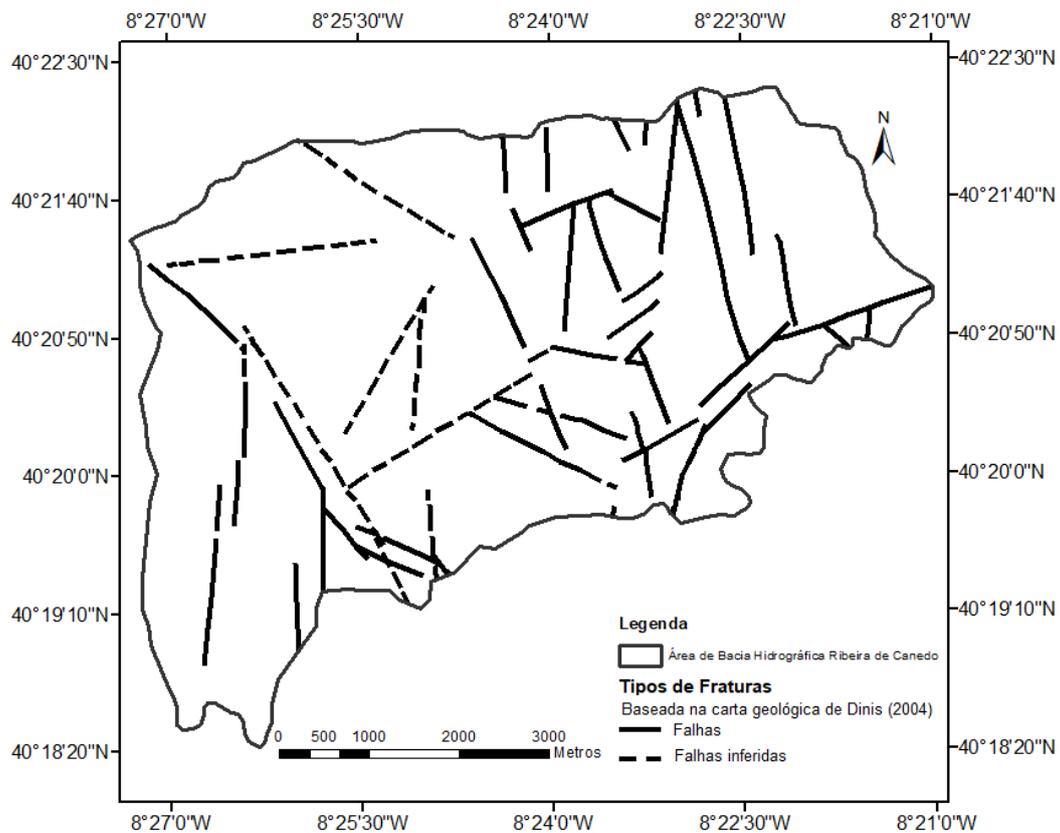


Figura 2.14: Falhas presentes na área de estudo (criado em ArcGis® 10.2.2, com base na cartografia de Dinis, 2004).

2.4.4 Geomorfologia regional

De acordo com o PGBH (2012) a bacia hidrográfica do rio Vouga divide-se em três unidades hidromorfológicas - Alto Vouga e Baixo Vouga – de acordo com critérios morfológicos com o tipo de drenagem, relevo, geologia, climatologia, hidrologia e uso e ocupação do solo.

Alto Vouga ou cabeceira - Constitui a zona mais alta da bacia hidrográfica e onde o rio Vouga nasce. Esta região é conhecida por ser uma zona de planalto e alongada (PGBH, 2012), com o rio a desenvolver-se ao longo de descontinuidades e litologias mais brandas do planalto do Maciço Antigo (ZCI e ZOM). Por este motivo o rio desenvolve-se por vezes em forma de meandros, zonas relativamente declivosas e ao longo de vales encaixados, não tão pronunciados como na zona do Médio Vouga.

Médio Vouga - Esta unidade hidromorfológica caracteriza-se por ser uma zona mais acidentada e de cotas mais baixas, mas ainda com alguma amplitude em relação ao Baixo Vouga. A zona apresenta solos e substrato rochoso mais brando, traduzindo num maior aparecimento de vales encaixados e meandros. A densidade de drenagem é bastante maior quando comparada com a região do Alto Vouga (PGBH, 2012). No setor mais ocidental, próximo da transição para Vouga Lagunar, os leitos dos rios começam a ter menores declives, desenvolvendo-se por vales mais abertos e com leitos de cheias bem definidos nas margens.

Baixo Vouga - Também designado por Baixo Vouga Lagunar, característico por ser uma zona bastante plana, já se encontrando em cotas mais baixas, muito rico em lagos e lagoas e ocupado pela Ria de Aveiro. Apresenta baixas variações dos níveis piezométricos ao longo do ano, estando sempre muito próximo da superfície e estável. Constitui uma região bastante afetada pelo efeito das marés e caracteriza-se também por ser uma zona de vastas planícies férteis, facilmente inundável e onde a rede de drenagem facilmente se expande em área (PGBH, 2012).

Esta divisão regional com base unidades hidromorfológicas, vai ao encontro e é muito semelhante à anterior proposta de Amorim Girão (1922), no livro “Estudo Geográfico da Bacia do Vouga”.

Do ponto de vista geomorfológico, o domínio estudado (BhRC), coincidente com o início da Bacia hidrográfica do rio Cértima, encontra-se no limite entre o Médio Vouga e o Baixo Vouga.

2.4.5 Geomorfologia local

Do ponto de vista geomorfológico, a bacia hidrográfica do rio Cértima aproveita uma depressão extensa associada a um *graben* e causada pelo soerguimento neotectónico de um *horst* localizado a W, na região de Cantanhede (Dinis, 2004), designado por *Horst Litoral* da Plataforma Continental (Dinis, 2001b). No geral o domínio de estudo caracteriza-se por apresentar uma intensa erosão fluvial, por vezes associadas a alinhamentos tectónicos (Dinis, 2004).

Esta depressão encontra-se limitada a E pela sobre-elevação das formações do Maciço Antigo (Rodrigues *et al.*, 1992, Pinheiro *et al.*, 1996 *in* Dinis, 2004), sendo muito controlada por falhas locais, em contacto com Maciço Marginal (Dinis, 2004) e evidenciado por basculamento de blocos segundo W. Corresponde às zonas de cumeadas das linhas de água afluentes de Ribeira de Canedo.

Tal como se observa na Figura 2.15, tanto a E como W da área de estudo, coincidente com o início da depressão do Cértima, a altimetria é maior e mais declivosa, relacionada com o contacto, com o Maciço Marginal a E e com o desenvolvimento e soerguimento do Horst Litoral a W, que se prolonga para NNW (Dinis, 2012).

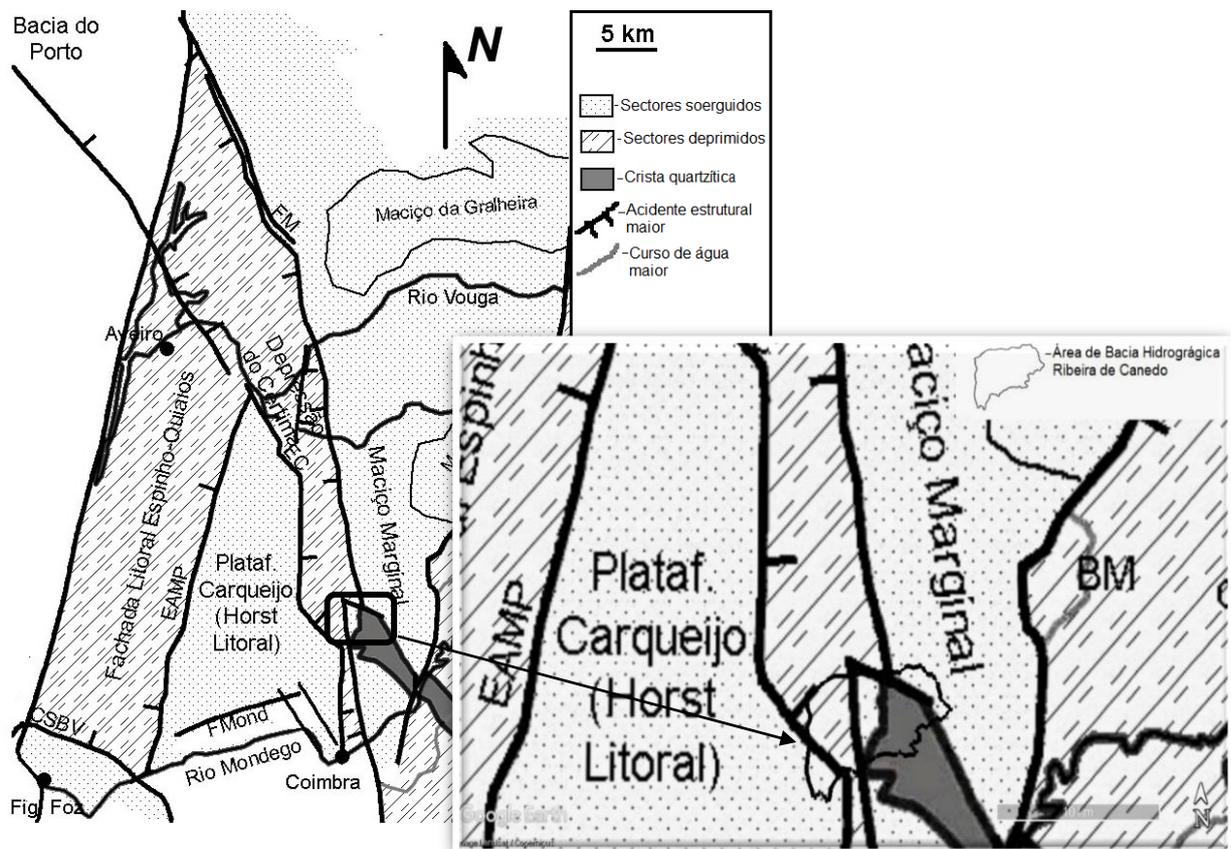


Figura 2.15: Representação das áreas morfoestruturais, na região em estudo (adaptado de Dinis, 2004).

A depressão do Cértima caracteriza-se por se desenvolver ao longo da plataforma litoral em níveis muito planos e próximos do nível do mar, que raramente excedem os 100 m de cota. Nesta região - Depressão do Cértima e mais vincadamente na Pampilhosa do Botão, há grande desenvolvimento de depósitos aluvionares atuais e de antigos terraços. Constituem exceção os setores aplanados situados a SE, com topografia entre 80 m a 100 m, associados a substrato calcário, onde o desenvolvimento sedimentar e aluvionar é menor ou inexistente.

Dinis (2004) distingue a Plataforma de Carqueijo e Plataforma de Oliveirinha de Carvalho (1951) como principais unidades morfológicas constituintes do Horst Litoral (Dinis, 2001b), sendo a primeira a mais importante para a região em estudo (Figura 2.15). A plataforma de Carqueijo faz a delimitação W da depressão do Cértima e conseqüentemente da sub-bacia em estudo, atingindo cerca de 140 m de cota na região Carqueijo – Barcouço. A nível geomorfológico, este Horst Litoral caracteriza-se por ser o limite W da Depressão do Cértima (Dinis, 2004).

2.5 Enquadramento Hidrogeológico

Ao nível hidrogeológico, a bacia hidrográfica do Vouga inclui domínios de duas Unidades Hidrogeológicas: Unidade do Maciço Antigo e Unidade da Orla Ocidental.

2.5.1 Unidade do Maciço Antigo

Na Unidade do Maciço Antigo há o predomínio de rochas antigas, com diferentes graus de alteração, condicionando assim a aptidão hidrogeológica. As formações rochosas apresentam no geral baixa permeabilidade (Almeida *et al.*, 1999).

Na bacia do Vouga, a Unidade do Maciço Antigo caracteriza-se na sua generalidade por ser uma unidade com baixa a escassa aptidão hidrogeológica (Almeida *et al.*, 2000). As rochas que o constituem enquadram-se no domínio das “rochas duras” ou meio cristalino (Almeida *et al.*, 1999), que na maioria são de origem magmática tais como granitóides, rochas básicas e ultrabásicas ou origem metassedimentar, integrantes da Zona centro Ibérica (ZCI) e Zona Ossa Morena (ZOM) com grau de metamorfismo variável (PGBH, 2012). Desta baixa permeabilidade, resulta um predomínio do fluxo superficial e taxas de infiltração baixas e localizadas.

A recarga das formações do Maciço Antigo, faz-se a partir da infiltração direta da precipitação atmosférica, que posteriormente circula de forma subterrânea através da circulação subterrânea pela rede de fracturação, de superfícies de diaclasamento e/ou planos de xistosidade, apresentando na sua maioria formações hidrogeológicas pouco produtivas (LNEG-LGM, Unidade de Águas Subterrâneas, 2010).

A taxa de recarga de aquífera de meios fissurados e/ou fraturados ronda os 10% da precipitação da região (Almeida, *et al.*, 2000), sendo que a precipitação média nesta região do Bacia hidrográfica do Vouga, seja cerca de 1301 mm/ano (PGBH, 2012) e uma taxa de infiltração média de 100 mm/ano. Contudo, este valor pode ser menor devido às massas de água aquíferas serem descontínuas, com pequena extensão e com coeficiente de armazenamento relativamente baixo, favorecendo assim o fluxo subterrâneo pouco profundo e baixos tempos de residência, levando à rápida restituição às linhas de água (LNEG-LGM, Unidade de Águas Subterrâneas, 2010).



Figura 2.16: Localização do domínio estudado no Mapa de Portugal com as Unidades hidrogeológicas (adaptado de SNIRH, 2000).

O fluxo subterrâneo, faz-se sobretudo através planos de fraturas e discontinuidades pré-existentes, tais como falhas (tanto locais ou regionais), superfícies de diaclasamento no caso dos granitos e os planos de xistosidade associada aos metassedimentos (Almeida *et al.*,1999), apresentando na sua maioria formações hidrogeológicas pouco produtivas. Também existe a circulação a partir da porosidade intergranular da rocha, nomeadamente em locais onde a alteração associada a fatores externos (erosão) é maior (PGBH, 2012). No entanto, esta é mais localizada e menor.

Uma outra causa da fraca aptidão hidrogeológica subterrânea e consequente grau de infiltração, é o relevo e o facto desta região se caracterizar por ser uma região muito montanhosa, constituída por planaltos e encostas altas, bastantes acentuadas e com declives bem pronunciados. Nesta região há também uma forte influência da Cordilheira Central e um predomínio do seu relevo pronunciado (PGBH, 2012), predominando vertentes muito acidentadas e declivosas. Desta forma, a densidade de drenagem e circulação de água tanto subterrânea como superficial é condicionada, favorecendo um maior escoamento superficial.

Por vezes, nos terrenos do Maciço Antigo Indiferenciado é possível encontrar aquíferos associados a depósitos de aluviões, depósitos detríticos pós-paleozóicos e pequenas bacias sedimentares (depressões do relevo) mais produtivos do que os associados aos metagrauques e granitóides. Ocorrem ainda unidades aquíferas mais localizadas confinadas e mais profundas por vezes com propriedades termais como o caso do Sistema Aquífero do Luso - A12 (PGBH, 2012).

2.5.2 Unidade da Orla Ocidental

Na bacia hidrográfica do rio Vouga, à medida que se evolui para W e como já anteriormente referido, a geologia altera drasticamente, condicionando as aptidões hidrogeológicas e a formação de massas de água aquíferas produtivas. Passamos de metagrauwaques e granitóides pouco produtivos do Maciço Antigo, para rochas sedimentares porosas do tipo areníticas ou carbonatadas e com maiores aptidões hidrogeológicas, pertencentes à Orla Mesocenozóica Ocidental ou Bacia Lusitânica.

A Unidade hidrogeológica da Orla Ocidental apresenta grande diversidade hidrogeológica, textural e estrutural. Há o predomínio de rochas carbonatadas, areníticas, bem como materiais arenosos desagregados de origem quaternária ou plio-quaternária, possibilitando maior facilidade de infiltração de água das chuvas (PGBH, 2012). O nível de produtividade no geral é maior em relação ao Maciço Antigo, tendo poucas variações a nível de formações internas da Orla Ocidental. De acordo com os diversos comportamentos hidrogeológicos, podem ser considerados aquíferos, aquíferos ou aquíferos. Há a formação de vários sistemas aquíferos multicamada, com o fluxo subterrâneo a efetuar-se por drenância intercadas dos sistemas e de acordo com o potencial hidráulico local, geralmente descendentes nas zonas de recarga e ascendente nas zonas de descarga.

Na circulação de águas subterrâneas destacam-se dois tipos de aquíferos: cársicos e porosos. Os aquíferos cársicos são constituídos maioritariamente por calcários e calcários dolomíticos, onde a água circula por estruturas cársicas resultantes da dissolução das rochas carbonatadas, provocadas pela própria água do escoamento do aquífero (PGBH, 2012). Os aquíferos porosos suportados pelas formações detríticas Mesocenozóicas, são na sua maioria multicamada, variando de confinados a livres, por vezes com intercalações de unidades hidrogeológicas menos permeáveis (aquíferos).

No domínio estudado a Unidade da Orla Ocidental inclui 2 Sistemas aquíferos: Sistema Aquífero Cársico da Bairrada (O3) e Sistema Aquífero de Tentúgal (O5).

3. Enquadramento do domínio em estudo

Ao longo deste capítulo serão desenvolvidos e apresentados os enquadramentos físicos da área estudada - Bacia hidrográfica de Ribeira de Canedo (BhRC). Apresentam-se caracterizações da topografia, hidrografia, geologia, hidrogeologia, tipo, uso e ocupação do solo, assim como as prováveis situações potencialmente contaminantes dos recursos hídricos locais. O desenvolvimento deste capítulo baseou-se fundamentalmente em elementos fornecidos pela Câmara Municipal e em reconhecimento de campo.

3.1 Enquadramento topográfico

A área de estudo – BhRC - apresenta uma área plana aproximada de 37,7 km². Está representada na Carta Topográfica Militar, escala 1:25.000, folha nº 219 e na folha 19-B do Mapa Corográfico de Portugal (escala 1:50.000), do Instituto Geográfico do Exército (IGeoE) e à Direção Geral do Território (DGT), respetivamente.

A E está circunscrita pelas cumeadas da Serra do Buçaco e a W encontra-se separada por uma faixa topograficamente mais elevada (pequeno *horst*) que faz a separação desta bacia hidrográfica com a bacia hidrográfica da Ribeira de Lendiosa. Na zona mais sobrelevada localizam-se as aldeias de Carqueijo, Mala e Santa Luzia, com o limite W da região de estudo a corresponder grosseiramente à Estrada Nacional N^o1.

Na BhRC situa-se a Vila de Pampilhosa do Botão, localidade com maior expressão e dimensão ao longo da região de estudo. Incorpora também oito aldeias do Concelho da Mealhada nomeadamente, as aldeias de Travasso, Canedo, Carqueijo, Santa Luzia, Santa Cristina, Quinta do Valongo, Quinta do Vale Louredo e Carvalheiras. Também abrange Póvoa do Loureiro, Paço, Marmeleira e um pouco da aldeia de Larçã, que são já aldeias inseridas no Concelho de Coimbra.

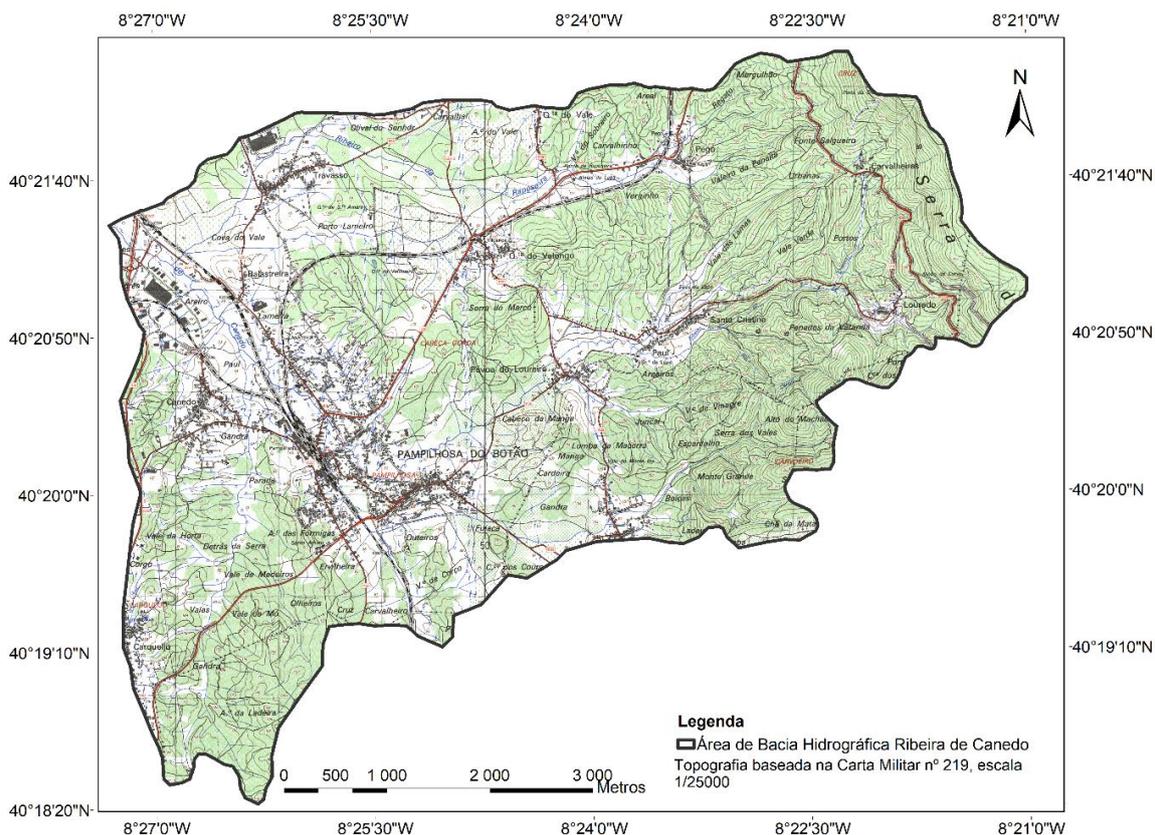


Figura 3.1: Fragmento da Carta Militar escala 1/25000, Folha nº 219, representando a área estudada (criado em software ArcGIS® 10.2.2)

A partir da análise altimétrica da Carta Militar nº219 e da interpolação no software ArcGIS® v10.2.2, criou-se o Modelo Digital do Terreno (MDT), permitindo distinguir facilmente as variações de altimetria ao longo da área de estudo.

No MDT (Figura 3.2) é possível verificar que ao longo da bacia existe grande controlo estrutural, dado que as secções mais deprimidas do terreno se encontram entre sobrelevações (horsts). À medida que se segue para montante, verifica-se que a influência tectónica está bem presente e com orientações bem definidas.

Tal como é possível observar na Figura 3.2, ao longo do percurso natural da bacia hidrográfica é possível verificar que esta evolui de pontos relativamente altos a E, com altimetrias a rondarem os 550 m, coincidentes com o maciço da Serra do Buçaco e as elevações do Maciço Marginal, pertencentes ao Maciço Antigo.

À medida que se evolui na bacia para W e sobretudo para NW, verifica-se que a topografia tende a ser mais aplanada, formando uma depressão bem alongada e demarcada. Esta depressão, também conhecida pelo início da depressão do Vale do Cértima (Dinis, 2004), apresenta uma altimetria baixa, variando ente os 100 e 52 m acima do nível do mar. Topograficamente, está circunscrita por sobre-elevações (horsts) seguidas de subsidências (grabens), de altimetrias médias.

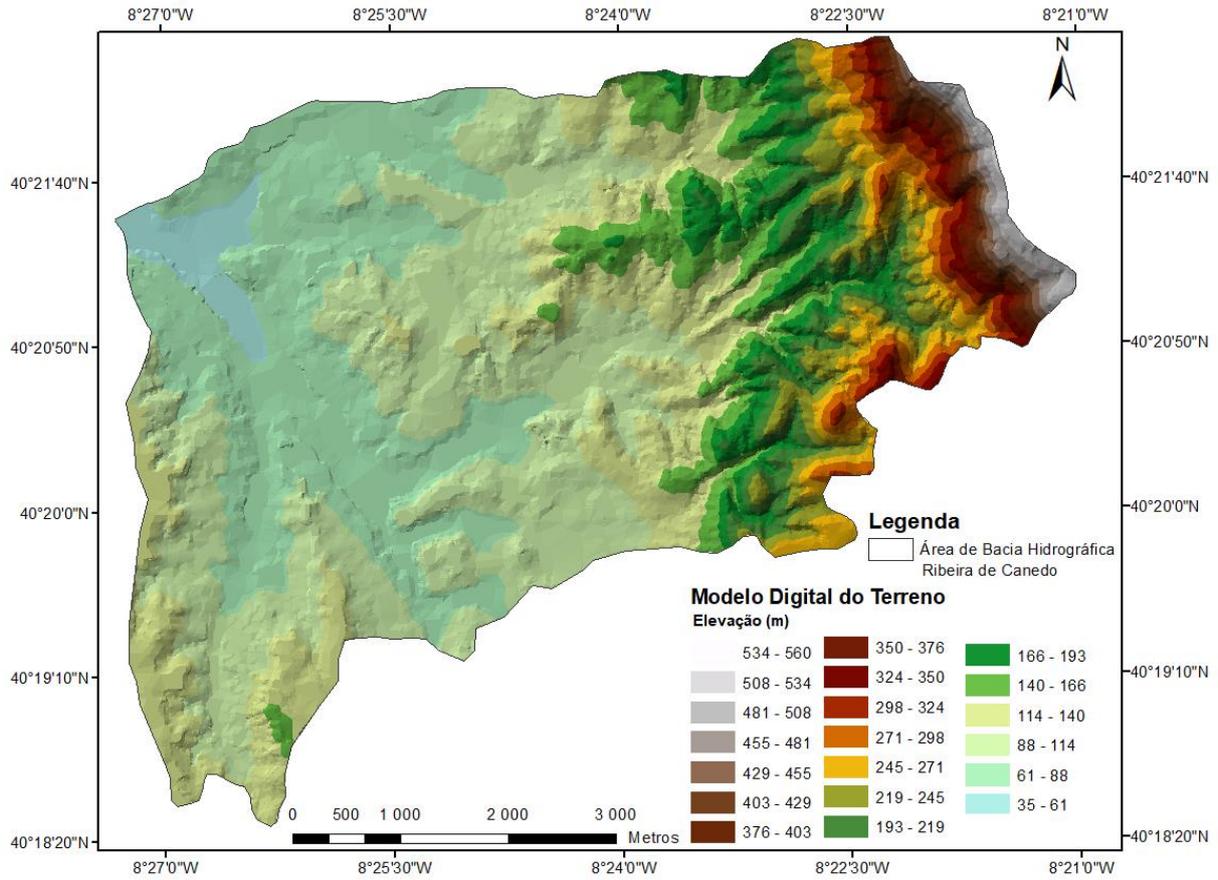


Figura 3.2: Modelo Digital do Terreno da área estudada - bacia hidrográfica de Ribeira de Canedo (imagem criada em software ArcGis® 10.2.2, com base Carta militar nº219).

3.2 Enquadramento hidrográfico

A Ribeira de Canedo, principal curso de água do domínio de estudo é um dos tributários principais do rio Cértima. Da confluência desta ribeira, no extremo NW, com a Ribeira de Lendiosa, inicia-se o rio Cértima.

Na região E da BhRC, coincidente com as zonas mais a montante da maior parte dos cursos de água, a rede de drenagem (Figura 3.3) tende a evoluir entre vales profundos, declivosos, fechados e bem vincados na topografia e segundo a mesma orientação aproximada (E- W). Nesta região mais alta da bacia situada a E e devido à sua grande incisão no substrato rochoso, as linhas de água são bem densas e com grande capacidade de drenagem ao longo dos vales. Com a evolução para jusante, os leitos de cheia já se tornam mais evidentes e alongados, sendo estes setores caracterizados por ser bastante férteis e produtivos.

O padrão de drenagem geral, na área é do tipo dendrítico, onde todas as linhas de água tendem a evoluir de forma mais ou menos definida para uma única ribeira, de dimensões e densidade de drenagem maior.

A ribeira de Canedo tem como tributários principais e definidos a Ribeira de Raposeira, Ribeira de Santa Cristina e o Ribeira de Cerejo. Estas últimas duas ribeiras após confluírem, constituem início da Ribeira de Canedo.

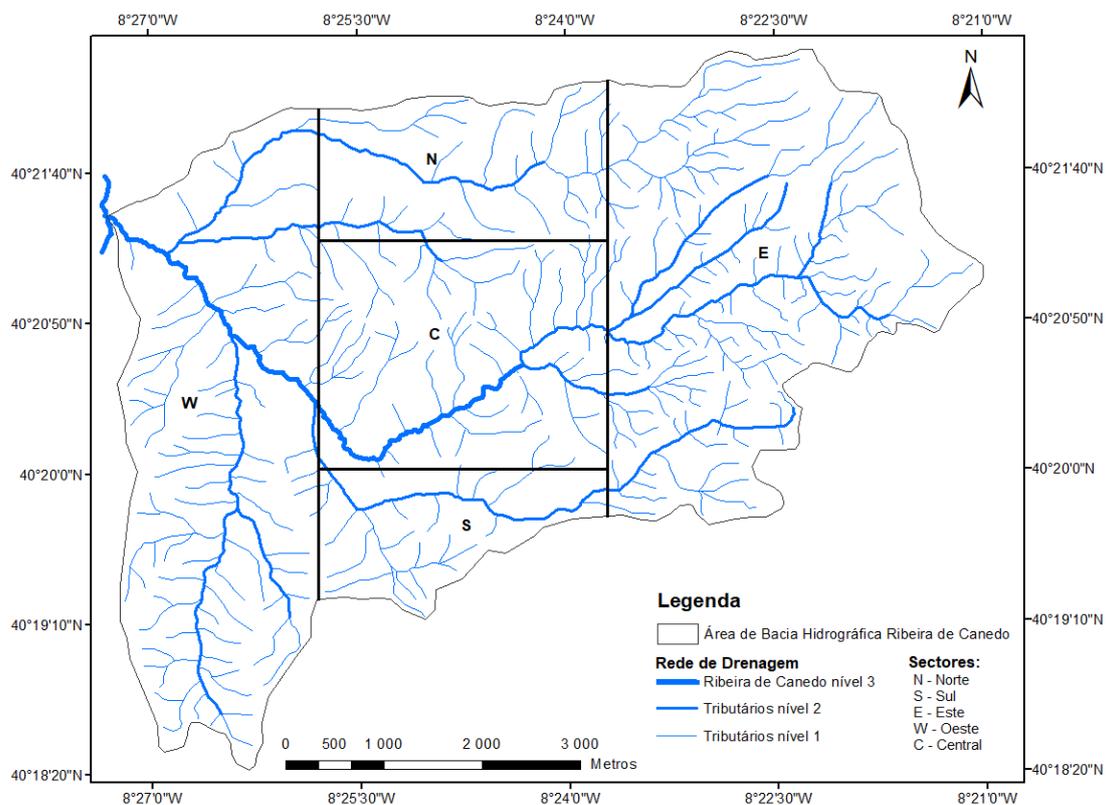


Figura 3.3: Rede de drenagem na zona em estudo - bacia hidrográfica de ribeira de Canedo (criada em software ArcGis® 10.2.2 e obtida com base na Carta militar nº219, à escala 1/25000).

A partir da setorização da Bacia hidrográfica Ribeira de Canedo (BhRC) representada na Figura 3.4, verifica-se que:

– No setor E, a forma dendrítica da rede de drenagem é mais evidenciada devido ao forte controlo tectónico-estrutural e à baixa permeabilidade das litologias. Nota-se a formação de várias linhas de água por vezes bastante próximas, ocupando zonas mais erodíveis da litologia e vales contíguos. Outra razão desta densidade da rede de drenagem é o regime já ser muito influenciado pela altitude, com climas húmidos e chuvosos, onde há o favorecimento do escoamento superficial face ao subterrâneo.

– No setor W, o escoamento superficial já é mais localizado e com menores evidências de linhas de água relevantes, sendo de maioria curtas, mas com regime perene ao longo do ano hídrico. Tal justifica-se pela presença de substratos mais arenosos e detríticos, com maior permeabilidade e da evolução mais recente da rede drenagem sobre esse substrato. Outra razão prende-se pelo facto de a altimetria ser baixa e o pequeno horst situado a W desta bacia (limite W), ser a separação física da bacia hidrográfica da Ribeira de Canedo e a Ribeira de Lendiosa, onde a NW deste confluem para dar a origem ao Cértima.

– No setor N, o escoamento superficial é baixo, mas relativamente estável. O regime de escoamento é maioritariamente intermitente ao longo destes setores e ao longo do ano hídrico. É nas regiões onde ocorrem rochas calcárias, que o regime de escoamento é mais afetado, com grande probabilidade de secar em meses mais secos. Contudo ainda em certas regiões deste setor, onde predomina substrato calcário, o escoamento geral não é muito afetado, podendo estar relacionado com zonas mais arenosas/aluvionares, com níveis impermeáveis subadjacentes e com contornos estruturais intrínsecos ao substrato cársico que aqui ocorre.

– No setor central da bacia hidrográfica (C), o regime de escoamento tende a ser semelhante ao setor N, com os cursos de água na maioria do seu trajeto a ter um regime de escoamento intermitente. A região contém vários charcos e depressões e algumas nascentes associadas, funcionando como zonas de recarga, que drenam para as ribeiras e linhas de água mais próximas. Verifica-se maior volume escoamento superficial na região mais central relacionada com a zona aluvionar de Ribeira de Canedo.

– No setor S da bacia, o regime de escoamento já é bastante sazonal e efémero e os cursos de água existentes já são mais escassos e desorganizados. Isto deve-se sobretudo ao tipo de substrato (calcário - dolomítico) e à separação de bacias hidrográficas do rio Vouga e Mondego, bem como da divisão dos Sistemas Aquíferos Cársico da Bairrada (O3) e o de Tentúgal (O5).

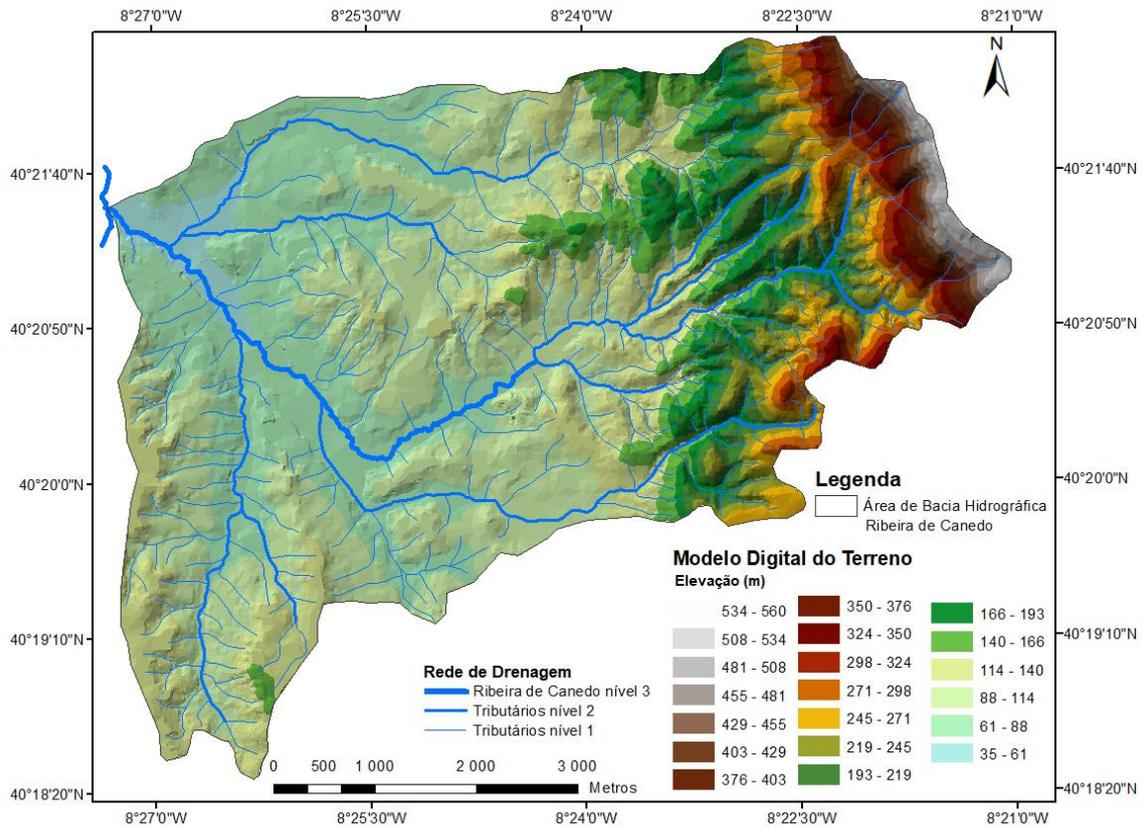


Figura 3.4: Mapa da zona estudada - bacia hidrográfica de Ribeira de Canedo - com representação do Modelo Digital do Terreno e da rede de drenagem (imagem criada em software ArcGis® 10.2.2, com base de dados digitais e vetorizados da altimetria da Carta Militar nº219).

O regime de escoamento superficial desta bacia é maioritariamente intermitente, com a linha de água principal (Ribeira de Canedo) a ter regime perene, na maioria do seu trajeto. Excetuam-se a região mais central do seu trajeto, coincidente com o contacto de substrato de origem calcária-dolomítica. Contudo, em anos mais secos esta acaba também por secar, favorecendo o aparecimento de pequenos charcos.

As zonas mais centrais da Ribeira de Canedo aluvionares e naturalmente mais deprimidas e com depósitos sedimentares, costumam apresentar água ao longo do ano hidrológico, por vezes sobre a forma de charcos ou com velocidades de escoamento muito baixas. Estas zonas deprimidas onde se insere esta ribeira, constitui uma zona de máxima infiltração, prevista e delimitada no Plano Diretor Municipal do Concelho de Mealhada.

Os restantes tributários são de regime intermitente a efémero, com exceção de alguns no setor mais oriental, que poderão apresentar curso perene na maioria do ano, muito devido às nascentes perenes da Serra do Buçaco, e à presença de pequenos açudes e mini-hídricas para aproveitamento agrícola e inseridos na reserva estratégica de prevenção a incêndios florestais.

Da análise do perfil longitudinal da Rib^a de Canedo (Figura 3.5), criado com base nos dados altimétricos da Carta Militar nº 219, à escala 1/25000, conclui-se que os primeiros 3000 m a partir do extremo E (montante) são muito declivosos, com variações de altimetria a rondarem os 300 a 350 m.

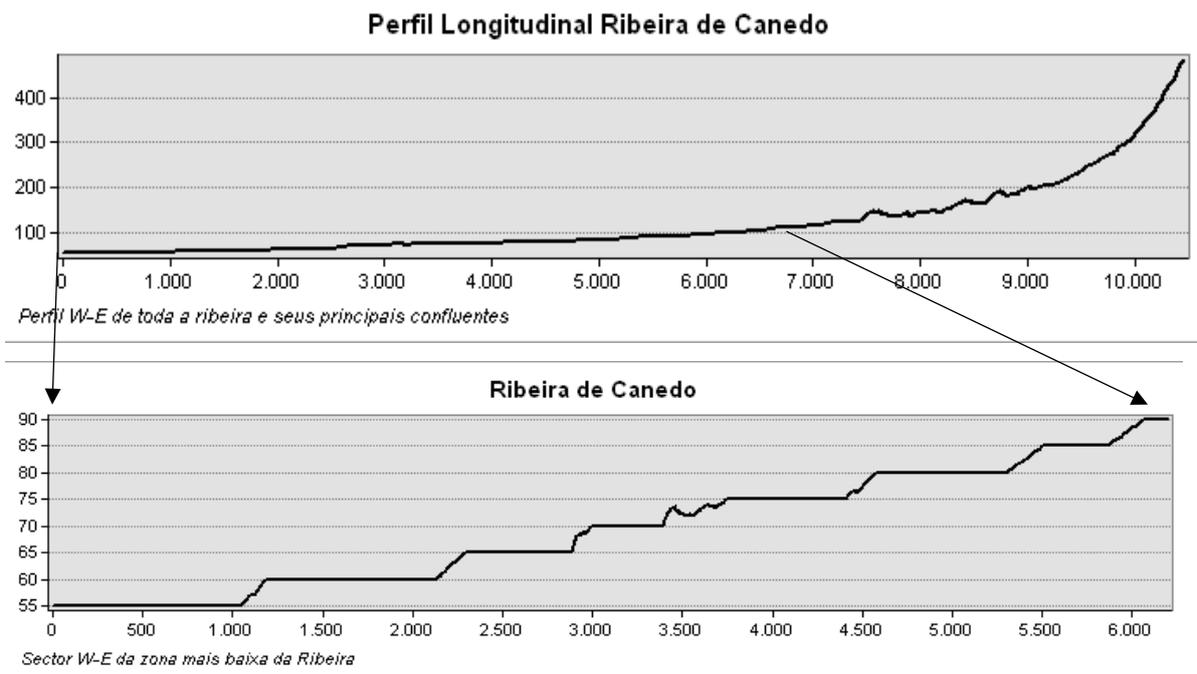


Figura 3.5: Perfil longitudinal da Ribeira de Canedo desde a origem dos vários tributários nas cumeadas da Serra do Buçaco até à confluência com a Ribeira de Lendiosa, obtido em software ArcGis® 10.2.2. O gráfico inferior mostra de forma exclusiva o perfil longitudinal da Ribeira, desde a sua origem como curso de água unitário.

Os restantes troços (com uma extensão de 6500 m a 7000 m), após a confluência das Ribeiras de Santa Cristiana e de Cerejo, o perfil é mais suave com diferenças altimétricas de rondar os 40 a 45 m, com o percurso a efetuar-se maioritariamente em escadaria.

3.2.1 Caracterização morfométrica da bacia

Com base em elementos obtidos no software ArcGis® 10.2.2 e a partir da leitura da Carta Militar nº219, da criação do Modelo Digital do Terreno (MDT) e da vectorização da rede de drenagem, efetuou-se a caracterização morfométrica da área de Bacia hidrográfica Ribeira de Canedo (Tabela 3.1).

Tabela 3.1: Dados morfométricos da bacia hidrográfica da Ribeira de Canedo (BhRC), com base nos elementos de caracterização morfométrica de bacias hidrográficas, disponível em Azevedo (2016).

Caracterização morfométrica da zona estudada - bacia hidrográfica de Ribeira de Canedo		
Parâmetro		Valor
P	Perímetro (km)	30,20
A	Área Plana Total (Km ²)	37,78
L _t	Comprimento das Linhas de Água (m)	115.645,4
L	Comprimento da maior Linha de Água (m)	15.664
H _{máx}	Cota Máxima (m)	550
H _{mín}	Cota Mínima (m)	53
H _{méd}	Altitude Média (m)	301,5
K _{ma}	Coefficiente de Massividade (kma)	7,87x10 ⁻⁰³
K _c	Coefficiente de Compacidade (kc)	1,38
K _f	Fator de Forma (kf)	0,15
K _a	Índice de Alongamento (ka)	0,25
K _h	Coefficiente de homogeneidade (kh)	3,84
K _o	Coefficiente orográfico (ko)	2,34
D _d	Densidade de drenagem (km-1)	3,06
p _{med}	Percurso Médio de Escoamento (m)	0,16
Adaptado de Azevedo 2016		

Da análise dos parâmetros morfométricos presentes na Tabela 3.1 é possível aferir que:

- Trata-se de uma bacia hidrográfica relativamente extensa, que, de acordo com o coeficiente orográfico (ko), apresenta um relevo geral pouco a mediamente acentuado.

- Os resultados traduzem uma bacia hidrográfica com fator forma (kf) baixo, indicando que é uma bacia hidrográfica muito pouco quadrada e com um coeficiente de compacidade (kc) próximo de uma bacia hidrográfica circular.

- De acordo com o coeficiente de homogeneidade (kh), é possível indicar que corresponde a uma bacia alongada e pouco ovoide.

- A densidade de drenagem é razoável e relativamente bem desenvolvida, com um valor médio de 3,0 km/km², com um percurso médio de escoamento de 0,16 relativamente baixo, favorecendo a infiltração ao longo da bacia hidrográfica.

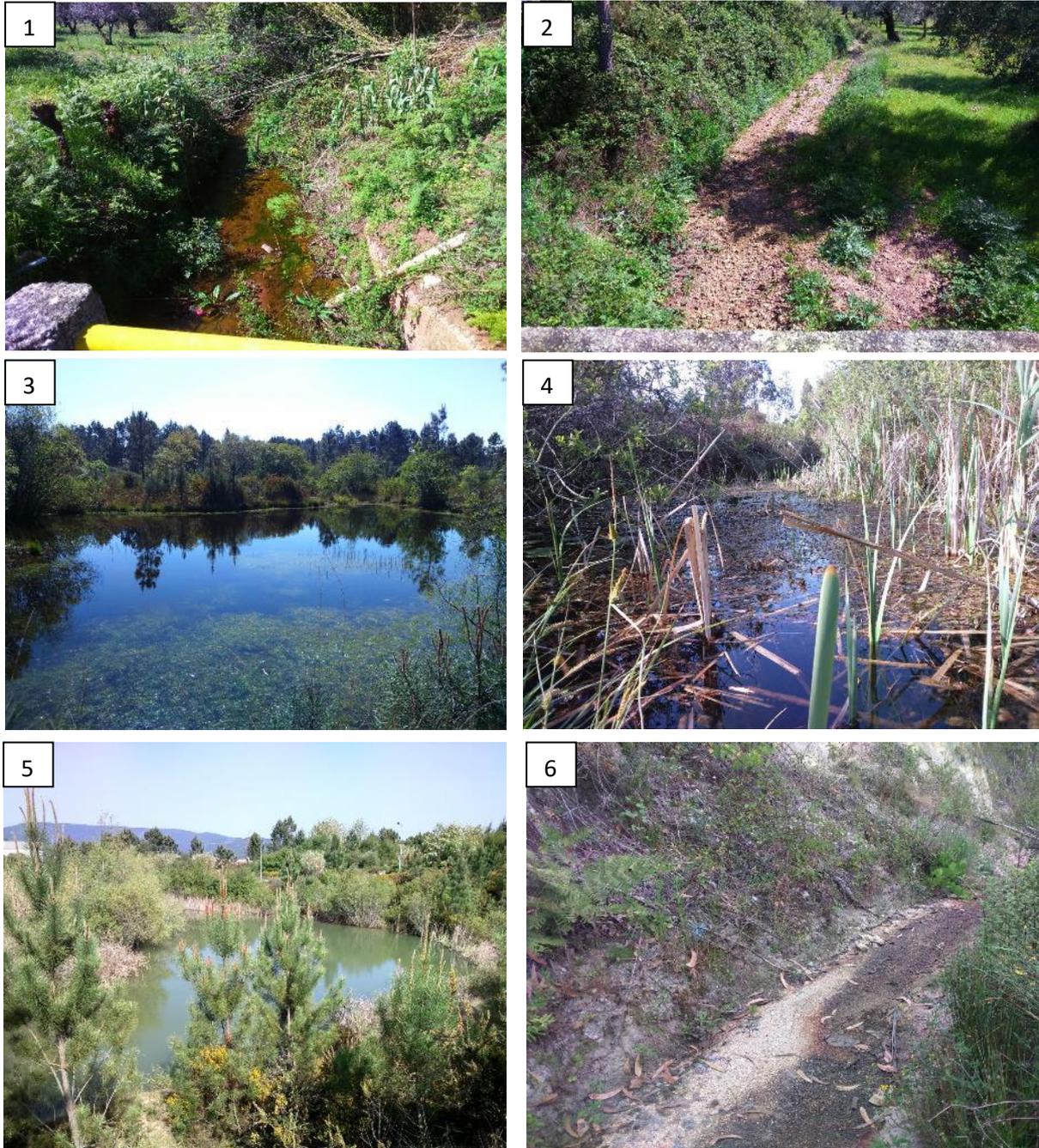


Figura 3.6: Aspectos das várias zonas e ribeiras localizadas na área de estudo tiradas em abril (1-4) e junho (5-6). Fotos 1 e 2 correspondem à mesma ribeira (Ribeira de Raposeira), situada na região Este, que ao longo do seu trajeto, sensivelmente 1 km entre cada fotografia, se observou estar seca para jusante, coincidente com a passagem de substrato arenítico e detrítico para calcário. Fotos 3 e 4 correspondem a uma zona central da área de estudo, na região de Pampilhosa do Botão, constituída por zonas de charcos de água. Fotos 5 e 6, correspondem à zona mais W da bacia hidrográfica, caracterizado por ter variações de substrato rochoso permeável e impermeável e onde os níveis freáticos se encontram regularmente muitos próximos da superfície.

3.3 Enquadramento geológico

Dado que não existe o setor 19-B da Carta geológica 1:50.000, da zona em estudo (BhRC), nem a respetiva Notícia explicativa, o desenvolvimento deste subcapítulo teve como base as Cartas geológicas 1:50.000, Folhas 19-A e 19-D e as respetivas Notícias explicativas. Para além dos elementos referidos, também se utilizaram os excelentes trabalhos realizados por Dinis (2004; 2006).

Ao longo da região de estudo, tanto a idade como a variabilidade geológica são bastante diversificadas. De acordo com o mapa geológico apresentado em Dinis (2004), ocorrem nesta região formações rochosas com idades desde o Pré-câmbrico e Paleozóico – formações metamórficas, cristalinas e bastantes alteradas, até formações de idades Plio-Quaternárias, de natureza detrítica e menos competentes e compactas.

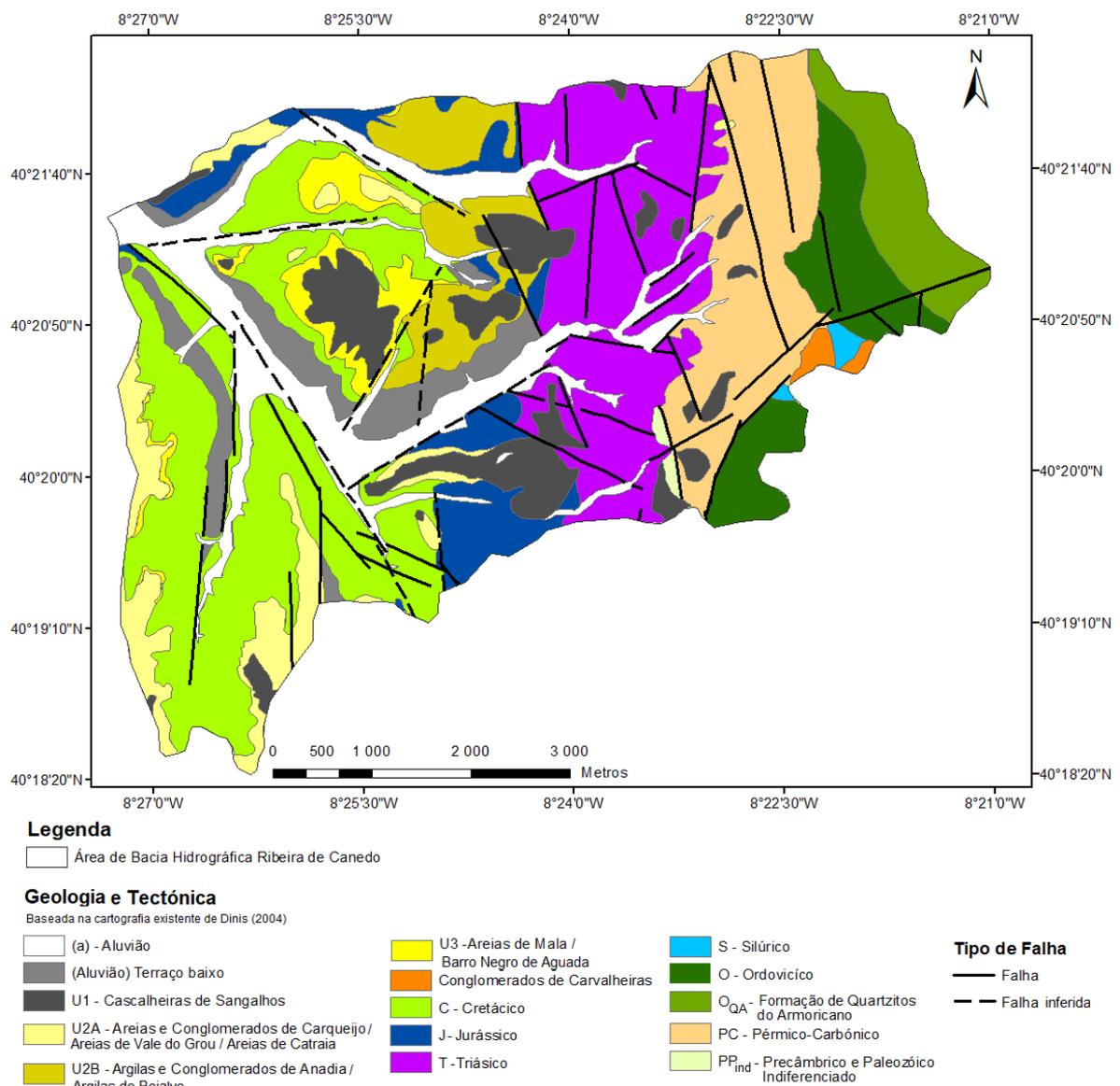


Figura 3.7: Carta geológica da zona estudada - Bacia hidrográfica da Ribeira de Canedo (construída com software ArcGis® 10.2.2 a partir da Carta geológica à escala 1:50.000 de Dinis, 2004).

Importa referir que a nomenclatura usada é a mesma utilizada das Cartas Geológicas (1/50.000) e respetivas notícias explicativas, excetuando a nomenclatura usada para as unidades geológicas Plio-Quaternárias de Dinis (2004), cuja as suas nomenclaturas foram definidas posteriormente, em Dinis (2006). Do conjunto de unidades geológicas Plio-quaternárias, definidas por Dinis (2004), as subunidades geológicas não descritas, não ocorrem na região em estudo.

No domínio estudado Bacia hidrográfica Ribeira de Canedo (BhRC) e por ordem cronológica crescente, ocorre a seguinte sequência litostratigráfica:

Cobertura Cenozóica - Plio-Quaternária

Aluvião (a) (Quaternário) - Unidade sedimentar terrígena e detrítica, não consolidada, constituída por sedimentos soltos tais como areias, argilas, siltes, cascalheiras soltas, entre outros depósitos co - aluvionares (Paiva, 2015, p. 20), de espessura e dimensões muito variável na região de estudo.

(U1) - Cascalheiras de Sangalhos (Dinis, 2004) - constituída maioritariamente por conglomerados muito angulosos e mal calibrados, predominando calhaus de quartzo e quartzito angulosos, podendo também conter sedimentos e fragmentos de rochas detríticas e metamórficas sedimentares. A matriz desta unidade é do tipo arenoargilosa de tons vermelhos a castanhos (Dinis, 2004). Apresentam espessuras muito baixas, por vezes inferiores a 1 metro.

(U2B) - Argilas de Boialvo -Argilas e Conglomerados de Anadia (Dinis, 2004)

Argilas e Conglomerados de Anadia - Caracteriza-se por ser uma unidade sedimentar constituída por sedimentos areno-argilosos e conglomerados, alternados entre si. Nesta região, a espessura ronda os 7 metros máximo. Os clastos encontrados ao longo desta formação são na maioria quartzo, quartzito e grés silicificado, geralmente mal calibrados, angulosos e heterogéneo no que toca a calibração geral ao longo desta formação. Também ao longo desta formação, é possível encontrar metassedimentos e alguns seixos rolados. A graduação dos clastos, nesta formação, tende a ser mais angulosa à medida que se evolui para níveis superiores (Dinis, 2004). A matriz desta unidade é arenoargilosa, pouco consistente e compactada, com tonalidades diversas como avermelhado, cinza e amarelado.

(U2A) - Areias e conglomerados de Carqueijo - Areias de Vale de Grou- Areias de Catraia (Dinis, 2004)

Areias e conglomerados de Carqueijo - Unidade assente em discordância angular sobre as Areias de Mala (Dinis, 2004), constituída por sedimentos arenosos e conglomeráticos, envoltos numa matriz arenoargilosa fina de tons amarelados a avermelhados. Os clastos arenosos e conglomeráticos são de quartzo, quartzito e grés silicificado, geralmente bem rolados. Esta unidade sedimentar pode apresentar na região uma espessura máxima entre 3 a 4 metros.

(U3) - Areias de Mala - Barro Negro de Aquada (Dinis, 2004)

Areias de Mala - Apresentam uma expressão e heterogeneidade razoável em todo o vale do Cértima. Nesta região de estudo, ocorrem como estruturas pouco espessas rondando os 0,5 a 3,5 metros e os 5 a 6 metros de espessura possível máxima. Esta formação é constituída essencialmente por areias finas, micáceas a arcósicas e com grande grau de calibração. Sobretudo no topo desta unidade, apresentam intercalações de níveis conglomeráticos e também com a presença em alguns setores de areia mais grosseira e seixos de quartzo e quartzito. É uma unidade constituída maioritariamente por areias de tons amarelos, podendo variar para tons mais avermelhados, devido a possíveis contactos de sedimentos mais recentes de outras unidades.

Conglomerados de Carvalheiras (Dinis, 2004) - Unidade litológica constituída essencialmente por sedimentos conglomeráticos mal calibrados, pouco consolidados e com seixos dispersos, podendo apresentar intercalações de clastos xistentos ou quartzíticos, juntamente com grés rico em sílica (silicificado) e argilas. A matriz desta unidade sedimentar é do tipo argilosa e apresentam tonalidades maioritariamente vermelhas, com pequenas machas de tons brancos e cinza. Esta unidade localmente, encontra-se sobrejacente aos xistos do Complexo Xisto-Grauváquico e Grupo do Buçaco.

Cretácico

C²_{Bu} - Formação de Buçaqueiro (Reis e Cunha, 1989a) - Constituída na sua maioria por sedimentos detríticos tais como arcoses com alguma esmectite e quartzarenitos pouco competentes e maturos com alguma caulinite e levemente conglomeráticos. Poderão apresentar de forma intercalada alguns filitos ou metagrauvaques com tonalidades brancas, com algumas intercalações de tons vermelhos e amarelados (Soares *et al.*, 2005). Constitui uma unidade equivalente com a Formação de Taveiro (Soares *et al.*, 1983 *in* Soares *et al.*, 2005).

C²_{Vi} - Formação de Viso (Arenitos e Areias de Viso) - Esta formação é essencialmente constituída por areias e argilas de tons vermelhos e/a esverdeados, apresentando algumas intercalações de argilas mais gresosas e margosas de tons amarelados a cinza e pouco consolidadas. Estas por vezes podem-se encontrar intercaladas com camadas carbonatadas finas ou sedimentos carbonatados soltos. A secção arenítica caracteriza-se por ser fina, bem calibrada muito semelhantes a sedimentos de coberturas superiores. Estão assentes sob coberturas eólicas de sedimentos finos das Areias Gândara Tende se ser um formação bastante fossilífera e espessuras muito variáveis, entre os 20 e 130 metros. (Barbosa *et al.*, 1988).

C²_{Oi} - Formação de Oiã - Formação litológica macroscopicamente muito semelhante à Formação de Figueira da Foz, constituída por arenitos e conglomerados (Dinis, 2004). É maioritariamente formada por arcossarenitos e quartzarenitos de grão fino a médio bem consolidada e matriz silto-argilosa. Tem tonalidades entre vermelho ferruginoso, violeta ou amarelo, podendo conter seixos mal calibrados e sedimentos pelíticos e petrograficamente e estrutural semelhantes à Formação de Arenitos do Carrascal /Formação Figueira da Foz. A espessura média desta formação varia entre os 10 e 20 metros (Barbosa *et al.*, 1988).

C²_{Fu} - Formação de Furadouro - Formação constituída por uma subunidade inferior quartzarenítica e micácea bastante fina, de tons amarelados e castanhos evoluindo para arcoses de grão grosseiro a muito grosseiro nos níveis superiores, de tons amarelos torrados. Nestes níveis mais superiores é comum ocorrerem seixos de quartzo de pequenas dimensões, mal calibrados e muito angulosos. Apresenta espessuras médias de 10 a 20 metros (Barbosa *et al.*, 1988).

C²⁻³_{Te} - Calcários de Tentúgal = Calcários de Costa d'Arnes - Unidade constituída por uma sequência de calcários, calcários margosos, grés calcários e margas de textura concrecionada ou apinhoadas, de superfície lapiezada (Almeida *et al.*, 2000), em camadas ou níveis definidos desde Choffat, P. (1897) *in* Barbosa *et al.* (1988), com as unidades margosas a serem sucessivamente mais espessas para a base desta formação (PGHB, 2012). Alguns níveis desta unidade, ocorrem bancadas de calcário compacto, cristalino, muito competente e praticamente inalterado de espessura variável entre 1 a 2,5 metros (Barbosa *et al.*, 1988). A espessura geral desta unidade varia entre os 10 e 40 metros, com os níveis mais espessos os limites mais a SW (Soares, 1966 *in* Barbosa *et al.*, 1988).

C¹⁻²_{Cr} - Arenitos de Carrascal (Rocha et al., 1981) = C¹⁻²_{FF} - Formação da Figueira da Foz (Dinis, 1999, 2001) - Formações geológicas sedimentares equivalentes e de carácter areno-conglomerático. É constituída por camadas intercaladas de arenitos submaturos a imaturos, de grão fino a grosseiro e mediamente argiloso (quartzarenitos e arcosenitos), com conglomerados claros intercalados. Caracterizam-se por ser muito cascalhentos e conterem muitos seixos maioritariamente de origem quartzosa, mal calibrados passando a leitões pelíticos por vezes, e que preencheram cavidades e outros sulcos (Barbosa et al., 1988). Tendem a apresentar granulometrias tendencialmente menores para o topo da formação (Barbosa et al., 1988). Apresentam tonalidades brancas a cinzentas, com variadas manchas amarelas, vermelhas ou violetas, ricos em vestígios e compostos orgânicos e com evidentes sinais de oxidação (Soares et al., 2005). A espessura de unidade pode variar entre os 50 - 150 metros no caso dos Arenitos do Carrascal (Barbosa et al., 1988) e 150 – 300 metros referente à Formação de Figueira da Foz (Soares et al., 2005). Encontram-se depositadas em discordância angular sobre formações mais antigas e datadas do Jurássico (Almeida et al., 2000).

Jurássico Inferior e Médio (J¹)

Na área de estudo, apenas ocorrem rochas sedimentares de unidades dos Jurássico Inferior e parte do Jurássico Médio (J¹), entre as épocas do Hetangiano ao Aaleniano inferior.

J¹_{sg} - Formação de São Gião (Barbosa et al., 1988) - Composta por camadas de sedimentos margo-calcários, na sua maioria formada por margas. Estas margas apresentam tonalidades cinzas e contêm grande diversidade de fósseis. Estão dispostas em camadas decimétricas a centimétricas para o topo (Dinis, 2004). Intercalada entre as camadas calcó-margosas encontram-se calcários nodulosos, do tipo micrítico, microcristalinos e calcisiltíticos, por vezes com sedimentos detríticos quartzosos e micáceos *in* Soares et al. (2005). Esta unidade é bastante espessa e na região pode rondar entre os 200 e 300 metros de espessura máxima (Dinis, 2004).

J¹_{le} - Formação de Lemedé (Barbosa et al., 1988) - Constituída maioritariamente por camadas de calcários margosos e calcários micríticos, alternados entre si e separados por níveis bastante margosos. Apresentam tonalidades essencialmente cinzentas, com algumas camadas a demonstrarem tons mais amarelados. As bancadas das camadas desta unidade são geralmente pouco espessas, raramente passando os 2 metros de espessura (Soares et al., 2005) e variando em os 10 a 50 metros de espessura máxima para esta unidade geológica (Dinis, 2004).

J¹_{VF} - Formação de Vale das Fontes - Unidade essencialmente formada por margas e calcários margosos com camadas margosas espessas, por vezes grumosas e xistentas de tons geralmente cinza escuro e por vezes, localmente, com tonalidades mais castanhas (Barbosa *et al.*, 1988). Estas estão alternadas com níveis ou camadas de calcário margoso, de tons cinza (Barbosa *et al.*, 1988 *in* Soares *et al.*, 2005).

Segundo Soares *et al.* (2005), estas camadas de calcário margoso constituem “sequências elementares decimétricas individualizadas por superfícies de *hardground*”, com componente margosa sempre mais espessa que a calcária. Esta unidade apresenta uma espessura variável entre os 70 e 90 metros (Dinis, 2004), com forte laminação e nos níveis margosos a sofrerem fenómenos de bioturbação, com fragmentos carbonosos e muito rico em fósseis tais como amonóides (Soares *et al.*, 2005).

J¹_{Co} (J¹_{Co'}) - Formação de Coimbra (Camadas de Coimbra e S. Miguel) - Formada essencialmente por unidades dolomíticas e calcárias, por vezes muito compactados e com níveis margosos, por vezes xistentos e níveis betuminosos mais finos (Dinis, 2004). Integra as subunidades de Camadas de Coimbra e Camadas de S. Miguel, ambas muito semelhantes, bastante interrelacionadas entre si e com intensos processos de redolomitização que dificultam por vezes a individualização destas subunidades (Soares *et al.*, 2005).

As Camadas de Coimbra são essencialmente, formadas por bancadas de calcário dolomítico espessos e estrato-decrescentes, de tons amarelados a acastanhados e estratificação fina e praticamente horizontal ou subhorizontal. Apresentam por vezes níveis dolomíticos mais margosos, de tonalidades brancas a cinza e de estratificação fina. Encontram-se bastante alteradas, com o processo de dolomitização muito avançado, sobretudo nas zonas inferiores destas camadas, e sinais de formação de pseudo-brechas locais e associadas a lenticulas negras gipsíferas e clastos dolomicríticos cinzentos (Soares *et al.*, 2005).

As Camadas de S. Miguel são formadas por bancadas decimétricas de calcários pouco alterados a calcários dolomíticos de tons cinza a castanhos estando alternados com níveis finos de margas cinzentas. Esta subunidade é muito fossilífera e nos níveis superiores tornam-se mais espessos e por vezes biodetríticos (Soares *et al.*, 2005).

O ambiente de sedimentação destas fáceis, traduzem organizações litorâneas com edificação subsequente de prismas em zonas *offshore* de rampa monoclinal. A espessura total desta unidade na região, ronda os 110 metros máximos (Soares *et al.*, 2005).

Jurássico inferior - Triássico

Grupo de Silves (Palain, 1976)

Este grupo corresponde a um conjunto de unidades litoestratigráficas muito semelhantes entre si, de natureza detrítica/arenosa e por vezes arcósica (Dinis, 2004), com interpolação de sedimentos na sua maioria de origem continental e deposição preferencialmente fluvial a lacustres e sedimentos calco-margosos. Relacionam-se o início do ciclo alpino (Ribeiro *et al.*, 1979) e ao longo desta região apresentam de forma regular, uma série de alinhamentos e contactos estruturais (Dinis, 2004).

J¹_{Pe} - Formação de Pereiros (Palain, 1976) - Caracteriza-se por ser uma formação sedimentar tipicamente formada alternâncias de três subunidades sedimentares e com deposição e geometria preferencialmente tabular, sendo elas constituídas por dolomias gresosas, sedimentos do tipo grés, e dolomias gresosas e margas. Estas subunidades integram pelitos areno-margosos de tons cinza a roxo, arenitos micáceos amarelados, dolomiticos gresosos de tons amarelados, sedimentos arcósicos pouco maduros de tons castanhos a brancos, com alguns clastos de quartzo e intercalações de fragmentos carbonosos (Soares *et al.*, 2005). Constitui a camada superior do Triássico, com espessura máxima, nesta região a rondar 50 metros, podendo apresentar em níveis superiores deposição de sedimentos calcários do tipo dolomítico e margas (Dinis, 2004).

T_{CV} - Formação de Castelo Viegas (Palain, 1976) - Apresenta-se desconforme com a formação subjacente (Formação de Conraria) sendo maioritariamente formada por camadas arenosas e conglomeráticas alternadas (Soares *et al.*, 2005). Nas camadas de gresosas/arenosas, nos seus limites inferiores é possível encontrar sinais de sedimentação ferrosas, passando gradualmente para sedimentação siliciosa e carbonatada (Dinis, 2004). Estas formações apresentam cor preferencialmente vermelha acastanhada, com as secções mais gresosas e arcósicas com tons mais cinzas e rondam os 100 metros de espessura máxima registada. Os conglomerados costumam conter quartzo e quartzito e para níveis mais superiores pelitos/xistos (Soares *et al.*, 2005).

T_{Cr} - Formação de Conraria (Palain, 1976) - Unidade inferior do Triássico e em discordância com formações do pré-câmbrias e paleozóicas do Maciço Antigo. Constituída na base por arenitos, arcoses e conglomerados muitos grosseiros e imaturos/ mal calibrados, com sinais compactação e de cimentação ferrosa e de tonalidades alaranjadas a muito avermelhadas (Soares *et al.*, 2005), com geometria essencialmente lenticular e por vezes intercaladas com material pelítico (Dinis, 2004).

Os limites superiores desta formação são constituídos por sedimentos pelíticos, arenosos e siltitos, com algumas intercalações carbonatadas (calcários dolomíticos). Este

setor superior da formação apresenta geralmente tonalidades na mesma avermelhadas, com tons mais violetas e escuros. Esta camada constitui a camada mais espessa do Grupo de Silves rondando os 300 metros de possança máxima.

Silúrico

S_{Sa} - Formação de Sazes - Constitui uma unidade Xistos com nódulos atribuída por Delgado (1908), tendo sido denominada por Formação de Sazes por Paris (1981). É constituída por metapelitos escuros e carbonosos, com parcas intercalações de níveis de quartzitos finos escuros e pequenas lentículas de calcário. Tectonicamente está em contacto por falha com sedimentos do Ordovícico (Young, 1988). Contém grande diversidade fossilífera que pode ser consultada em Delgado (1908).

Ordovícico

Grupo de Venda Nova e de Rio Ceira

Definido por Young (1988.), caracteriza-se por ser um grupo constituído por várias Formações geológicas, subdivindo-se em Grupo de Venda Nova que integra a Formação de Porto de Santa Ana (anteriores unidades de xistos diabásicos de Delgado (1908) e no Grupo do Rio Ceira integrando as Formação de Ribeira do Braçal e Formação da Ribeira Cimeira (Young, 1985; 1988 *in* Soares *et al.*, 2005). Este grupo vasto apresenta uma baixa expressão em afloramento na área de estudo, estando restrito somente ao flanco interior da Serra do Buçaco.

O_{CC} - Formação de Casal Carvalhal - Corresponde a uma unidade litológica formada essencialmente por xistos arenitos com clastos (pebbly siltstones e pebbly muddy sandstones), com clastos formados de calcários, arenitos, siltitos e ferro oolítico (Young, 1985; 1988 *in* Soares *et al.*, 2005). A dimensão destes clastos é variável podendo atingir os 45 m de diâmetro (Soares *et al.*, 2005).

O_{RB} - Formações de Porto de Santa Ana, de Ribeira do Braçal e de Ribeira Cimeira indiferenciadas - Formação de Porto de Santa Ana (Grupo de Venda Nova) é constituída por sedimentos tufíticos ricos em ferro oolítico, numa sequência curta de 2 a 3 metros de espessura (Young, 1987 *in* Soares *et al.*, 2005). Sobre a unidade anterior, assenta a Formação de Ribeira do Braçal (Grupo do Rio Ceira), sendo constituída alternadamente por argilitos e siltitos tendencialmente mais grosseiros para o topo desta unidade (Soares *et al.*, 2005). Constitui uma formação geológica é muito rica em fauna fóssil, com espessuras médias na ordem dos 17 m, indicando uma sequência regressiva (Young, 1987 *in* Soares *et al.*, 2005).

Assente sobre a unidade anterior (Formação de Ribeira do Braçal), de forma discordante na forma de um plano erosivo, encontra-se a Formação de Ribeira Cimeira (Grupo

do Rio Ceira). É constituída por arenitos conglomeráticos e rochas vulcânicas variadas, sendo mais notável na parte N do Sinclinal (Young, 1987 *in* Soares, *et al.*, 2005). A espessura desta unidade ronda os 24 metros e a espessura total média deste grupo de unidades geológicas indiferenciadas ronda os 45 metros (Soares *et al.*, 2005).

O_{Lo} - Formação de Louredo (Grupo de Sanguinheira) - Caracteriza-se por ser uma formação constituída por arenitos finos em bancadas decimétricas e intercaladas por metapelitos cinzentos a negros e por vezes espessos (Mittchel, 1974 *in* Soares *et al.*, 2005). De acordo com este autor, e aceite também por Young (1985,1988). No topo desta unidade e no contacto com a formação superior (Grupo de Venda Nova), existe uma camada muito rica em ferro oolítico, que traduzem hiatos sedimentares. Contém muitas evidências fósseis de ambientes marinhos. A espessura desta Formação pode rondar um máximo de 200 metros e por vezes contém rochas ígneas (diábases) até 100 de espessuras máximos (Soares, *et al.*, 2005).

Grupo de Cácemes

O_{MF} - Formação de Monte da Sombadeira, de Forte da Horta, de Cabril e Carregueira indiferenciadas (Grupo de Cácemes) - São formações essencialmente metapelíticas de cor escura a negra com intercalações centimétricas a decimétricas de metarenitos finos e metasiltitos. Por vezes e na formação indiferenciada de Forte da Horta estas unidades metapelíticas aparecem com nódulos e parcas unidades metaareníticas. Correspondem ou tiveram origem em ambientes de plataforma aberta com grande acumulação sedimentar. Apresentam grande dispersão e diversidade fossilífera (Cooper, 1980 *in* Soares, *et al.*, 2005).

O_{BF} - Formação de Brejo Fundeiro (Grupo de Cácemes) - Caracteriza-se por ser uma formação metapelítica intercalada com bancadas de metasiltitos e metarenitos finos, por vezes em forma de nódulos. A sua espessura ronda os 100 metros e é característica de ambientes de formação de plataforma aberta onde houve o acarreio de sedimentos (Cooper, 1980 *in* Soares, *et al.*, 2005)

O_{QA} - Formação do Quartzito Armoricano - Corresponde a unidade geológica com grande expressão regional, no Maciço Antigo (Zona Centro-Ibérica) constituída por Unidades de quartzitos com fósseis *Scolithus* e *Vexillum* e quartzitos com bilobites (Delgado, 1908 *in* Soares *et al.*, 2005) integram as unidades bases desta formação. É constituída por quartzitos claros, dispostos em bancadas subhorizontais a verticais decimétricas a métricas, com intercalações de conglomerados a microconglomerados sobretudo na sua base. de cores mais avermelhadas, também designados por “Grauvaques vermelhos inferiores” (Delgado 1908 *in* Soares *et al.*, 2005). Na evolução para o topo desta formação, esta apresenta-se em

bancadas mais alongadas e com intercalações de quartzitos xistóides e metapelitos (Soares *et al.*, 2005). Apresentam uma restrita expressão na área de estudo, estando localizada somente numa pequena parte a Este, sendo parte integrante e estrutural da Serra do Buçaco.

Pré-Câmbrico

P_{SN} - Série Negra (Soares *et al.*, 2005) - Corresponde a um conjunto de metassedimentos constituídos por metagrauvaques, metaquartzovaques e filitos cinzentos escuros ou negros alternados entre si e com espessuras variáveis. Constitui uma sequência turbidítica rica em níveis de quartzo e associações de algumas intercalações de cherts negros e rochas carbonatadas (Soares *et al.*, 2005). Encontram-se em contacto com rochas pertencentes à Formação do Grupo das Beiras e à Formação de Quartzito Armoricano, e ao longo do alongamento N-S desta Formação da ZOM é possível identificar algumas rochas básicas (ação eruptiva), sob a forma de massas, diques e filões (Soares *et al.*, 2005). As tonalidades escuras cor escura desta formação indica que é muito rica em matéria orgânica e tal pôde ser evidenciado no reconhecimento de campo com o levantamento de bancadas sub-horizontais de carvão de variadas etapas caloríficas.

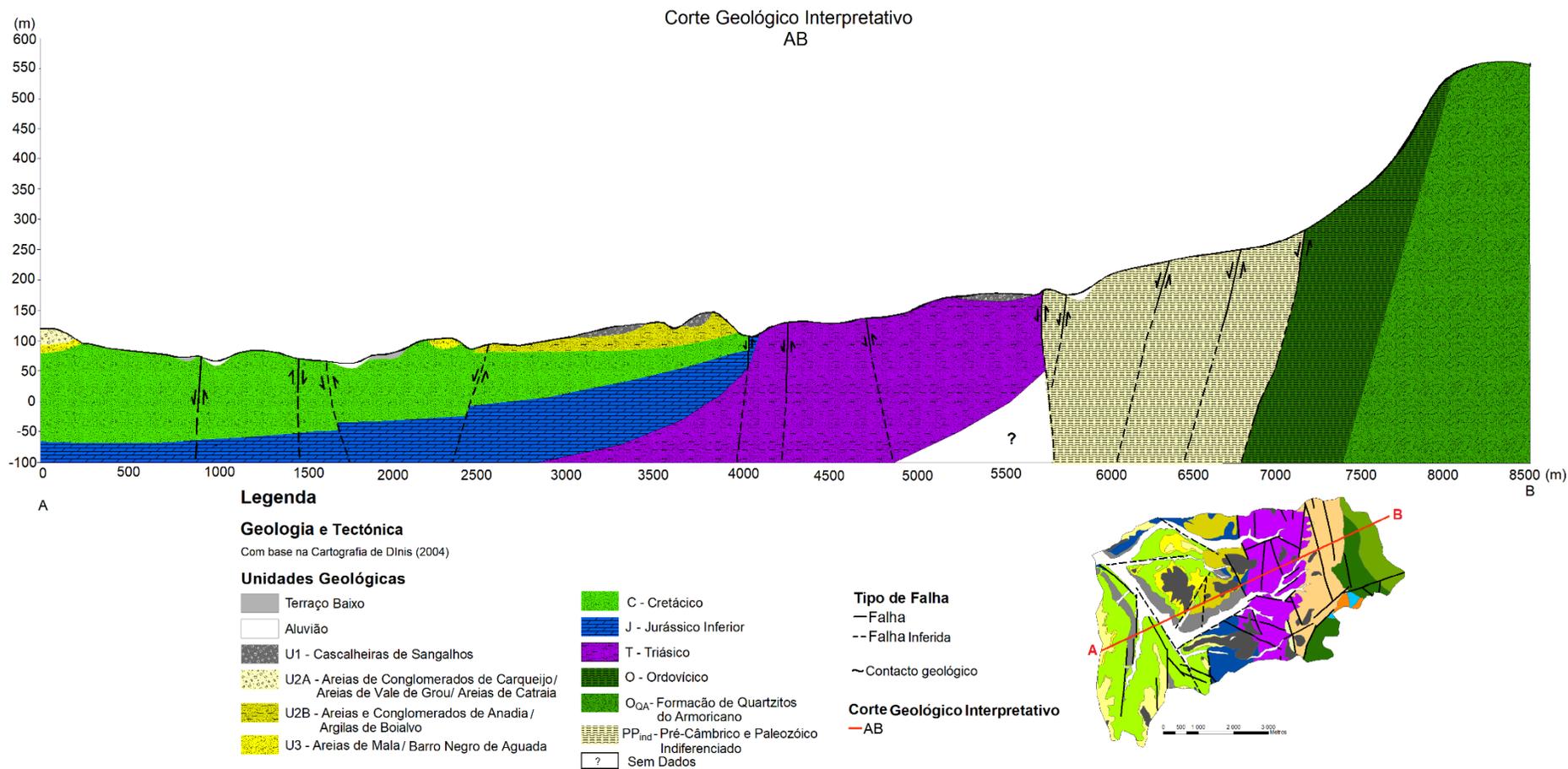


Figura 3.8: Corte geológico A-B, interpretativo da área em estudo (criado em software ArcGis® 10.2.2, com base na Cartografia geológica de Dinis, 2004).

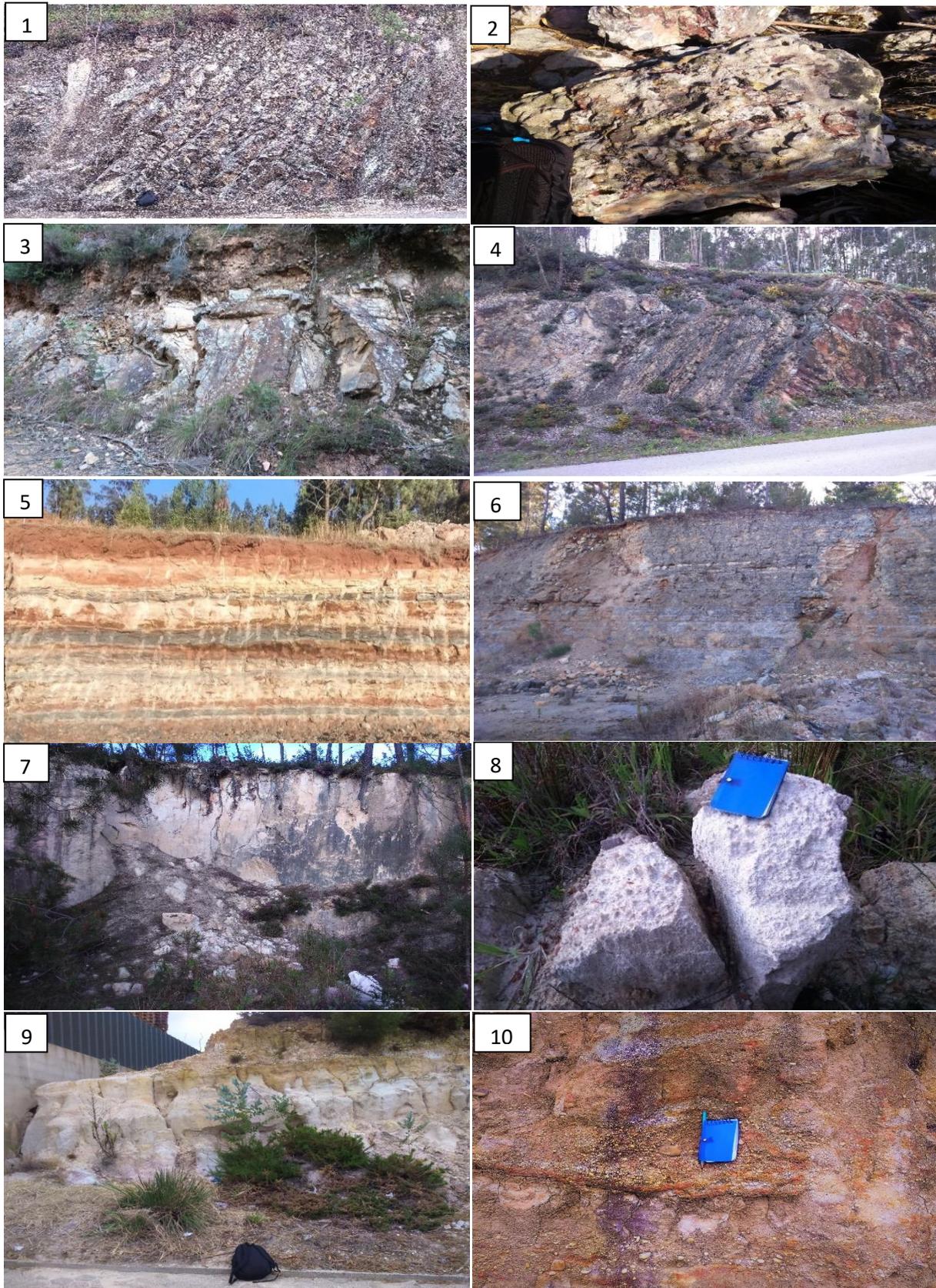


Figura 3.9: Aspectos das diversas litologias e estruturas tectónicas existentes na zona estudada: (1-2) - afloramento de unidades geológicas da Formação do Quartzito Armoricano; (3) - unidades xistentes da Série Negra, (4) - zona de cisalhamento da Falha Porto - Tomar, (5) - unidades detríticas e calcárias do Grupo de Silves, (6) - unidades de calcários dolomíticos da Formação de Coimbra, (7-8) - Formação de Furadouro, (9) - Formação de Oiã e (10) - unidade geológica Areias e Conglomerados de Carqueijo, com camada de alteração superficial.

3.4 Enquadramento hidrogeológico

Nos terrenos da área estudada evoluem três Sistemas aquíferos (Fig. 3.10): Sistema Aquífero do Cárstico da Bairrada (O3); Sistema Aquífero de Tentúgal (O5) e Sistema Aquífero do Luso (A12).

Para além destes Sistemas aquíferos, a zona também inclui domínios do Maciço Antigo Indiferenciado (A0 x1RH4) e da Orla Ocidental Indiferenciada (O01 RH4), expressos na Figura 3.10, abrangidos pela região da bacia hidrográfica do Vouga (PGBH, 2012).

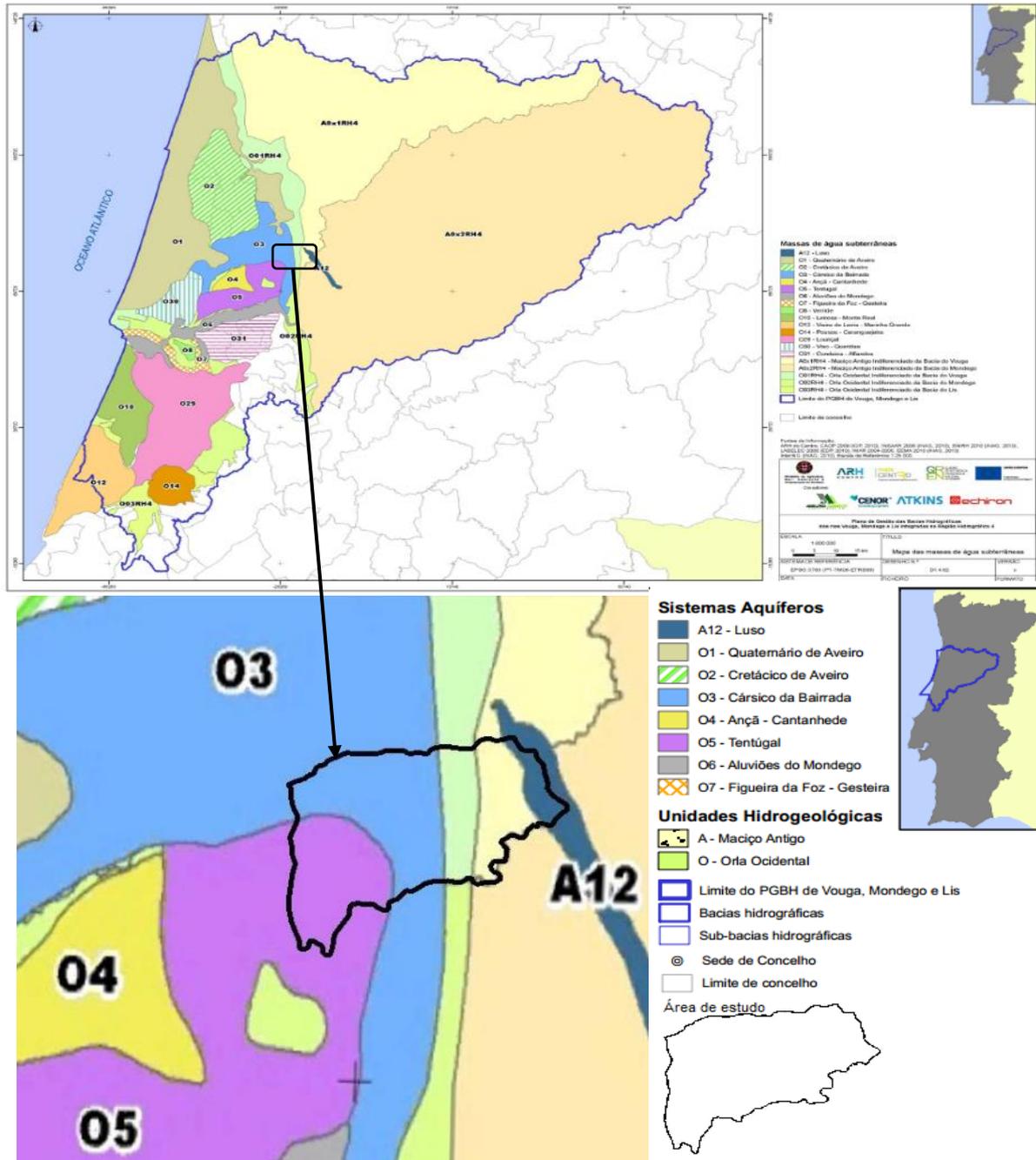


Figura 3.10: Mapa expressando os Sistemas aquíferos e os domínios indiferenciados que evoluem na zona estudada (adaptado de PGBH, 2012).

Os Sistemas aquíferos mais importantes e com maior relevância para a região de estudo são os Sistemas Aquíferos Cársico da Bairrada (O3) e Tentúgal (O5), uma vez que ocupam praticamente 50% na área. O Sistema Aquífero de Luso (A12), apresenta uma expressão bastante reduzida na área em estudo.

Seguidamente caracteriza-se sinteticamente os Sistemas aquíferos Cársico da Bairrada (O3), Tentúgal (O5), Luso (A12) e os domínios indiferenciados do Maciço Antigo Indiferenciado (A0 x1RH4) e da Orla Ocidental Indiferenciada (O01 RH4):

3.4.1 Sistema Aquífero Cársico da Bairrada (O3)

Este Sistema aquífero é bastante extenso, apresentando uma área de 316km² abrangendo vários concelhos dos distritos de Coimbra e Aveiro (PGBH 2012). Integra a zona de delimitação das bacias hidrográficas do Vouga e Mondego, a S de Cantanhede e E pelo vale do Cértima.

As Formações geológicas mais importantes deste aquífero datadas do Jurássico inferior (PGBH, 2012) são depósitos origem calcária e dolomítica, estando alteradas por unidades margosas, menos permeáveis, funcionando como aquíferos. As Unidades geológicas constituintes base deste sistema aquífero multicamada são: do topo para a base e estratigraficamente, a Formação de S. Gião, Formação de Lemedo, Formação de Vale das Fontes e Formação de Coimbra (Almeida *et al.*, 2000).

As unidades geológicas da Formação de Lemedo e da Formação de Coimbra são as unidades consideradas aquíferas e como tal são as que apresentam maiores aptidões hidrogeológicas, traduzindo nos níveis aquíferos fulcrais deste sistema aquífero Cársico da Bairrada (O3). Dentro destas duas unidades hidrogeológicas, as constituintes base da Formação de Coimbra são as mais produtivas, em termos hidrogeológicos (PGBH, 2012). As unidades geológicas mais margosas, que dividem os níveis aquíferos mais produtivos e funcionam como níveis aquíferos são a Formação de S. Gião e a Formação de Vale das Fontes.

Hidrogeologicamente, corresponde a um sistema cársico, de heterogeneidade bastante acentuada, com produtividade mediana de 3,2 L/s muito variável e heterogénea. Observam-se zonas de produtividade elevada e outras com produtividade menor e consequentemente com captações menos produtivas, podendo haver captações a atingir os 90 a 100 L/s e outras com caudais muito baixos na ordem dos 1 L/s (Almeida *et al.*, 2000; PGBH, 2012). Tal facto deve-se tanto as características geológicas das camadas que afloram como também à erosão e o desenvolvimento da carsificação e redolomitização das camadas de calcários serem maiores em certos locais que outros, contribuído para a variação do

coeficiente de armazenamento das unidades aquíferas e respectivas condutividades hidráulicas.

A transmissividade também é bastante heterogénea, com valores médios de 15 a 600 m²/dia nas formações produtivas, podendo variar em zonas de maior carsificação, para 22400 m²/dia e 8x10⁴ de coeficiente de armazenamento (Peixinho de Cristo, 1985 *in* Almeida *et al.*, 2000).

O balanço hídrico apresenta entradas de 10 a 15 hm³/ano e saídas da ordem dos 14 hm³/ano. Cerca de 5 hm³/ano são para abastecimento público dos concelhos abrangentes do distrito de Aveiro. As saídas para regas andam na ordem dos 3 hm³/ano e as indústrias não ultrapassam os 0,5 hm³/ano. Sensivelmente 4,5 hm³/ano corresponde a descargas naturais, correspondendo às exurgências principais de Olhos de Fervença, Arcos, Tamengos e Curia. Segundo Marques da Silva (1990), cerca de 1 hm³/ano corresponde a transferência para o Sistema Aquífero do Cretácico de Aveiro.

A sua recarga é feita sobretudo por infiltração direta das precipitações nas litologias aflorantes ou por drenância a partir dos aquíferos freáticos subjacentes, sendo estes constituídos por formações mais detríticas com permeabilidade provavelmente elevada. A recarga é facilitada maioritariamente pela carsificação mas também pela topografia da zona em geral bastante plana (PGBH 2012).

Constitui um sistema aquífero de morfologia e geodinâmica peculiar, com dois sentidos de fluxo subterrâneo opostos, um para Oeste em sentido a Fervença, no setor ocidental e outro para Este no sentido da bacia do Rio Cértima, no setor oriental (PGBH, 2012).

Do ponto de vista hidrogeoquímico e de acordo com Almeida *et al.*, (2000); PGBH (2012), a qualidade da água subterrânea deste sistema aquífero é considerada como bom estado químico geral. Corresponde a uma água bicarbonatada cálcica.

Apresenta pH a rondar os 7,6 e abaixo dos VMR. O valor da condutividade elétrica, no geral são variáveis e mais altas que os recomendados, com valores médios de concentração natural superiores a 470 µS/cm (PGBH, 2012) de um máximo recomendável 400 µS/cm. Esses valores mais altos encontram-se associados a zonas de maior pressão por parte da indústria e agricultura.

Também apresentam facilidade de contaminação por cloretos (28,3 a 29 mg/L), acima do Valor Máximo Recomendável (VMR) de 25 mg/l. A contaminação por nitratos também pode ser preocupante devido à atividade agrícola intensiva, mas no referido estudo de Almeida *et al.*, (2000) os valores encontram-se abaixo desses limites. De destacar que apenas os valores de pH, ferro, magnésio, potássio e nitratos, se encontram levemente abaixo do máximo recomendável (Almeida *et al.*, 2000).

A vulnerabilidade à salinização é geralmente baixa, com destaque para um potencial de alcalinização maior, ainda que se enquadre em valores baixos, mas com perigosidade alta.

No entanto, no que toca à qualidade da água para consumo humano, no geral a água deste sistema aquífero é de fraca qualidade, com valores de condutividade elétrica, sulfatos cloretos maiores que os VMR ou Valor Máximo Recomendável (Almeida *et al.*, 2000).

3.4.2 Sistema Aquífero de Tentúgal (O5)

Este Sistema Aquífero tem uma área de sensivelmente 162km². Nesta região e um pouco pela sua área, encontra-se disposto em discordância sobre formações litológicas do Jurássico e constituintes do Sistema Aquífero Cársico da Bairrada (O3).

Sobre o ponto de vista hidrogeológico, caracteriza-se por ser um sistema aquífero, essencialmente poroso e do tipo areno-detrítico, com intercalações ligeiramente argilosas e algumas formações de calcários margosos, comportando-se como sistema aquífero maioritariamente livre em níveis superiores a confinado em níveis inferiores (Almeida *et al.*, 2000).

As litologias constituintes, da mais antiga para a mais recente, correspondem às formações de Arenitos do Carrascal, Calcários Tentúgal e Grés de Furadouro, sendo datadas do Cretácico (PGBH, 2012). Em zonas mais baixas e tendencialmente para Sul, este sistema aquífero encontra-se coberto pelos Grés de Oiã (Cretácico superior) e também por depósitos fluviais e aluvionares.

A unidade aquífera mais espessa é a formação de Arenitos do Carrascal, com espessura média de 70 metros, podendo variar entre os 120 a 30 metros. Seguidamente a formação de Grés de Furadouro, com espessuras médias de 15 metros. No caso dos Calcários de Tentúgal, que é a unidade intermédia e que faz a divisão entre as unidades aquíferas superiores e inferiores, a sua espessura ronda os 10 a 40 metros, com os níveis mais espessos a ocorrerem mais a SW dos limites do sistema aquífero (Soares, 1966 *in* PGBH, 2012). Constitui um sistema aquífero de produtividade média geral, com as camadas mais produtivas a serem do tipo arenoso, e com caudais de algumas captações a atingirem 12,8L/s a 20 L/s. A transmissividade média teórica deste sistema aquífero varia entre 14 m²/dia a 21 m²/dia (Almeida *et al.*, 2000).

A recarga estimada deste aquífero segundo Almeida *et al.* (2000), ronda os 26 hm³/ano, estimando-se que as descargas totais do aquífero sejam menores ou semelhantes às entradas, rondando os 26 hm³/ano, sendo tanto de forma artificial (consumo industrial, doméstico e agrícola) como natural.

A recarga deste sistema aquífero resulta da infiltração da precipitação atmosférica sobre as unidades aflorantes, e também da possibilidade de recarga a partir de outras massas de água e sistemas aquíferos contíguos como o exemplo do Sistema aquífero de Ançã - Cantanhede - O4 (Almeida *et al.*, 2000). As descargas naturais tendem a seguir em direção às ribeiras e aluviões pertencentes à bacia hidrográfica do rio Mondego, seguindo um fluxo subterrâneo maioritariamente para sul, traduzindo numa zona de descarga importante de este aquífero (Almeida *et al.*, 2000; PGBH, 2012). O sentido de fluxo subterrâneo da água faz-se principalmente para S, para a planície aluvionar do rio Mondego.

Entre os anos 2007 e 2010, o Sistema Aquífero de Tentúgal (O5), e de acordo com os dados do PGBH (2012) apresenta um estado químico classificado com BOM e com risco/vulnerabilidade de contaminação baixo.

Apesar de existirem poucos resultados de amostragem hidrogeoquímica, o tipo de água deste sistema aquífero é muito semelhante à água do Sistema Aquífero Figueira da Foz - Gesteira (O7), caracterizando-se por ser água de composição mista entre cloretada sódica e bicarbonatada cálcica, de acordo com a profundidade e a geologia por onde circula ser mais ou menos cálcica ou areno-gressosa. Contudo, a água quando captada de níveis mais inferiores deste sistema aquífero nomeadamente, nas camadas de Arenitos do Carrascal, é mais dura, rica em elementos férricos e corrosivos, levando a uma forte probabilidade de criar corrosões em tubagens e outras infraestruturas de captação (Almeida *et al.*, 2000).

Para consumo humano, a água subterrânea deste sistema aquífero, é de média qualidade. Caracteriza-se por ser uma água agressiva de pH a rondar os 6,4 a 7,1 e abaixo dos VMR. A condutividade é alta nas zonas superiores e tendencialmente mais baixas à medida que se capta em profundidades maiores, rondando em os 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 401 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Geralmente apresenta valores de condutividade elétrica, cálcio e cloretos ligeiramente maiores que os desejados e previstos para Valores Máximos Recomendáveis. No caso de uso agrícola, caracteriza-se por ser um sistema aquífero com baixo perigo de salinização e alcalinização dos solos e dentro dos limites de VMRs previstos no DL 236/98 de 1 de Agosto (Almeida *et al.*, 2000).

3.4.3 Sistema Aquífero Luso (A12)

Este Sistema aquífero tem como suporte estrutural as unidades geológicas da Formação do Quartzito Armoricano do Ordovícico Inferior (PGBH, 2012), estando rodeado na sua maioria por rochas xistosas rochas do Maciço Antigo, constituindo um meio aquífero praticamente confinado. A água deste sistema aquífero classifica-se como hipossalina (Almeida *et al.*, 2000).

De acordo com os dados do PGBH (2012), o balanço hídrico estimado deste aquífero ronda os 1,4 hm³/ano, com saídas a partir de captações a rondar os 0,3 hm³/ano e disponibilidade hídrica aproximada de 1,0 hm³/ano, restando 0,1hm³/ ano para as descargas naturais.

A recarga aquífera dá-se a partir infiltração da água proveniente da precipitação atmosférica, diretamente sobre as bancadas e descontinuidades subverticais dos quartzitos, com circulação subterrânea profunda pelas descontinuidades e fissuras (Almeida *et al.*, 2000). A descarga natural ocorre através de exurgências principais situadas no Luso e Penacova e outras localizadas, em zonas sope da serra e em contactos geológicos ou descontinuidades que força a água a subir á superfície (Almeida *et al.*, 2000; PGBH, 2012).

O sentido do fluxo da água subterrânea dá-se segundo dois setores ou eixos simétricos e a partir de zonas centrais deste sistema aquífero. Um segundo SE-NW em direção ao Luso e outro segundo NW-SE em direção a Penacova (PGBH 2012).

Segundo os dados disponíveis em Almeida *et al.* (2000), as águas deste Sistema aquífero, são pouco mineralizadas sendo classificadas de hipossalinas. A fácies dominante, é cloretada sódica e o conteúdo em sílica permite fazer uma diferenciação nítida para cada um dos aquíferos, estando relacionados com a profundidade de circulação e conseqüentemente com o tempo de residência. Sob o ponto de vista isotópico, também se podem fazer considerações em relação aos tempos de permanência das águas em cada um dos aquíferos que constituem o Sistema Aquífero do Luso (A12). A maioria do Sódio, Cálcio e a quase totalidade de espécies Magnésio têm origem nos fenómenos de interação água – rocha, através de dissolução silicatos.

Hidrogeoquimicamente, a água deste aquífero apresenta um pH entre 5,4 a 5,64, uma condutividade elétrica baixa e a rondar os 50,5 µS/cm e uma temperatura média a rondar os 22,2°C. Destes parâmetros é possível aferir que se trata uma água muito próxima da água da chuva, com tempo de residência variável em função da profundidade e pouco influenciada pela rocha e sua alteração. Constitui um sistema aquífero de excelente qualidade, com a água de muito boa qualidade para consumo humano sem nunca ultrapassar os Valores Máximos Recomendáveis - VMRs (Almeida *et al.* 2000).

3.4.4 Outras unidades aquíferas

Para além destes três Sistemas aquíferos, ocorrem na área em estudos várias unidades aquíferas que não se inserem nestes Sistemas aquíferos anteriormente referidos, de dimensões menores e não diferenciadas. A maioria destas unidades aquíferas são constituídas por formações detríticas recentes (depósitos aluvionares, formações arenítico-conglomeráticas ou arenítico-argilosas).

Caracterizam-se por serem unidades aquíferas maioritariamente, de carácter não-confinado, por vezes suspensos, de natureza porosa e de dimensão média a pequena. Estas unidades estão implantadas nos domínios indiferenciados das Unidades hidrogeológicas da Orla Ocidental e do Maciço Antigo.

No entanto devido grandes extensões geográficas dos domínios hidrogeológicos da Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia do Vouga (O01 RH4) e do Maciço Antigo Indiferenciado da Bacia do Vouga (A0 x1RH4), ao facto de não existirem Sistemas aquíferos definidos nestes setores e a litologia constituinte ser muito vasta, o grau de precisão e de certeza afeto à bacia hidrográfica em estudo (BhRC), poderá ser relativamente baixo e feito por aproximação em função das características geológicas e propriedades hidrogeológicas existentes para estas unidades hidrogeológicas ao nível regional da Bacia hidrográfica do Vouga.

3.4.4.1 Unidades aquíferas da Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia do Vouga (O01 RH4)

As unidades aquíferas implantadas Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia do Vouga (O01 RH4) e presentes nesta região são formadas por unidades espessas de arenitos e argilas alternadas com rochas calco-dolomíticas e margosas. Poderão ser, do tipo multicamada e de constituição essencialmente porosa e calcária, com comportamento de aquífero livre em grande parte da sua extensão. Em certas regiões podem apresentar comportamento do tipo confinado ou semi-confinado, podendo apresentar uma alternância evidente entre unidades aquíferas, aquíferas e aquíclusas (PGBH 2012).

A recarga destas unidades faz-se sobre infiltração direta e superficial das unidades aflorantes mais porosas e permeáveis e muito localmente em regiões de carácter mais carsificado. A recarga profunda faz-se por drenância entre camadas permeáveis e impermeáveis mais profundas (Almeida *et al.*, 2000; PGBH, 2012).

A descarga natural dá-se para as linhas de água, exurgências associadas a zonas de fracturação ou alteração e para unidades laterais de sistemas aquíferos contíguos, através de falhas ou outras descontinuidades (PGBH 2012). As descargas artificiais são feitas através de captações subterrâneas furos, poços ou minas água para consumo próprio e abastecimento da população.

O fluxo subterrâneo geral segue sentido E-W (PGBH, 2012), sendo o mesmo notado nesta região em estudo, seguindo a topografia do terreno, evoluindo para unidades geológicas pertencentes ao Sistema Aquífero Cársico da Bairrada (O3).

A qualidade química da água das unidades hidrogeológicas implantadas na Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia do Vouga, são classificadas quimicamente com estado

químico global de medíocre, apesar da estimada baixa vulnerabilidade de contaminação através da recarga ao longo destas massas de água (PGBH 2012), justificado pelo pH e a concentração de nitratos exceder os VMRs, um pouco ao longo desta área da Orla Ocidental Indiferenciada Vouga (O01 RH4) ou até mesmo pelo enquadramento geoquímico natural das rochas constituintes (PGBH 2012).

As fácies predominantes nestas massas de água são variadas, desde bicarbonatadas cálcicas e sódicas, a também cálcicas, cloretadas sódicas ou mistas, com graus de mineralização bastante variadas, dependendo do enquadramento hidrogeoquímico local das unidades aquíferas constituintes (Almeida *et al.*, 2000).

3.4.4.2 Unidades aquíferas do Maciço Antigo Indiferenciado da Bacia do Vouga (A0 x1RH4)

O Maciço Antigo Indiferenciado da Bacia do Vouga (A0 x1RH4) caracteriza-se por ser Unidade hidrogeológica indiferenciada formada essencialmente por xistos, metassedimentos, com pouca aptidão hidrogeológica geral. As pequenas unidades aquíferas implantadas nesta região são geralmente, unidades aquíferas do tipo livres ou fissurados (PGBH, 2012).

As zonas hidrogeologicamente mais produtivas resumem-se a zonas de alteração da rocha inicial, depósitos pós-paleozóicos e aluviões, podendo terem comportamentos de aquífero confinado ou semi-confinado. A rede de fracturação geral do Maciço Antigo é a base do fluxo de água subterrânea, com o sentido geral a dar-se para Oeste (PGBH, 2012).

A recarga dessas massas de água é feita a partir da precipitação atmosférica direta nas unidades que afloram, seguindo infiltração através de zonas de fraturas no maciço rochoso e camadas de alteração (PGBH, 2012). A infiltração mais ou menos profunda está dependente da densidade das redes de fratura.

As descargas naturais dão-se através de exurgências e para as linhas de água que passam e que se originam nesta região do Maciço Antigo. As descargas induzidas são feitas a partir de furos e minas de água para abastecimento e consumo humano (PGBH, 2012).

Quimicamente, as Unidades hidrogeológicas implantadas no Maciço Antigo apresentam um estado químico quantitativo de Bom (PGBH 2012). As unidades aquíferas implantadas neste domínio, contêm uma baixa mineralização geral e com condutividades elétricas baixas e inferiores a 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Quimicamente podem apresentar fácies mistas (Almeida *et al.*, 2000).

3.5 Tipo, Uso e Ocupação do solo

3.5.1 Tipos de solos

De acordo com os elementos obtidos a partir do Plano Diretor Municipal de Câmara Municipal da Mealhada e elementos vetorizados correspondentes à Carta de Solos do Atlas do Atlas do Ambiente de Portugal Continental, III.1, de 1978 e disponíveis na plataforma digital “SNIAmb – APA” foi possível fazer o levantamento detalhado dos variados tipos de solos existentes na região e estudo e demarcada pela bacia hidrográfica de Ribeira de Canedo.

Da análise dos elementos disponibilizados e representados na Figura 3.11, é possível aferir que a evolução dos solos na região se faz de Este para Oeste, apresentado limites bem demonstrados e sobretudo segundo eixos N-S. Esta orientação bem vinculada, para além do tipo de substrato rochoso, está relacionada com os fenómenos tectónicos associados à Falha Porto-tomar e consequente divisão do Maciço Antigo e a bacia sedimentar da Orla Mesocenozóica Ocidental (PGBH, 2012).

A região da bacia hidrográfica de Ribeira de Canedo, de acordo com as Classificação FAO e Nomenclatura IUSS Working Group WRB, (2007) apresenta sobretudo dois tipos de solos Cambissolos e Podzóis, estando relacionados com o substrato rochoso da região, os processos de meteorização e erosão na área. A orografia, a rede de drenagem bem como a tipologia e resistência dos substratos rochosos também contribuem para uma maior ou menor alteração e formação dos solos.

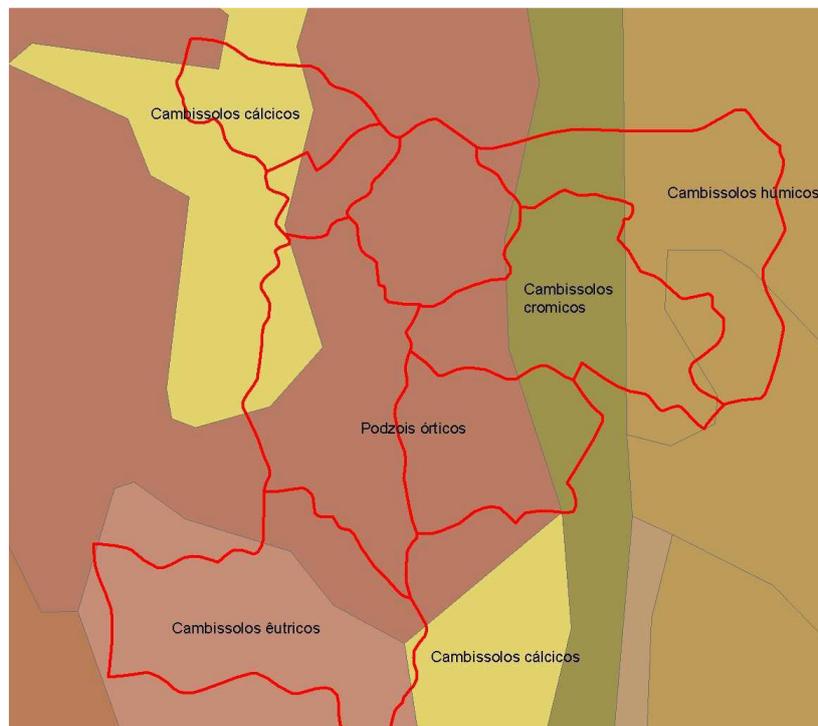


Figura 3.11: Imagem referente aos tipos solos encontrados no Concelho de Mealhada (*in* Plano Diretor Municipal de Mealhada, Cap.7, 2013).

Com base nos dados disponíveis em no capítulo Análise Biofísica (Plano Diretor Municipal, Cap.7 (2013) e da Figura 3.12, na área de estudo há quatro tipologias de solos diferentes, três deles do tipo Cambissolos e um do tipo Podzóis fazendo-se notar à medida que a bacia hidrográfica evolui de E para W. Da direita para esquerda, distinguem-se os solos do tipo Cambissolos húmicos fortemente associados a xistos e quartzitos (Bh14), Cambissolos húmicos associados a xistos (Bh3), Cambissolos Crómicos (Bc1) e Podzóis Órticos (Po3), com influências de Cambissolos crómicos e cálcicos.

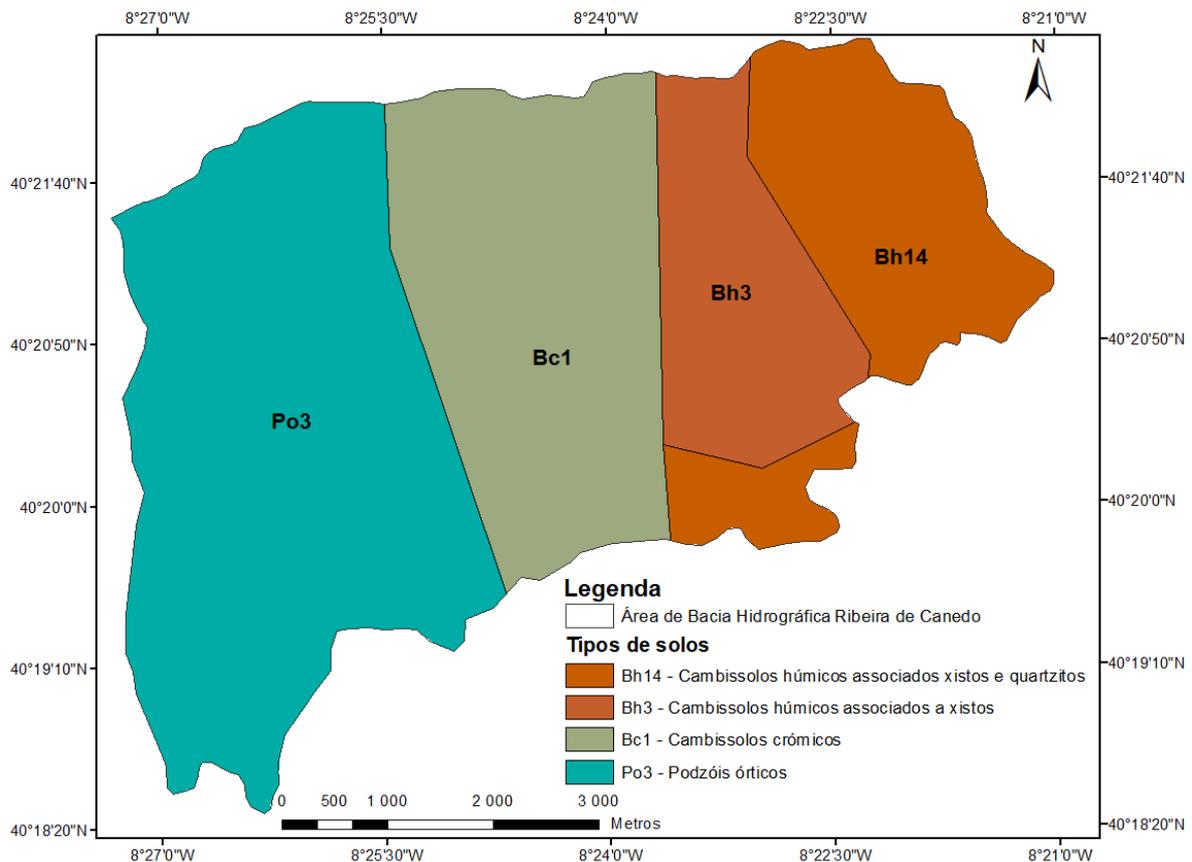


Figura 3.12: Imagem criada em software Arcgis® 10.2.2 para os diversos tipos de solos da região, com base na classificação FAO (adaptado a partir de elementos digitais e vetorizados disponíveis no portal digital do Atlas do Ambiente, *SNIAmb – APA, 2017*).

Segundo elementos abrangidos no PGBH (2012) acerca dos tipos de solos, os Cambissolos caracterizam-se por ser solos que na base da sua formação têm a combinação de pelo menos um solo ou subsolo que inicialmente se encontrava à superfície ou era o solo principal (incipiente). Por outras palavras os solos desta região são originados pelo substrato das Formações Geológicas do Maciço Antigo, que se caracterizam por ser antigas, metamorfizadas e do tipo cristalino e que foram erodidas e que se encontram subadjacentes, dado origem a estes solos. O material originário deste tipo solo apresenta grande transformação face ao substrato rochoso incipiente e costuma apresentar uma descoloração acastanhada, com parca presença ou eliminação total de carbonatos e grandes percentagens de argilas, também de cor acastanhadas (PGBH, 2012).

No caso dos Cambissolos húmicos, existem duas variações, justificadas pela diferença no substrato rochoso subadjacente. O tipo de Cambissolo húmico (Bh14) constitui um tipo de solo que tem grande influência de rochas xistentas e quartzíticas, aliada a uma forte influência atlântica. Nesta região a influência advém das rochas xistentas da Zona Centro Ibérica e da Zona Ossa Morena e das rochas da Formação do Quartzito Armoricano. A tipologia de Cambissolos húmicos (Bh3) é muito semelhante à anterior, associados a xistos da Zona Ossa Morena. Contudo a diferença está no facto de estes apresentarem influência mínima ou inexistente de substrato quartzítico (Carta de solos de Portugal Continental, Atlas do Ambiente, 2017 e PGBH, 2012).

A génese dos Cambissolos Crómicos (Bc1), é muito semelhante à dos Cambissolos anteriores. No entanto, este tipo de solo é originado por rochas mais antigas, de substrato metassedimentar e pelítico da Zona Ossa Morena (ZOM).

Os solos do tipo Podzóis caracterizam-se por ser muito ricos em matéria orgânica e óxidos de ferro, logo muito férteis e apresentam grande teor de humidade e água. Formam-se em zonas húmidas de clima temperado, boreal ou em menor escala, em clima tropical. Por consequência estes solos também apresentam uma permeabilidade que varia de baixa a moderada, no entanto tendem a ter maior permeabilidade face aos Cambissolos. Os solos do tipo Podzóis Órticos (Po3), estão muito relacionados com substratos mais sedimentares, detríticos e com influências aluvionares. No caso de estudo estes Podzóis Órticos, apresentam grande influência de Cambissolos Cálcicos e Crómicos.

A distribuição destes quatro subtipos de solos está bem demarcada ao longo da região e apresentam uma distribuição de área muito semelhante entre os quatro, com os solos do tipo Podzóis Órticos (Po3), a apresentar uma área um pouco maior que as restantes subcategorias de solos.

3.5.2 Uso e Ocupação do solo

O estudo do solo e consequente substrato rochoso é de extrema importância para avaliação dos recursos hídricos locais, permitindo determinar zonas mais ou menos permeáveis e favoráveis à circulação subterrânea da água. O estudo e determinação do uso e ocupação do solo também é muito importante na determinação e controlo de fontes de contaminação e consequente alteração na quantidade e qualidade da água.

Na região de estudo, em plena zona do vale do rio Cértima e respetiva sub-bacia hidrográfica da ribeira de Canedo, segundo dados do Plano Diretor de Mealhada (2013), que tiveram como base a “Carta de Capacidade de Uso dos Solos” criada pelo CNROA, os solos desta região apresentam na sua maioria boa aptidão agrícola e florestal. Destaca-se a maior aptidão florestal, no setor mais oriental da bacia, à medida que se evolui para a Serra do

Buçaco e, por conseguinte, zonas topograficamente mais declivosas e acidentadas. As zonas mais a Sul na bacia e respetivamente da Vila de Pampilhosa do Botão, caracterizam-se por serem uma região de muito boa aptidão agrícola (Plano Diretor de Mealhada, 2013).

Segundo a Classificação de Capacidade de Uso do Solo de Portugal e de acordo com a boa aptidão agrícola, a região do Concelho da Mealhada apresenta classes A, B e Ch, transpondo os mesmos para o domínio da Ribeira de Canedo (Plano Diretor de Mealhada, 2013). A Figura 3.13 mostra o uso e ocupação do solo, com base Carta de Ocupação do Solo do CNIG (1990) ao longo do concelho da Mealhada.

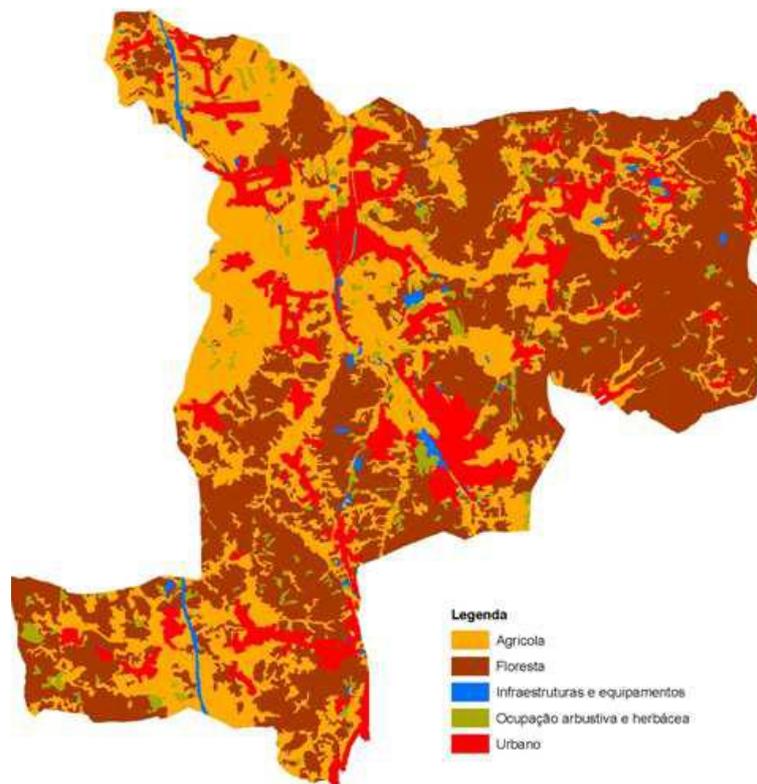


Figura 3.13: Carta do uso e ocupação do solo ao longo do Concelho da Mealhada (*in* PDM de Mealhada, Cap.7, 2013).

Da sua análise e interpretação da Figura 3.13 é possível verificar que na região em estudo predomina a Interface agrícola e florestal. A interface urbana também é evidenciada, contudo bastante localizada, quando comparada com as anteriores. A área urbana restringe-se a aldeias e vilas em redor da Vila de Pampilhosa do Botão e às povoações por onde passa a Estrada Nacional nº1, que corresponde a praticamente ao limite oeste da Bacia hidrográfica.

A evolução urbana foi condicionada tanto por fatores económicos, como fatores físicos, tais como relevo, linhas de água, como também pela existência de vias de comunicação rodoviária e ferroviária. Outro facto da evolução urbana a Sul do concelho é a proximidade com a Cidade de Coimbra. De um modo geral a interface urbana do concelho evoluiu segundo

o desenvolvimento de infraestruturas relacionada com a mobilidade e impulsos económicos, associados ao turismo, indústria e acessibilidades rodoviária e ferroviária.

De acordo com Plano Diretor de Mealhada (2013), o setor mais oriental do concelho é dominado por interface florestal e o mesmo se evidencia na região de estudo. Visto que área da bacia hidrográfica não intercepta a Mata Nacional do Buçaco, as espécies principais da mancha florestal do concelho, são o Eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill) por transformação antrópica, o Pinheiro Bravo (*Pinus pinaster* Aiton) e o “Cedro do Buçaco” (*Cupressus lusitanica*), entre espécies arbustivas variadas.

A distribuição da interface agrícola encontra-se mais dispersa ao longo do concelho. Na bacia hidrográfica da Ribeira de Canedo, distribui-se sobretudo na zona mais central e no setor S, coincidente com o limite do concelho, onde se concentra maioritariamente em zonas de vale, planícies e aluviões, desenvolvendo-se ao longo da área de bacia hidrográfica de Ribeira de Canedo e respetivo vale do Cértima.

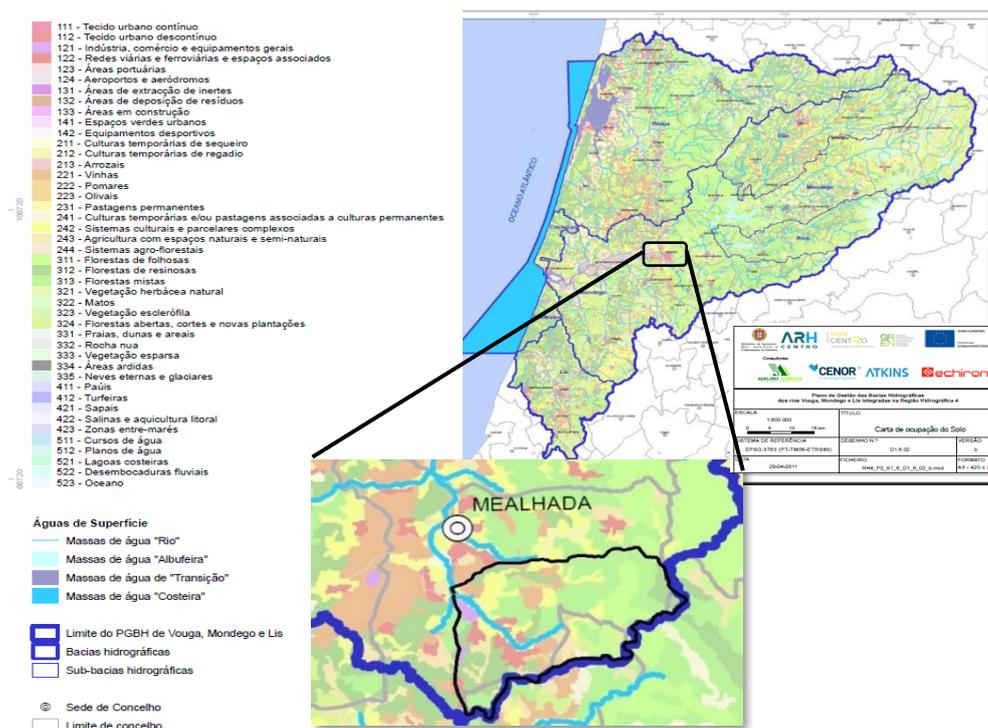


Figura 3.14: Excerto da Carta do uso e ocupação do solo para a zona da bacia hidrográfica de ribeira de Canedo (adaptado da Carta de uso e ocupação de solos disponível no PGBH, 2012).

O tipo de cultura agrícola predominante na região, é a vinha apresentando uma crescente expressão à medida que se evolui para NE-SW na bacia hidrográfica, justificado por solos com carácter mais argiloso e mais difícil cultivo agrícola. A par da vinha, também há culturas hortofrutícolas e cerealíferas, em regime de regadio, e onde os solos já se caracterizam por ser mais férteis e com teor de humidade constante e água mais abundante ao longo do ano.

A níveis percentuais e de acordo com os valores estimados do PGBH (2012) para o uso e ocupação do Solo na região hidrográfica dos rios Vouga, Mondego e Lis, a interface florestal ocupa 58,9% do solo, a interface agrícola com 29,3%, a interface urbana ocupa cerca de 5,7%, cujo 1,3% corresponde a ocupação industrial e 4,6% para outros espaços não listados. A bacia hidrográfica do rio Vouga, segundo o PGBH (2012) constitui a região com maior diversidade do uso solo na RH4 (Região Hidrográfica 4).

3.6 Fontes potencialmente contaminantes da água

Na zona de estudo ocorrem importantes atividades agrícola e pecuária, atividade urbana de carácter doméstico e atividades industriais.

Deste modo, ao longo da região, as possíveis, mas não provadas fontes de contaminação, são relacionadas na maioria, com a atividades agrícola mais intensiva, que na periferia das povoações se encontram bem demarcadas. Também poderá haver contaminação decorrente de atividades pecuárias mais intensivas. Neste setor as contaminações poderão ocorrer devido a infiltração e lixiviação de fertilizantes e pesticidas (nitratos) e outros químicos, para camadas mais profundas das unidades aquíferas freáticas.

Poderá também haver contaminação decorrente de atividades pecuárias mais intensivas. No entanto, dado que na região demarcada de estudo não existe nenhuma exploração pecuária, a contaminação devido a esta causa, será mínima e muito localizada, restringindo-se somente ao contacto prolongado de animais com águas superficiais.

Outra possível fonte potencialmente contaminante estará relacionada com a atividade urbana/doméstica, com descargas não controladas de efluentes domésticos fora do circuito do saneamento básico ou em fossas sépticas ou um mau funcionamento ou estrago na rede de saneamento básico.

Por fim, outras fontes potencialmente contaminantes da água superficial e subterrânea da região prende-se com a hipótese de ocorrer algum incidente relacionado com a atividade industrial, que é bem desenvolvida na região NW desta bacia hidrográfica.

3.7 Balanço hídrico da Bacia Hidrográfica Ribeira de Canedo

O cálculo do balanço hídrico na região em estudo tem como objetivos: (1) a determinação, ainda que aproximada, das disponibilidades hídricas locais e (2) fazer uma estimativa da recarga aquífera na região e nos variados Sistemas e unidades aquíferas que evoluem nesta bacia hidrográfica.

Na determinação do balanço hídrico expresso na Tabela 3.2, teve-se como base:

- Valores médios anuais disponíveis no PGBH (2012) para precipitação, temperatura, evaporação e evapotranspiração potencial.

- No caso do escoamento superficial médio anual recorreu-se ao Atlas do Ambiente (SNIRH, 2009), uma vez que com os valores do escoamento superficial disponibilizados no PGBH (2012) para esta região, foram considerados sobrevalorizados para a zona em estudo. Assim, se fosse adotado o valor apresentado no PGBH (2012), cerca de 350 a 400 mm/ano, o valor da recarga aquífera estimada seria nula.

- Quanto ao valor da retenção do solo na região foi difícil de se obter, tendo que se estimar valores médios para os tipos e mistura de solos encontrados na região, com base nos dados e fundamentos dos autores Walker & Skogerboe (1987).

Tabela 3.2: Balanço hídrico para a área estudada - Bacia hidrográfica Ribeira de Canedo.

Balanço hídrico			
Parâmetro	Referência	Valores médios anuais	
		mm/ano	hm³/ano
Precipitação*	P_{ma}	1050	39,67
Evapotranspiração anual*	ETR_{anual}	700	26,45
Escoamento superficial**	E	250	9,45
Retenção no solo anual***	Rt_{anual}	48,11	1,82
Superavit hídrico*	S	350	13,22
Input hídrico total (recarga aquífera média anual sem retenção no solo e ZNS)	I_{anual}	100	3,78
Input hídrico estimada (recarga aquífera média anual com retenção no solo e ZNS)	I_{anual}	51,89	1,96
Fontes:			
* PGBH (2012); ** Atlas do Ambiente (SNIRH, 2009); *** Walker & Skogerboe (1987)			

Os valores médios de cada parâmetro hidrológico (Precipitação média anual, Evapotranspiração potencial média anual e Escoamento superficial médio anual), em mm/ano foram obtidos com base na leitura das isolinhas dos mapas desta região da bacia hidrográfica do rio Vouga, disponíveis no PGBH (2012) e no Atlas do Ambiente (SNIRH, 2009).

Os valores médios estimados expressos em hm³/ano disponíveis na Tabela 3.2, obtiveram-se considerando a área plana da bacia hidrográfica de Ribeira de Canedo igual a 37,78 km².

Em relação ao valor do Input hídrico total estimado para área de estudo (1,96 hm³/ano), pode estar ligeiramente subvalorizado, uma vez que não se efetuou estudos de campo ao longo do ano e os dados do balanço hídrico foram obtidos com base em elementos disponíveis para toda a área da bacia hidrográfica do rio Vouga. Por outro lado, a região de estudo apresenta grande heterogeneidade geológica e hidrogeológica e também não se sabe ao certo, qual a taxa de retenção real de água nos diferentes tipos de solos da região.

4. Hidrogeologia local

Ao longo deste capítulo são apresentados os resultados do trabalho de campo na área de estudo - Bacia hidrográfica de Ribeira de Canedo (BhRC), bem como a caracterização hidrogeológica (hidrodinâmica, hidrogeoquímica simplificada e modelação conceptual) das unidades aquíferas locais, com posterior enquadramento nos Sistemas aquíferos regionais.

4.1. Enquadramento da zona estudada nos Sistemas Aquíferos e Unidades hidrogeológicas indiferenciadas regionais

Na região em análise (Bacia hidrográfica da Ribeira de Canedo - BhRC), como já referido em capítulos anteriores, evoluem três Sistemas aquíferos e dois domínios indiferenciados das Unidades hidrogeológicas da Orla ocidental e do Maciço Antigo, nomeadamente: o Sistema Aquífero Cárstico da Bairrada (O3) e Sistema Aquífero de Tentúgal (O5) e Sistema Aquífero do Luso (A12) e as zonas indiferenciadas das Unidades Hidrogeológicas da Orla Ocidental da bacia do Vouga (O01 RH4) e do Maciço Antigo da Bacia do Vouga (A0 x1RH4), estando representados na Figura 4.1.

Nos setores indiferenciados das duas Unidades hidrogeológicas ocorrem unidades aquíferas não-confinadas ou semi-confinadas, por vezes com carácter de unidades suspensas:

- Na zona indiferenciada da Unidade Hidrogeológica da Orla Ocidental da bacia do Vouga (O01 RH4) em formações do Cenozóico e nos arenitos e conglomerados do Triásico;
- Na zona indiferenciada da Unidades Hidrogeológica do Maciço Antigo da Bacia do Vouga (A0 x1RH4) em domínios fracturados de rochas xistentas e depósitos pós-paleozóicos.

As unidades Aquíferas da maior parte destes Sistemas aquíferos e Unidades hidrogeológicas, poderão apresentar características de aquífero confinado ou semi-confinado, podendo se verificar em certas captações subterrâneas (furos), com níveis piezométricos à superfície ou acima da piezometria geral (artesianismo). Estas características justificam-se pelo facto de apresentarem sempre unidades geológicas subjacentes, independentemente das aptidões hídricas dessas unidades geológicas dispostas em níveis superiores.

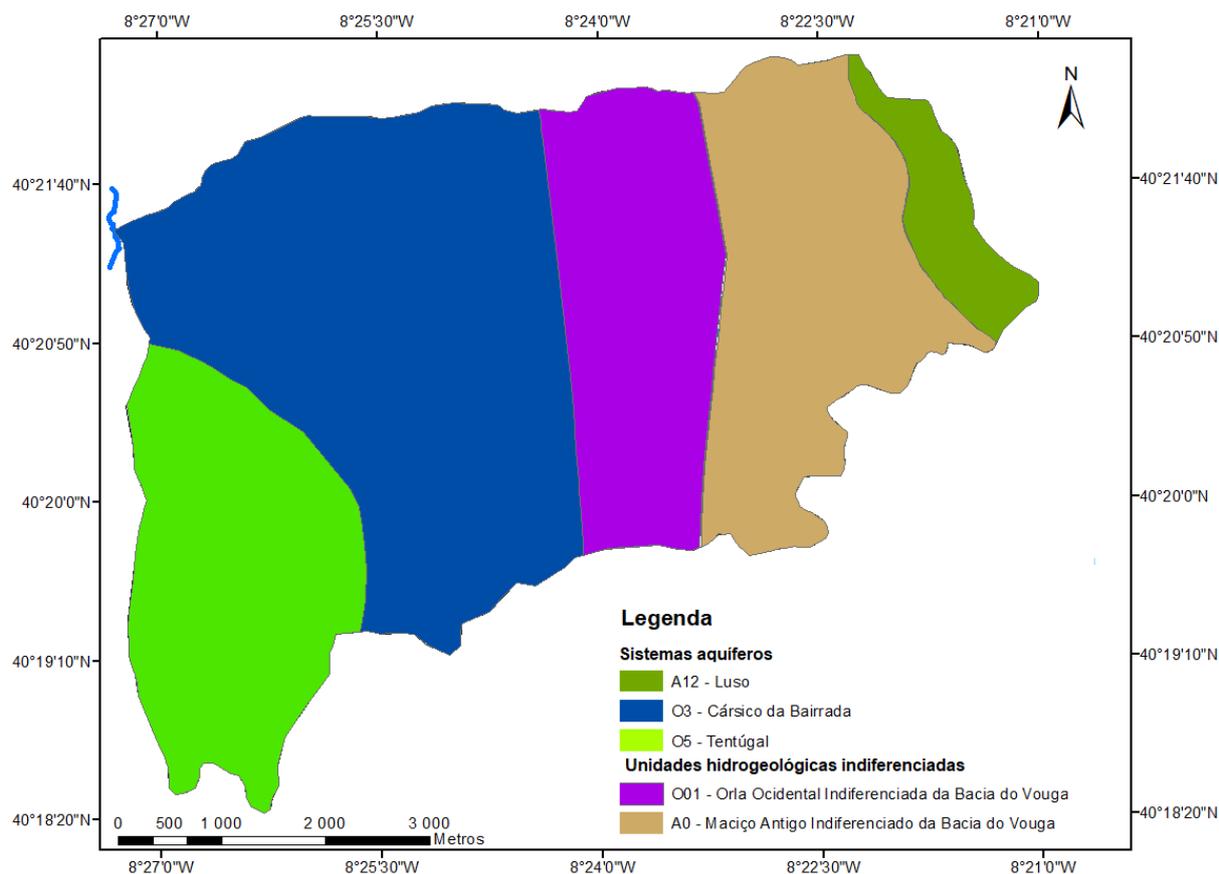


Figura 4.1: Distribuição dos setores da zona estudada ocupados com Sistemas aquíferos e Unidades hidrogeológicas indiferenciadas regionais. (imagem criada em *software* ArcGis® 10.2.2.; adaptado de dados vetorizados disponíveis em SNIAmb – APA).

4.2 Classificação hidrogeológica das formações locais

Na região em estudo – BhRC – evolui uma sequência litostratigráfica descrita no Capítulo 3. As rochas e depósitos que constituem esta sequência apresentam comportamentos hidrogeológicos muito variados. Nas Tabelas 4.1 e 4.2 caracterizam-se e sucintamente as formações geológicas locais relativamente às suas aptidões para armazenamento hídrico, classificando-as hidrogeologicamente.

Tabela 4.1: Caracterização das formações geológicas classificadas como aquíferas que evoluem na zona estudada.

Unidades Aquíferas			
Idade Geológica	Unidades geológicas	Tipo de aquífero	Meio hidrogeológico
Cenozóico	Aluviões(a)	Não-confinado	Poroso - detriticos
	Q ² - Areias de Cantanhede U3 - Areias de Mala U2B - Areias e Conglomerados de Carqueijo	Não-confinado	Porosas - detriticas
Cretácico Superior	C ² _{Oi} - Formação de Oiã C ² _{Vi} - Formação de Viso (Porção arenítica)	Confinadas ou não-confinadas	Porosa - detritica
Cretácico Inferior a Superior	C ² _{Fu} - Formação de Furadouro C ¹⁻² _{Cr} - Arenitos de Carrascal/ C ¹⁻² _{FF} - Formação da Figueira da Foz	Confinadas ou semi-confinadas	Porosas e multicamada
Jurássico Inferior a Médio	J ¹ _{LE} - Formação de Lemede J ¹ _{Co} - Formação de Coimbra (Camadas de Coimbra e S. Miguel (J ¹ _{Co'}))	Confinadas ou não-confinado	Porosas - cársicas e multicamada
Jurássico Inferior - Triásico	T _{CV} - Formação de Castelo Viegas T _{Cr} - Formação de Conraria	Confinadas a semi-confinadas	Porosas - cársicas e multicamada
Paleozóico	O _{Lo} - Formação de Louredo (Grupo de Sanguinheira) O _{BF} - Formação de Brejo Fundeiro O _{QA} - Formação do Quartzito Armoricano	Confinadas ou semi-confinadas	Fissuradas - Fraturadas

Tabela 4.2: Caracterização e classificação hidrogeológica das formações geológicas classificadas como não-aquíferas que evoluem na zona estudada.

Idade Geológica	Unidades geológicas	Classificação hidrogeológica
Cenozóico	U1 - Cascalheiras de Sangalhos U2A - Argilas de Boialvo – Areias e Conglomerados de Anadia Conglomerados de Carvalheiras	<u>Aquitardos</u>
Cretácico Superior	C ² _{Bu} - Formação de Buçaqueiro	<u>Aquitardos</u>
	C ² _{Vi} - Formação de Viso (Porção argilosa)	Aquicluso - Aquitardo
Cretácico Inferior a Superior	C ²⁻³ - Calcários de Tentúgal/ C ²⁻³ - Formação de Costa d'Arnes	<u>Aquitardo</u>
Jurássico Inferior a Médio	J ¹ _{SG} - Formação de São Gião J ¹ _{VF} - Formação de Vale das Fontes	<u>Aquitardos</u>
Jurássico Inferior - Triásico	J _{Pe} - Formação de Pereiros	<u>Aquitardo</u>
Paleozóico	O _{CC} - Formação de Casal Carvalhal O _{RB} - Formações de Porto de Santa Ana, de Ribeira do Braçal e de Ribeira Cimeira indiferenciadas	Aquiclusos
	S _{Sa} - Formação de Sazes O _{MF} - Formação de Monte da Sombadeira, de Forte da Horta, de Cabril e Carregueira indiferenciadas P _{sn} - Série Negra	Aquitardos - aquiclusos

As unidades aquíferas descritas na Tabela 4.1, integram-se nos Sistemas aquíferos e nos domínios indiferenciados das Unidades hidrogeológicas regionais (Tabela 4.3).

Tabela 4.3: Classificação cronostratigráfica dos Sistemas aquíferos e domínios indiferenciados das Unidades hidrogeológicas regionais.

Idade	Sistema Aquífero
Cenozóico	Massas aquíferas freáticas e suspensas indiferenciadas
Cretácico Superior	Massas aquíferas freáticas e suspensas indiferenciadas
Cretácico Inferior a Superior	Tentúgal (O5)
Jurássico Médio a Inferior	Cársico da Bairrada (O3)
Jurássico médio - Triásico	Orla Ocidental Indiferenciada da bacia do Vouga (O01 RH4)
Ordovícico	Sistema Aquífero do Luso (A12)
Paleozóico – Pré-câmbrico	Maciço Antigo Indiferenciado da Bacia do Vouga (A0 x1RH4)

A maioria das unidades aquíferas destes Sistemas pendem sensivelmente para W. Na região em estudo, o Sistema Aquífero Cársico da Bairrada (O3) é o que ocorre em zonas topograficamente mais deprimidas, tendo sobrejacente às formações do Sistema Aquífero de Tentúgal (O5) a W do domínio de estudo e superiormente, na Zona Central e Norte da Bacia hidrográfica da Ribeira de Canedo, formações do Cenozóico.

Na região a E, e mais soerguidos em relação aos sistemas anteriores, encontram-se as unidades hidrogeológicas mais antigas dos domínios da Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia do Vouga (O01 RH4), Maciço Antigo Indiferenciado da Bacia do Vouga (A0 x1RH4) e Sistema Aquífero do Luso (A12).

4.3 Caracterização hidrogeológica

Neste subcapítulo estão expostas as principais características dos pontos de água inventariados ao longo das duas campanhas de campo (Abril e Junho de 2017), interpretação dos resultados de campo obtidos e criação de modelos conceituais de fluxo subterrâneo para a BhRC.

4.3.1 Pontos de água e medições efetuadas

Numa fase inicial e através de reconhecimento de imagens satélites do “*Google Earth*” foram identificados cerca de 100 pontos de água, ao longo da bacia hidrográfica Ribeira de Canedo. Para além destes foram identificados mais 5 furos e 1 “mina de água”, cujas características foram disponibilizadas pela Câmara Municipal de Mealhada.

No trabalho de campo foram reconhecidos 100 pontos de água (Figura 4.2 e Tabelas 4.4 à 4.8), nomeadamente:

- a) 57 poços;
- b) 10 exurgências (nascentes);
- c) 21 locais em linhas de água;
- d) 12 charcos.

Os pontos de água identificados foram devidamente georreferenciados em coordenadas GPS WGS84 e UTM obtidas com Terminal de GPS “*Garmin GPS 76*” e confirmadas no *software Google Earth*®.

Os trabalhos de campo desenvolvidos ao longo das duas campanhas consistiram:

- Na georreferenciação preliminar dos pontos de água e sua seleção, de acordo com dispersão geográfica ao longo da área de estudo (BhRC), de forma a criar uma malha de pontos ampla, relevância ao nível geológico e hidrogeológico, assim como critérios de facilidade no acesso e na otimização do levantamento dos dados de campo;

- Na medição de níveis piezométricos e também da profundidade da coluna de água no caso de poços e charcos;

- Medição dos caudais em linhas de água e em exurgências.

No caso particular das nascentes aliado à posterior análise hidrogeoquímica, procurou-se medir a oscilação do caudal, o tipo de regime e fluxo de água, de forma a tentar correlacionar a relação hidrodinâmica com os Sistemas ou unidades aquíferas locais.

Na campanha de campo realizada no mês de junho, para além das medições acima referidas, efetuaram-se medições *in situ* em 43 destes pontos de água selecionados (poços, exurgências, linhas de água e depressões), de parâmetros hidrogeoquímicos tais como condutividade elétrica (CE), temperatura da água (T), potencial de hidrogénio (pH), de forma

a se poder correlacionar e agrupar nos vários sistemas aquíferos intersetados, a possível vulnerabilidade à poluição e em alguns casos o nível de poluição já sujeita.

A maioria dos pontos de água analisados estão diretamente associados ou encontram-se em relação hidrodinâmica com os aquíferos freáticos da região, nomeadamente os aquíferos freáticos implantados em depósitos detríticos (aluviões e outros) e aquíferos em rochas sedimentares areníticas (ex. formações do Triásico).

Com o levantamento e as medições de campo, procurou-se fazer uma avaliação: (1) das unidades aquíferas e das massas de água locais, (2) das disponibilidades hídricas, particularmente das subterrâneas, (3) da hidrodinâmica e dos processos de recarga e descarga dos vários sistemas e unidades aquíferos presentes na BhRC.

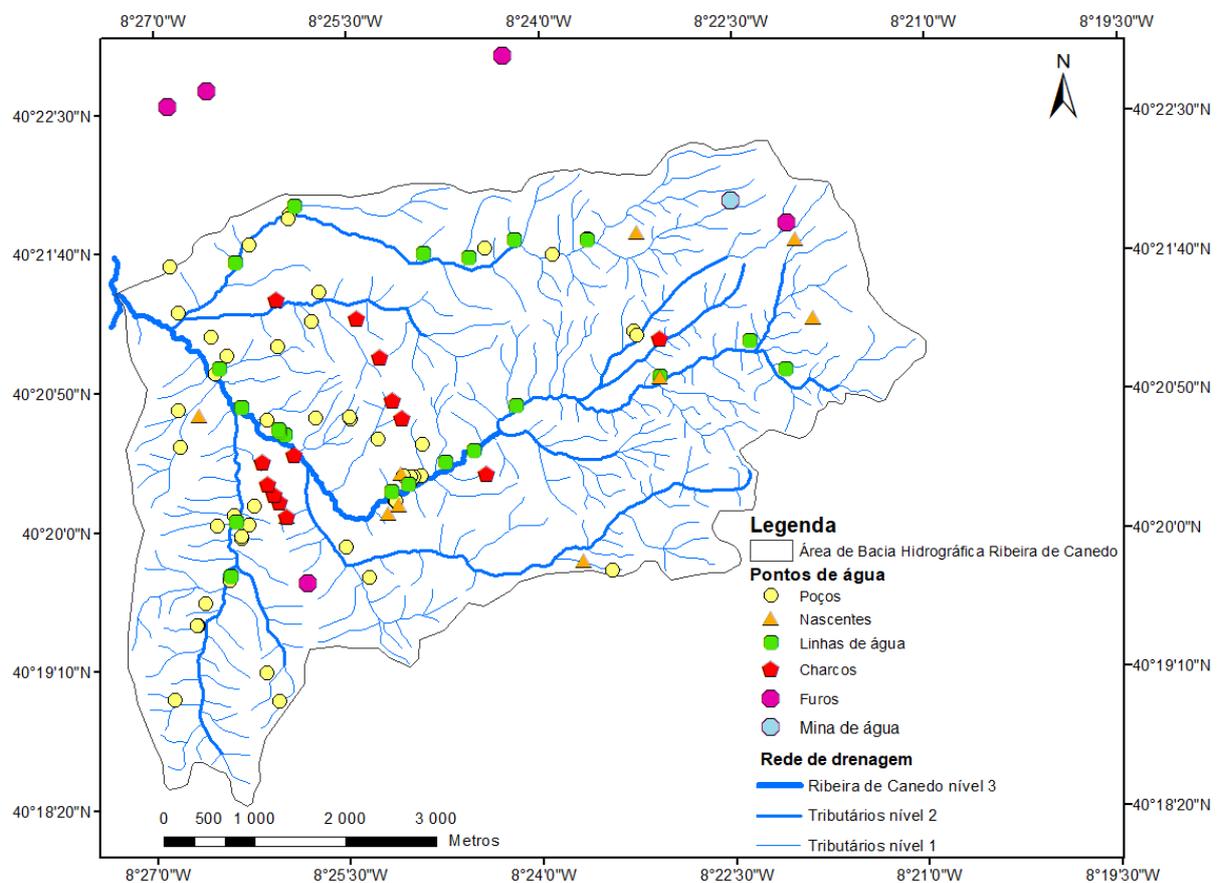


Figura 4.2: Distribuição espacial dos pontos de água em estudo (mapa criado em *software* ArcGis® 10.2.2, com base nos elementos disponíveis nas seguintes Tabelas 4.4 à 4.8, devidamente vetorizados).

Tabela 4.4: Enquadramento geográfico e altimetria de superfície dos poços inventariados para o estudo.

Poços	Coordenadas Este	Coordenadas Norte	Altimetria superfície (google Earth)
P1	547805,52	4465195,24	73
P2	547752,53	4464987,93	72
P3	547670,03	4464840,40	75
P4	547668,95	4464855,69	74
P5	547268,36	4464113,50	90
P6	547186,44	4463865,83	96
P7	547172,50	4463868,52	97
P8	546937,71	4463042,00	116
P9	546966,69	4466259,11	72
P10	546986,59	4465845,14	82
P11	547584,85	4465088,13	76
P12	547394,54	4464978,57	86
P13	547535,69	4464371,59	77
P14	547939,09	4463347,43	132
P15	548079,49	4463036,09	135
P16	547618,87	4465007,50	71
P17	547206,00	4463851,00	94
P18	549659,64	4465886,33	83
P19	549510,76	4465443,70	76
P20	549163,96	4465945,02	95
P21	548474,16	4466170,63	79
P22	548428,25	4467248,99	82
P23	548509,80	4467565,45	73
P24	550346,27	4468061,99	90
P25	549078,57	4464410,61	76
P26	548822,20	4464742,76	74
P27	549637,24	4465536,45	78
P28	549559,61	4465518,45	77
P29	549523,93	4465523,38	77
P30	549449,25	4465527,64	78
P31	549352,22	4465250,76	79
P32	549362,21	4465256,66	79
P33	548865,43	4466160,95	92
P34	548855,25	4466181,16	94
P35	547328,76	4467068,86	56
P36	547508,44	4466864,66	57
P37	547380,14	4466666,73	61
P38	546971,89	4467335,24	55
P39	548057,63	4466966,54	75
P40	546873,45	4467847,61	80
P41	547752,48	4468090,28	62
P42	548191,76	4468426,08	71
P43	548183,20	4468388,10	70
P44	548126,74	4465981,42	65
P45	548122,84	4465988,03	65
P46	547947,93	4466153,96	62
P47	549093,00	4465484,00	85
P48	550192,59	4467957,05	88
P49	549275,90	4465363,25	75
P50	551086,38	4467984,52	106
P51	551474,05	4468165,15	113
P52	551976,63	4467133,11	132
P53	552012,52	4467093,28	130
P54	552266,42	4466623,44	127
P55	551750,89	4464482,31	137
P56	551383,00	4466408,00	103
P57	551111,00	4466580,00	100
P50	551086,38	4467984,52	106
P51	551474,05	4468165,15	113
P52	551976,63	4467133,11	132
P53	552012,52	4467093,28	130
P54	552266,42	4466623,44	127

Tabela 4.5: Enquadramento geográfico e altimetria de superfície das nascentes e “mina de água” inventariadas para o estudo.

Nascentes	Coordenadas Este	Coordenadas Norte	Altimetria superfície (google Earth)
N1	548168,22	4465073,93	83
N2	547195,40	4466197,85	77
N3	549416,30	4465559,70	81
N4	549397,48	4465205,18	88
N5	549287,75	4465118,68	91
N6	552010,74	4468234,75	145
N7	552277,31	4466628,32	130
N8	551436,27	4464594,24	123
N9	553954,25	4467287,69	277
N10	553758,48	4468163,84	289
M1	553046,10	4468595,49	234

Tabela 4.6: Enquadramento geográfico e altimetria de superfície dos locais em linhas de água identificados para o estudo.

Linhas de água	Coordenadas Este	Coordenadas Norte	Altimetria superfície (google Earth)
L1	547670,43	4466290,58	61
L2	547605,50	4465022,01	76
L3	547554,19	4464414,21	77
L4	549312,02	4465356,16	74
L5	549509,01	4465434,88	75
L6	549914,44	4465685,35	78
L7	550222,95	4465817,23	86
L8	550167,76	4467951,43	87
L9	549671,08	4468001,53	81
L10	547423,55	4466719,46	56
L11	547592,30	4467898,07	60
L12	548251,66	4468518,95	69
L13	548146,53	4465985,90	65
L14	548086,51	4466022,68	66
L15	548074,25	4466044,38	64
L16	552270,53	4466634,47	128
L17	551465,48	4468145,38	112
L18	550669,29	4468145,10	99
L19	550690,52	4466307,04	91
L20	553265,68	4467033,90	166
L21	553656,38	4466716,85	193

Tabela 4.7: Enquadramento geográfico e altimetria de superfície dos charcos inventariados para o estudo.

Charcos	Coordenadas Este	Coordenadas Norte	Altimetria superfície (google Earth)
C1	547892,52	4465685,18	73
C2	548078,78	4465245,58	81
C2	548026,38	4465328,14	86
C3	547958,16	4465437,13	83
C4	548191,86	4465081,26	82
C5	549438,06	4466173,47	100
C6	549329,39	4466367,07	95
C7	549185,80	4466851,17	94
C8	548932,24	4467277,10	83
C9	548051,88	4467488,76	65
C10	548252,79	4465770,42	64
C11	550365,68	4465556,41	85
C12	552272,18	4467060,58	138

Tabela 4.8: Enquadramento geográfico e altimetria de superfície dos furos de água utilizados, necessários para o estudo.

Furos de água	Coordenadas Este	Coordenadas Norte	Altimetria superfície (google Earth)
F1	548393,73	4464342,88	112
F2	547280,36	4469799,61	52
F3	546851,66	4469630,90	59
F4	550537,65	4470202,85	97
F5	553669,24	4468344,61	300

Da análise dos elementos das anteriores Tabelas 4.4 a 4.8 e Figura 4.2, é possível identificar que a maior concentração de pontos de água se dá na região Central e W da bacia hidrográfica do Ribeira de Canedo. A região E já tem menor densidade de pontos, na sua maioria restritos a linhas de água e nascentes muito localizadas. Esta assimetria na distribuição dos pontos de água deve-se a três fatores principais: 1 - tipo de substrato rochoso (suas aptidões aquíferas e facilidade de encontrar água no subsolo), 2 - a densidade populacional e agrícola e 3 - facilidade de acesso aos pontos de água em estudo.

Sobretudo na região Central e W da área de estudo, os pontos de água levantados são na sua maioria poços, tendo sido inventariados ainda com menor expressão charcos e medições em locais de linhas de água. Na zona a E desta bacia hidrográfica, predomina o levantamento pontos de água como nascentes e medições em linhas de água, onde a ocorrência de outros pontos de água é menor e o seu acesso é bastante mais restrito.



Figura 4.3: Exemplo dos variados pontos de água analisados no campo: poços (1 - 2), linhas de água (3), charcos (4) e nascentes (5 - 6).

Seguidamente apresenta-se a caracterização mais pormenorizada dos principais pontos de água estudados:

Poços

Nesta área de estudo predomina a captação de água subterrânea com recurso a poços. Este tipo de construção está associado a substratos arenosos, porosos e aluvionares, onde a construção destas estruturas são fácies e a probabilidade de captação hídrica é alta.

Os seus diâmetros, profundidades e tipo de construção são muito variados, bem como o seu estado de conservação também muito variável, por vezes existindo alguns abandonados ou bastante degradados. Na sua maioria, são poços construídos em tijolo tradicional (alvenaria), existindo também alguns construídos em blocos de rochas nas secções inferiores e com acabamentos superiores em alvenaria e outros já mais recentes, construídos em manilhas de cimento de 0,5 m de altura cada e diâmetros de 2 m. A profundidade média dos poços ronda os 5 a 6 metros do nível do solo (chão), com diâmetro médio a rondar os 2,3 - 2,5 metros e de altura de muro quando existem, a rondar os 0,5 metros a 0,8 metros. No entanto, existem alguns poços de dimensões maiores, que chegam a atingir os 8 a 9 metros de profundidade a partir do solo e diâmetros de 4,5 a 5 metros.

Nascentes

As nascentes ou exurgências correspondem a zonas ou pontos de descarga natural de água à superfície terrestre, proveniente de níveis mais altos e interiores dos maciços rochosos com aptidões hidrogeológicas. Podem descarregar de forma concentrada e localizada ou difusa, ao longo de várias exurgências ou pontos no maciço rochoso. Na região, as nascentes apresentam, na maioria uma descarga localizada e canalizada (artificial), tornando mais fácil a determinação do caudal médio.

No caso da caracterização hidrogeológica, a determinação do caudal de nascentes permitiu determinar se existiu ou não variação do caudal entre os dois períodos de campanha campo. Procurou-se estimar, com base na diminuição do caudal, se houve rebaixamento ou não do nível freático próximo da área da nascente e onde não existam outros pontos de água que permitam medir a variação do nível freático local.

Minas de água

As minas de água são bastante semelhantes às nascentes no que respeita à captação hídrica. No entanto as minas de água captam a água proveniente de níveis subterrâneos, que pela litologia, contornos estruturais ou profundidade da captação, ocorre em volumes razoáveis e facilmente suplantáveis às necessidades inicialmente impostas.

Na região em análise, a única mina de água acessível corresponde à Mina do Pego (M1), que alimenta abastecimento de água pública da aldeia de Pego. Esta mina encontra-se

na encosta W do Buçaco e está encrustada no maciço rochoso, captando por gravidade, uma nascente subterrânea, junto de uma linha de água que mais a jusante dará origem à Ribeira de Raposeira. Trata-se de uma instalação edificada e protegida, com galerias e com extensão de 150 metros. A água desta mina pertence à Unidade Hidrogeológica do Maciço Antigo Indiferenciado do Vouga (A0 x1RH4) e que pela sua localização, altimetria e os variados controlos tectónicos, poderá ter alguma relação com o Sistema Aquífero do Luso (A12).

Há o conhecimento de outra mina de água nesta área de estudo, a mina da Fujaca mas, no entanto, a sua entrada acabou por ruir, sendo também de muito difícil acesso. Encontra-se em região calcária, onde se estima que os volumes de água desta mina sejam bastante variados e muito associados à precipitação atmosférica seguida de infiltração direta no maciço rochoso e que se infiltre pelas falhas, descontinuidades e cavidades intrínsecas dos sistemas calcários.

Furos

Na região, os furos de água ao qual se teve acesso, são destinados para abastecimento público do Concelho da Mealhada. Toda a informação referente a estes furos de água foram gentilmente cedidos pela Câmara Municipal de Mealhada, nomeadamente pelo o Setor de Ambiente e Serviços Urbanos – Secção de Águas e Saneamento, disponíveis no documento de 2016: *“Memória descritiva das Captações do Município de Mealhada, Autorização de Utilização dos Recursos Hídricos”*.

Dentro do domínio de estudo foram analisados dois furos, em maciços hidrogeológicos diferentes (Furo de Santo Amaro - F1 e Carvalheiras - F5) e outros três fora da área de estudo (Furo de Cabrita – F2, Póvoa – F3 e Lograssol- F4). Estes elementos, mesmo os dos furos que não se situavam na área de estudo, permitiram fazer correlação para as unidades hidrogeológicas intersetadas pela Bacia Hidrográfica de Ribeira de Canedo e complementar a pouca informação hidrogeológica existente de algumas unidades hidrogeológicas, nomeadamente as unidades da Orla Ocidental Indiferenciada da bacia do Vouga (O01 RH4), coincidente com substrato rochoso do Triásico) ou a heterogeneidade hidrogeológica das unidades hidrogeológicas do Sistema Aquífero Cársico da Bairrada (O3).

Para a abertura dos furos estudados recorreu-se ao método de furação à rotopercussão com injeção de ar comprimido, excetuando o furo de Santo Amaro (F1) que se recorreu ao método "rotary", (rotação à circulação direta) com injeção de lamas bentoníticas. O revestimento dos furos recorreu-se a tubagem em PVC, com proteção superficial em ferro nos furos de Santo Amaro (F1), Cabrita (F2), e Lograssol (F3).

Tabela 4.9: Parâmetros físicos e hidrogeológicos dos furos em estudo, com base na documentação fornecida pela Câmara Municipal de Mealhada.

Furos	Altimetria (m)	Profundidade (m)	Diâmetro (mm)	Níveis Produtivos (m)	Nível piezométrico estacionário (m)	Nível piezométrico dinâmico (m)	Caudal específico (m³/dia)	Caudal de exploração (m³/dia)	Condutividade hidráulica (k) m/dia	Transmissividade (T) m³/dia	Espessura aquífera (m)	Substrato geológico
F1 Santo Amaro	112	170	350 (0-6m) 300 (6-170m)	(62-68) (74-80) (86-92) (116-128) (146-152) (158-164)	0	16 m para caudal de 432 m³/dia	27	432	0,305	32,6	108	Arenitos Argilas e Calcários
F2 Cabrita	52	120	300 (0-26m) 250 (26-120)	(26-32) (38-50) (80-98) (104-110)	12	15,35 m para caudal de 285,1 m³/dia	85,1	1200	1,06	103,8	98	Calcários compactos com níveis margosos
F3 Póvoa	59	110	200 mm	-	-	-	-	576	1,14	100	88	Calcários compactos com níveis margosos
F4 Lograssol	97	80	250 (0-5m) 200 (5-80m)	(32-38) (44-50) (56-68) (74-80)	-	-	-	480	0,208	10	48	Arenitos e grés vermelhos
F5 Carvalheiras	300	180	200 (0-18m) 140 (18-150m) Aberto (150-180)	(60-66) (78-84) (90-108) (114-120) (126-132)	8,5	87,7 m para caudal de 146,9 m³/dia	1,9	120	0,018	2,3	123,5	Xistos e filitos com níveis quartzíticos
<i>In "Memória descritiva das Captações do Município de Mealhada, Autorização de Utilização dos Recursos Hídricos (2016)"</i>												

F1 (Furo Santo Amaro)

O Furo F1 encontra-se a na zona interior SW da área de estudo estando inserido essencialmente em unidades hidrogeológicas areníticas, intercaladas por níveis argilosos e calcários do Cretácico com características de aquífero confinado. Das seções mais superiores para as mais inferiores este furo está implantado em unidades geológicas do Cretácico Superior seguido de unidades do Cretácico Inferior integrantes Sistema Aquífero de Tentúgal (O5) e na base intersecta camadas calcárias do Jurássico Inferior pertencentes ao Sistema Aquífero Cárstico da Bairrada (O3). Este furo, juntamente com os pontos de água medidos neste setor evidência uma zona de particular aptidão hidrogeológica e com níveis de produtividade médios a altos tanto a nível superficial como para níveis mais profundos.

F2 (Furo de Cabrita) e F3 (Furo de Póvoa)

Tanto o furo F2 e F3, situam-se em unidades hidrogeológicas calcárias com por vezes com níveis compactos intercalados com níveis margosos (aquítardos) e em regime a aquífero livre a semi-confinado. Correspondem a unidades constituintes do Sistema Aquífero Cárstico da Bairrada (O3).

O furo de Cabrita (F2), com base na análise dos dados da Tabela 4.9 (ensaios de bombagem, condutividade hidráulica (k), transmissividade (T) e caudal específico) verifica-se que se trata de um furo bastante produtivo. Em relação ao furo de Póvoa (F3), de acordo com sua localização e substrato rochoso e os parâmetros hidrogeológicos disponíveis (Tabela 4.9), tudo indica que nível de produtividade seja semelhante ao furo de Cabrita (F2).

F4 (Furo de Lograssol)

Este furo intersecta arenitos intercalados por níveis mais impermeáveis apresentando características de aquífero confinado ou semi-confinado. Com base na transmissividade e condutividade hidráulica, verifica-se que a produtividade deste furo é variável de média a baixa.

F5 (Furo Carvalheiras)

O furo localiza-se na encosta W da Serra do Buçaco e atravessa rochas metamórficas mais precisamente intercalações de xistos e filitos com intercalações de níveis quartzíticos. A unidade hidrogeológica onde está implantado este furo, nesta zona caracteriza-se, como unidade aquífera fissurada e do tipo livre. No entanto dada a sua profundidade a cartografia recente da região (Dinis, 2004) e a proximidade com o contacto de unidades quartzíticas da Formação do Quartzito Armoricano, este furo pode ter fortes contribuições de água provenientes desta massa de água aquífera. De acordo com os parâmetros hidráulicos da Tabela 4.9 (transmissividade, condutividade hidráulica e caudal específico), este furo apresenta baixa produtividade geral.

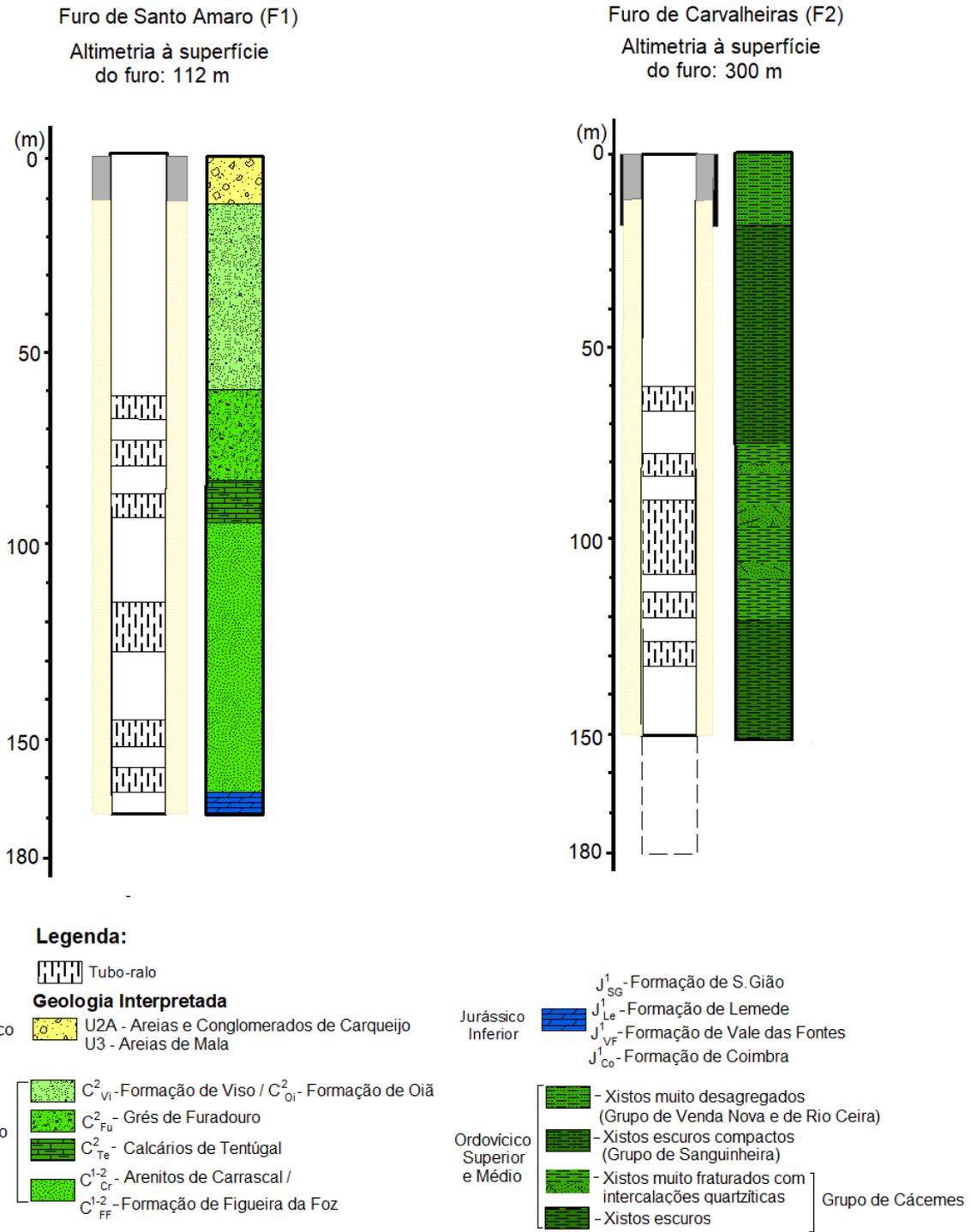


Figura 4.4: Coluna estrutural dos furos e reinterpretação geológica encontrada na área dos furos de Santo Amaro (F1) e Carvalheiras (F5), que se inserem dentro da região em estudo. Elementos criados em *software* ArgGis® 10.2.2, com base em elementos disponibilizados pela Câmara Municipal de Mealhada.

Linhas de água

As medições realizadas neste domínio estão relacionadas com o caudal, largura e profundidade da água das ribeiras e as suas variações ao longo do seu percurso e paisagem pelas diferentes litologias. Os cursos de água e ribeiras que confluem para a Ribeira de Canedo, podem apresentar regimes variados entre perenes ou intermitentes e por vezes de carácter sazonal, dependendo da altura do ano hidrológico, do grau de seca da região e do grau de permeabilidade da litologia que atravessa. Caracterizam-se por ser mais declivosos e incisivos nas regiões mais orientais e coincidentes com rochas do Maciço Antigo, tornando mais aplanados, com margens mais largas e rodeadas de imensa vegetação em áreas de substrato areno-conglomerático, pertencentes à Orla Ocidental Mesocenozóica.

Numa boa parte dos cursos de água, sobretudo as que se localizam em áreas mais orientais e inclusive numa secção Ribeira de Canedo, quando atravessam substratos calcários, tendem a secar ou desaparecerem por completo, com a água infiltrar-se para níveis subterrâneos mais inferiores. Geralmente, nestas áreas o regime de escoamento é intermitente, voltando a ser perene, mediante de alturas do ano hidrológico de maior precipitação.

Porém, o fluxo superficial das linhas de água, nas secções anteriores e posteriores desta região mais calcária, tendem a apresentar regime perene e por vezes com caudal alto e estável ao longo do ano. Nestes setores centrais, as unidades geológicas de cobertura do Cenozóico poderão apresentar um forte papel no fluxo hidrodinâmico e na descarga para as ribeiras.

Depressões ou charcos

Sobretudo na zona Central e W da área estudo, existem variados charcos, alguns destes ocorrem de forma natural e com carácter pantanoso, estando os restantes associados a antigas explorações de inertes (argilas, areias e calcário), que atingiram o nível piezométrico de massas aquíferas não-confinadas ou livres. As suas profundidades são variadas e por vezes de difícil determinação pela sua dimensão, acessos, estado de eutrofização ou fundo pouco amplo e irregular. Contudo e com base nos charcos onde foi possível determinar, a profundidade estimada varia entre os 2,5 a 10 metros.

Podem constituir um tipo de captação hídrica por excelência, uma vez que apresentam grandes volumes de água e estáveis ao longo do ano hídrico, mas importa ressaltar que também constituem a base de variados ecossistemas que poderão ser afetados com a captação hídrica intensiva. Estes charcos apresentam um papel muito importante nesta região, pois são uma fonte de água em todo o ano hídrico (lazer, irrigação agrícola e pastoreio)

e regulam a hidrodinâmica superficial e subterrânea da região, estabilizando cursos de água e níveis piezométricos.

4.3.2 Resultados, tratamento e interpretação

Com os levantamentos e as medições de campo efetuadas, procurou-se fazer uma avaliação: (1) das unidades aquíferas e das massas de água locais, (2) das disponibilidades hídricas, particularmente das subterrâneas, (3) da hidrodinâmica e dos processos de recarga e descarga dos vários sistemas e unidades aquíferas presentes na BhRC.

4.3.2.1 Piezometria das unidades aquíferas freáticas

No intuito de determinar a relação hidrodinâmica e o sentido do fluxo subterrâneo nas variadas unidades aquíferas freáticas, efetuaram-se medições em poços, em linhas de água, nascentes e charcos. Nestes pontos de água, realizaram-se medições dos níveis piezométricos, recorrendo a uma sonda de nível *Geotechnical Instruments*[®] DM2.1-30.

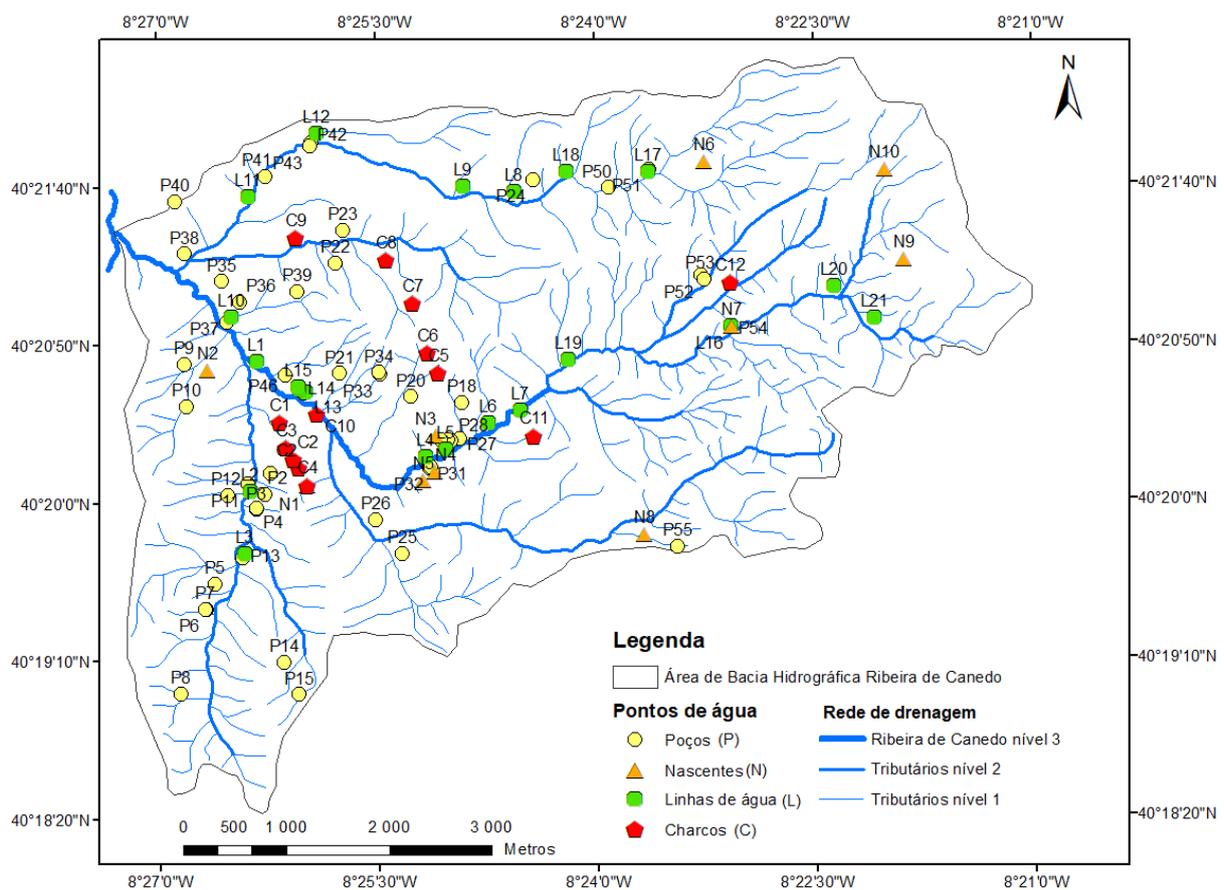


Figura 4.5: Mapa da distribuição geográfica dos diversos pontos alvo de análise de campo e posterior modelação computacional, excetuando os furos e a mina de água de abastecimento público, anteriormente referidos (criado em software ArcGIS[®] 10.2.2 com base dos dados altimétricos georreferenciados).

Para o caso particular das medições do nível freático nos poços, procurou-se usar os que evidenciavam sinais de abandono já há algum tempo ou que indicassem que não se encontravam em exploração durante as semanas de campo em abril e junho. Nas seguintes Tabelas 4.10 à 4.13 apresentam-se os resultados das duas campanhas de campo.

Tabela.4.10: Parâmetros físicos referentes aos charcos de água inventariados no trabalho de campo.

Charcos	Altimetria de superfície (m) baseada no <i>Google Earth</i> ®	Abril		Junho	
		Profundidade da água (m)	Cota do Nível Freático (m)	Profundidade da água (m)	Cota do Nível Freático (m)
C1	73,00	2,20	70,80	2,90	70,10
C2	81,00	3,20	77,80	4,15	76,85
C2	86,00	8,20	77,80	9,15	76,85
C3	83,00	8,00	75,00	8,95	74,05
C4	82,00	0,20	81,8	0,50	81,40
C5	100,00	1,50	98,50	1,90	98,10
C6	95,00	0,50	94,50	0,80	94,20
C7	94,00	-	94,00	1,00	93,00
C8	83,00	-	83,00	1,00	82,00
C9	65,00	-	65,00	1,05	63,95
C10	64,00	0,50	63,50	0,40	63,60
C11	85,00	1,00	84,00	1,31	82,69
C12	138,00	0,20	137,80	1,20	136,80

Nota: Profundidade da água (m) medida em relação à superfície do solo

Tabela 4.11: Parâmetros físicos em locais de linhas de água inventariados ao longo do trabalho e campo.

Linhas de água	Altimetria de superfície (m) baseada no <i>Google Earth</i> ®	Abril		Junho	
		Profundidade da água (m)	Cota do Nível Freático (m)	Profundidade da água (m)	Cota do Nível Freático (m)
L1	61,00	1,80	59,20	2,07	58,93
L2	76,00	5,85	70,15	6,03	69,97
L3	77,00	1,65	75,65	1,75	75,40
L4	74,00	2,40	71,60	2,52	71,48
L5	75,00	1,60	73,40	2,20	72,80
L6	78,00	Seco	78,00	Seco	78,00
L7	86,00	Seco	86,00	Seco	86,00
L8	87,00	Seco	87,00	Seco	87,00
L9	81,00	Seco	81,00	Seco	81,00
L10	56,00	0,70	55,30	1,52	55,48
L11	60,00	1,15	58,85	1,50	58,50
L12	69,00	0,25	68,75	0,82	68,18
L13	65,00	1,00	64,00	1,05	63,95
L14	66,00	1,30	64,70	1,90	64,10
L15	64,00	0,65	63,35	0,77	63,23
L16	128,00	2,70	125,30	2,90	125,10
L17	112,00	0,80	111,20	1,20	110,00
L18	99,00	0,80	97,20	0,12	97,08
L19	91,00	0,15	89,65	0,15	89,50
L20	165,70	0,30	165,40	0,25	165,15
L21	193,00	0,35	192,65	0,80	192,20

Nota: Profundidade da água (m) medida em relação à superfície do solo

Tabela 4.12: Parâmetros físicos referentes aos poços inventariados no trabalho de campo.

Poços	Altimetria de superfície (m) baseada no Google Earth®	Abril		Junho	
		Profundidade da água (m)	Cota do Nível Freático (m)	Profundidade da água (m)	Cota do Nível Freático (m)
P1	73,00	1,00	72,00	2,20	70,80
P2	72,00	0,80	71,20	2,20	69,80
P3	75,00	0,50	74,50	1,40	73,60
P4	74,00	0,80	73,20	1,25	72,75
P5	90,00	2,80	87,20	3,30	86,70
P6	96,00	0,40	95,60	3,06	92,94
P7	97,00	0,30	96,70	0,95	96,05
P8	116,00	0,80	115,20	0,90	115,10
P9	72,00	0,40	71,60	1,70	70,30
P10	82,00	1,25	80,75	3,50	78,50
P11	76,00	0,50	75,50	1,10	74,90
P12	86,00	2,75	83,25	3,40	82,60
P13	77,00	0,50	76,50	0,70	76,30
P14	132,00	3,40	128,60	4,75	127,25
P15	135,00	4,40	130,60	5,00	130,00
P16	71,00	-	-	1,60	69,40
P17	94,00	-	-	1,40	92,60
P18	83,00	2,30	80,70	3,20	79,80
P19	76,00	3,20	72,80	4,20	71,80
P20	95,00	2,90	92,10	3,20	91,80
P21	79,00	5,25	73,75	7,56	71,44
P22	82,00	3,10	78,90	4,40	77,60
P23	73,00	0,80	72,20	2,50	70,50
P24	90,00	1,20	88,80	1,65	88,35
P25	76,00	8,00	68,00	seco	67,00
P26	74,00	3,00	71,00	4,20	69,80
P27	78,00	2,80	75,20	3,10	74,90
P28	77,00	2,40	74,60	2,65	74,35
P29	77,00	2,70	74,30	2,65	74,35
P30	78,00	0,90	77,10	1,10	76,90
P31	79,00	2,90	76,10	2,57	76,43
P32	79,00	2,10	76,90	2,45	76,55
P33	92,00	4,50	87,50	5,55	86,45
P34	94,00	5,50	88,50	6,50	87,50
P35	56,00	0,50	55,50	2,40	53,60
P36	57,00	1,50	55,50	2,85	54,15
P37	61,00	3,00	58,00	4,05	56,95
P38	55,00	1,00	54,00	1,97	53,03
P39	75,00	1,40	73,60	1,90	73,10
P40	80,00	2,60	77,40	3,85	76,15
P41	62,00	1,40	60,60	2,75	59,25
P42	71,00	2,75	68,25	4,50	66,50
P43	70,00	2,20	67,80	3,26	66,74
P44	65,00	0,50	64,50	1,25	63,75
P45	65,00	0,80	64,20	1,55	63,45
P46	62,00	1,00	61,00	1,45	60,55
P47	85,00	-	-	1,55	83,45
P48	88,00	-	-	3,00	85,00
P49	75,00	-	-	2,80	72,20
P50	106,00	0,70	105,30	1,45	104,55
P51	113,00	0,80	112,20	1,40	111,60
P52	132,00	1,65	130,35	1,75	130,25
P53	130,00	0,85	129,15	1,31	128,69
P54	127,00	1,30	125,70	1,65	125,35
P55	137,00	1,10	135,90	2,07	134,93
P56	103,00	-	-	1,94	101,06
P57	100,00	-	-	1,44	98,56

Nota: Profundidade da água (m) medida em relação à superfície do solo

Tabela 4.13: Parâmetros físicos das nascentes inventariadas nas duas campanhas de campo.

Nascentes	Altimetria de superfície (m) baseada no <i>Google Earth</i> [®]	Abril	Junho
		Cota do Nível Freático (m)	Cota do Nível Freático (m)
N1	83,00	83,00	83,00
N2	77,00	77,00	77,00
N3	81,00	81,00	81,00
N4	88,00	87,70	87,30
N5	91,00	91,00	90,50
N6	145,00	145,00	145,00
N7	130,00	130,00	130,00
N8	123,00	123,00	123,00
N9	277,00	277,00	277,00
N10	289,00	289,00	289,00

Nota: Profundidade da água (m) medida em relação à superfície do solo

Com base nos dados da piezometria obtida nas duas campanhas de campo (abril e junho de 2017) e com apoio de *software Surfer*[®] 12.6.963 (*Golden Software, 2015* com utilização do método de “*Krigagem*”) construíram-se:

- a) Duas cartas do fluxo subterrâneo referentes ao mês de abril e junho, para a totalidade da BhRC, englobando assim as várias unidades aquíferas freáticas locais (Figura 4.6);
- b) Uma carta com as variações dos níveis piezométricos entre as campanhas de campo (Figura 4.7).

As cartas de fluxo subterrâneo (Figura 4.6), para toda a extensão da BhRC, foram criadas com a aplicação do método geoestatístico “*Krigagem*”. Segundo Landim (2006), este método consiste num processo de consecutivas estimativas por médias móveis, de valores de variáveis distribuídas no espaço a partir de valores adjacentes, recorrendo a uma função designada por variograma. Por outras palavras traduz-se num método geoestatístico de regressão, que permite estimar, aproximar ou interpolar os dados obtidos no campo, com valores em locais não amostrados, permitindo criar modelos otimizados e com malhas de amostragem muito próximas do real. Ao longo desta modelação foi necessário fazer certos acertos no programa de modo a obter a melhor resolução e o modelo mais correto.

A carta de variação dos níveis piezométricos (Figura 4.7), também foi criada com aplicação do método geoestatístico de “*Krigagem*”, baseada nas cartas de fluxo subterrâneo (Figura 4.6), juntamente com aplicação da operação da operação “*Math*” do *software Surfer*[®] 12.6.963 (*Golden Software, 2015*), para se obter a subtração dos valores dos níveis piezométricos entre campanhas de campo (abril e junho) e assim as variações dos níveis piezométricos ao longo da área da BhRC.

Na base destas construções pressupôs-se que ocorre continuidade espacial e ligação hidráulica entre as diversas unidades aquíferas freáticas locais. Assim, as cartas apresentadas constituem uma aproximação à realidade.

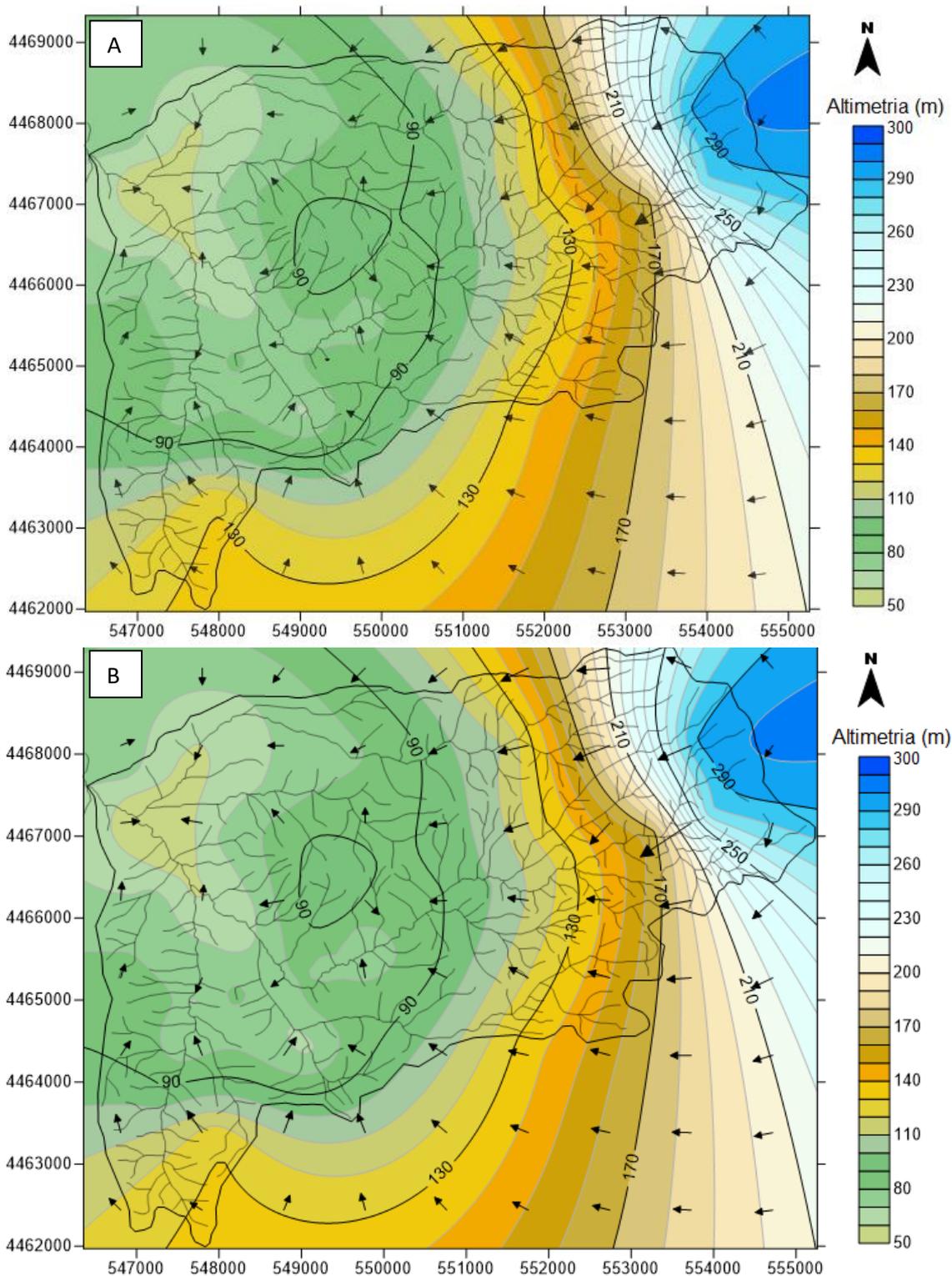


Figura 4.6: Carta de fluxo subterrâneo para abril de 2017 (A) e junho de 2017 (B), para toda a área estudada, englobando várias unidades aquíferas freáticas locais (cartas criadas no software Surfer® 12.6.963 da Golden Software, baseadas no método da “krigagem”).

Da interpretação das cartas de fluxo dos meses de abril e junho, verificou-se alguma estabilidade na variação do fluxo, apresentando o mesmo sentido do fluxo geral. No entanto, observa-se apenas com uma pequena redução espacial de isolinhas de fluxo da mesma altimetria, sobretudo na região central da área estudada (BhRC).

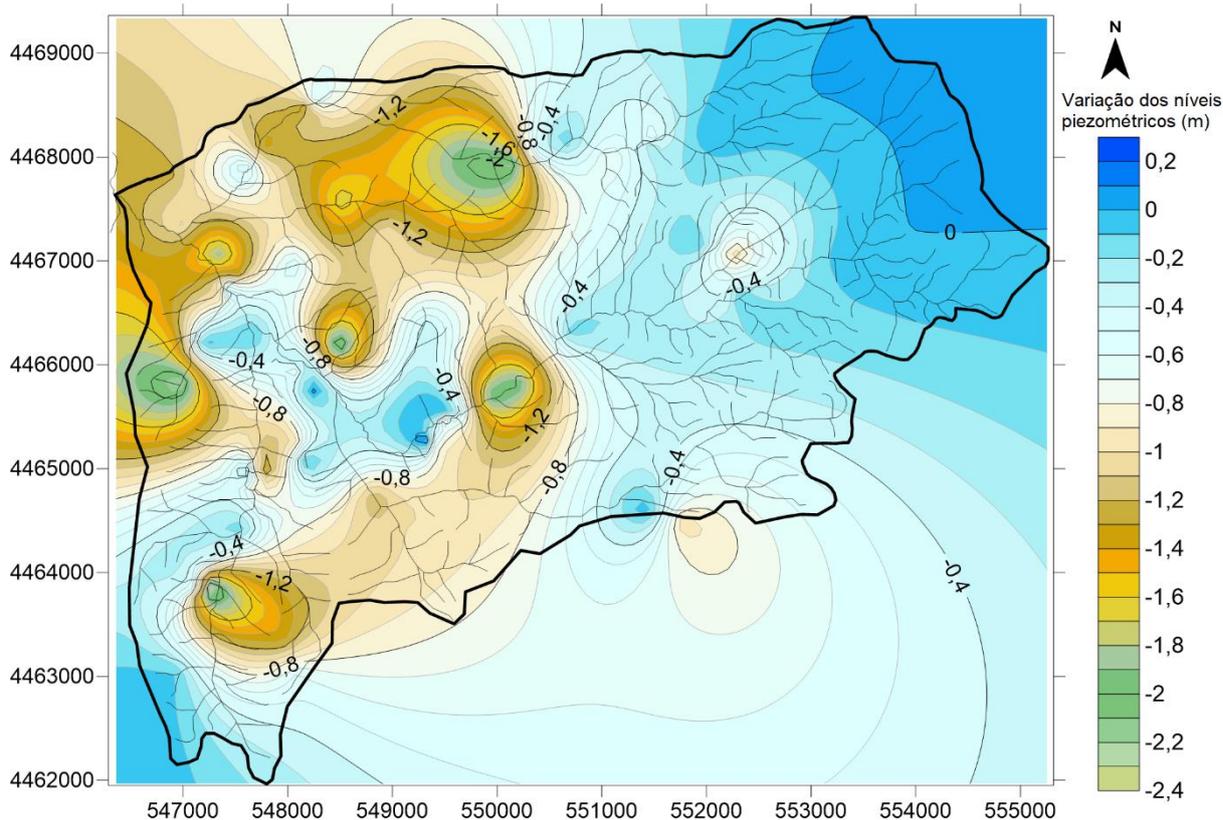


Figura 4.7: Carta da variação dos níveis piezométricos na área de estudo no período compreendido entre as campanhas de abril e junho de 2017 (modelo criado no *software Surfer® 12.6.963 da Golden Software*, com base no método da “*krigagem*”).

Da análise da carta de variação dos níveis piezométricos entre campanhas de campo de abril e junho de 2017, na BhRC (Figura 4.6), é possível concluir:

- Entre abril e junho de 2017, verifica-se que houve um abatimento vertical generalizado dos níveis freáticos, seguido de recuo horizontal das linhas de fluxo subterrâneo e da piezometria do nível freático geral da região entre as várias unidades aquíferas freáticas, implicando também a possível diminuição da velocidade de circulação do fluxo subterrâneo.

- Ao longo das campanhas houve algumas variações do nível freático nas diversas unidades aquíferas freáticas. Segundo este método da “*krigagem*”, verifica-se que as maiores variações dos níveis piezométricos se regionalizam nas zonas centrais da área de estudo, prolongando-se de forma progressiva para NW, com as menores oscilações a observarem-se em setores mais orientais. Os níveis piezométricos da região variaram entre os 55 m a 290 m em abril e os 53 m a 289 m em junho.

- Apesar da fraca precipitação entre campanhas de campo, houve recarga aquífera no setor E, coincidente com a Serra do Buçaco, fazendo-se acompanhar com uma ligeira redução dos níveis piezométricos para W. Por outro lado, as zonas Centrais e a Sul, desta bacia, topograficamente mais altas, apresentam uma oscilação média de 0,8 m, o que revela

não ser uma grande oscilação e podem indicar que correspondem a zonas de recarga aquífera de excelência.

– Os setores onde se verifica menor variação do nível freático e conseqüentemente com maior concentração de água, coincide com a zona central, topograficamente deprimida da Ribeira de Canedo, dos seus aluviões e terraços. Nesta região os níveis freáticos registaram uma variação geral entre os 0,2 m e 1 m de rebaixamento.

– O setor W coincidentes com litologias do Cretácico, apresentaram uma redução variação do nível freático muito baixa, na maioria da zona a variar entre os 0,1 m a 0,8 m de rebaixamento máximo do nível freático. Por outro lado, no setor E, já coincidente com o substrato arenoso das unidades geológicas do Triásico, registaram-se variações maiores face às zonas anteriores cerca de 1 m no geral, mais ainda assim baixas, rondando os entre os 0,3 m a 1,3 m. Importa referir que nas regiões mais centrais da área de estudo e tal como se observa na Figura 4.6, foi onde se verificou uma maior oscilação dos níveis freáticos e conseqüentes rebaixamentos hidráulicos, estando estas zonas possivelmente relacionadas com o substrato calcário em níveis inferiores às unidades aquíferas freáticas.

Da análise da carta piezométrica local (Figura 4.5) e da carta de variação dos níveis piezométricos (Figura 4.6), é possível extrair várias conclusões sobre a recarga, descarga e hidrodinâmica subterrânea locais (Tabela 4.14), bem como obter algumas relações mais pormenorizadas e setORIZADAS de alguns pontos de água estudados.

Tabela 4.14: Quadro resumo de interpretação hidrogeológica com base nos dados de campo e nas cartas de fluxo e de variação dos níveis piezométricos entre as duas campanhas de campo de abril e junho de 2017 (Figuras 4.5 e 4.6), para a zona estudada.

Processo	Conclusões
<p>Sentido do Fluxo hídrico subterrâneo</p>	<ul style="list-style-type: none"> - O escoamento subterrâneo maioritário dá-se de E – W, evoluído para NW. - Na parte mais ocidental da área de estudo o sentido do fluxo subterrâneo é segundo W-E, até às zonas mais centrais desta bacia hidrográfica - Há também uma contribuição, ainda que menor, no sentido geral do fluxo subterrâneo segundo S – N, com maior incidência em zonas mais centrais desta bacia hidrográfica.
<p>Variações do nível piezométrico</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Verifica-se uma convergência das linhas e sentido de fluxo, na região mais Central e W (largo da Vila de Pampilhosa do Botão), para níveis altimétricos menores e tendencialmente mais deprimidos, podendo indicar uma região com grande abundância de água. Nos poços situados nestas zonas mais deprimidas da bacia hidrográfica, verificou-se uma menor variação dos níveis freáticos e também menores oscilações entre os pontos de água. - Na zona mais ocidental e coincidente com a zona do Sistema Aquífero de Tentúgal (O5), os níveis freáticos na generalidade, encontraram-se altos e sempre muito próximos da superfície, podendo estar relacionados com as características dos aluviões, do grau de impermeabilização das unidades geológicas subadjacentes e também devido à tectónica intensa nesta seção, originando pequenos <i>horsts</i> e <i>grabens</i>. Exemplo: os poços P3, P4 e P13, onde os níveis piezométricos mal variaram.
<p>Gradiente Hidráulico</p>	<ul style="list-style-type: none"> - O gradiente hidráulico sobretudo no setor E é alto, muito devido à altimetria como à impermeabilização geral do substrato geológico. - Nas zonas centrais de bacia hidrográfica, a velocidade de fluxo aparenta ser menor, uma vez que a topografia se torna mais aplanada e as variações dos níveis piezométricos das várias unidades aquíferas freáticas demoram a fazer-se notar. - A W, o gradiente hidráulico prevê-se médio devido à sua topografia, aos contornos estruturais e unidades geológicas profundas mais impermeáveis, que condicionam um pouco fluxo superficial e subterrâneo.
<p>Relação entre as massas de água superficiais e subterrâneas</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Existe uma relação variável, com tendência geral de apresentar fluxos superficial e subterrâneo semelhantes e com o mesmo sentido ao longo da bacia hidrográfica. - Da figura 4.6, verifica-se que na região central da bacia hidrográfica, foi aonde se evidenciaram os maiores rebaixamentos dos níveis piezométricos, indicando uma provável recarga subterrânea a partir das linhas de água mais próximas. - No setor final da bacia hidrográfica, a NW, verifica-se que existe descarga aquífera, alimentando esta zona e as linhas de água nesta região de topografia mais baixa. Também se observa alguma heterogeneidade no sentido do fluxo podendo estar relacionado com a proximidade de outra bacia hidrográfica.

Para além das constatações e interpretações de natureza hidrogeológica acima apresentadas (Tabela 4.14), é possível avançar ainda com outras conclusões mais detalhadas, nomeadamente no que respeita à relação hidrodinâmica entre água superficial e as várias unidades aquíferas freáticas, verifica-se que:

- Na zona central desta bacia, a densidade de linhas de água é baixa e muito localizado, à ribeira de Canedo e seus principais afluentes.

- No entanto ainda nesta região central da bacia hidrográfica, verifica-se que há influência de charcos situados a altimetrias mais altas e em unidades freáticas recentes (Cenozóico), que descarregam de forma exorreica, criando algumas linhas de água e nascentes. A nascentes N3 e o poço P30 comprovam essa dinâmica apresentando caudal, estável numa zona altimétrica alta e o poço um nível freático mais alto que os restantes em redor, indicado que é recarregado por estes charcos e nascentes associadas.

- Também há probabilidade de poço P20 também ser recarregado resultante da água situada em unidades aquíferas freáticas suspensas e topograficamente mais elevadas, coincidentes com a zona dos charcos C5 e C6.

- Os poços situados nas zonas aluvionares apresentam cotas de nível freático muito semelhantes entre si e próximos do nível freático do ribeiro mais próximo. Os mais distantes destas linhas de água, apresentam níveis freáticos muito fundos, por vezes superiores a 5 m ou 6 m de profundidade. Poderão também estar associados à maior ou menor proximidade unidades hidrogeológicas do tipo cascalhentas ou argilosas, que funcionem como aquitardos ou aquifugos.

- Os poços P3, P4 e P13, na parte W, próximos de zonas aluvionares e numa aparente caixa de falha, resultante da tectónica pronunciada da região (*horsts e grabens*), apresentaram uma variação mínima dos níveis freáticos, podendo indicar uma zona hidrogeológica muito particular, com unidades geológicas muito impermeabilizantes, sobretudo na base da unidade aquífera freática, indicando um fluxo subterrâneo lento e muito circunscrito localmente.

- A zona mais Central e Este, associados a aluviões, os poços P50 a P57 apresentam níveis freáticos próximos da superfície e semelhantes à altimetria dos tributários da Ribeira de Canedo.

De um modo geral, o evidenciado pelas Cartas de fluxo de abril e junho de 2017 (Figura 4.6) e pela Carta de variação dos níveis freáticos na BhRC, confirmam o expectável para este tipo de meios hidrogeológicos. Isto é, nas zonas ribeirinhas, aluvionares e topograficamente mais deprimidas, há uma tendência de apresentar maior volume de água subterrânea e com menores oscilações anuais, podendo se tratar de zonas de descarga naturais; nas zonas

topograficamente mais elevadas tendem a apresentar maiores variações volumétricas correspondendo a zonas de recarga desta bacia hidrográfica.

Contudo, estas conclusões gerais podem apresentar exceções, devido à diversidade e influência do substrato rochoso: mais permeável nos setores centrais desta bacia onde o substrato é calcário e onde a oscilação dos níveis freáticos, tende a ser maior. Por outro lado, nas zonas de altimetria mais alta, na região mais a E e coincidentes com a maior parte da área de cumeadas, o substrato é de origem metamórfica, o fluxo superficial tende a ser constante ao longo do ano hídrico, implicando uma taxa de infiltração menor e mais localizada, podendo levar a oscilações mais aleatórias dos níveis piezométricos e do fluxo subterrâneo geral.

4.3.3 Enquadramento hidrogeológico das nascentes locais

Na área de estudo (BhRC) foram identificadas 10 exsurgências (9 canalizadas e uma não canalizada), que se encontram distribuídas ao longo do domínio estudado (Figura 4.9). Algumas delas são utilizadas para servir populações e com fins de abastecimento privado, agropecuários ou recreativos.



Figura 4.8: Imagens das nascentes N1 (A) e N2 (B), alvo de aumento de caudal entre campanhas de campo.

No caso particular das nascentes, o estudo e reconhecimento de campo teve como objetivo a avaliação do seu enquadramento hidrogeológico e caracterização físico-química *in situ* da água emergente. Nas duas campanhas de campo foram quantificados *in situ* os seguintes parâmetros: Caudal das exsurgências e a sua variação entre o período estudado.

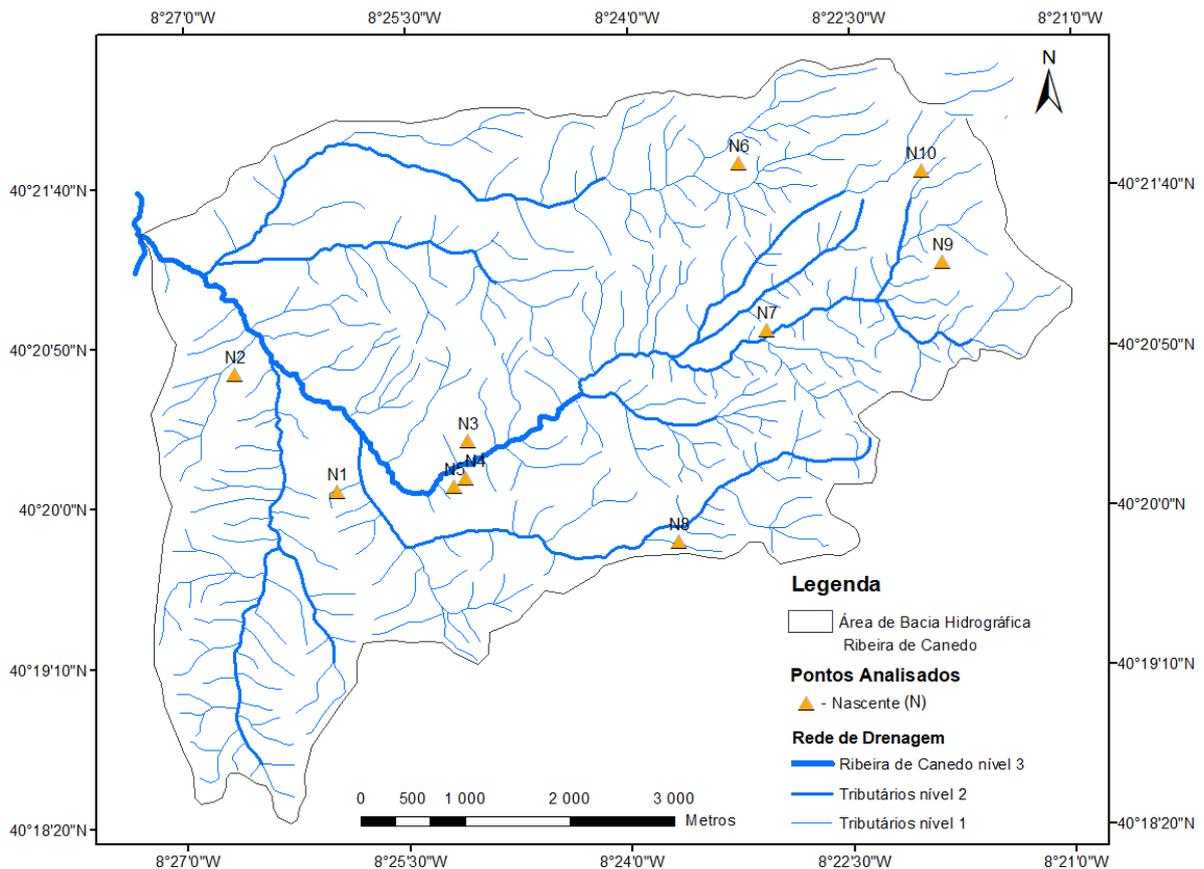


Figura 4.9: Distribuição espacial das nascentes alvo de estudo de variação de caudal na região da BhRC.

Na Tabela 4.15 apresentam-se os dados de campo relativos ao caudal registado e a sua variação, entre o período de abril e junho de 2017.

Tabela 4.15: Resultados das medições (abril e junho) para a variação de caudal, registados nas nascentes identificadas na área estudada (localização na Figura 4.9).

Nascente	Mês/Campanhas	Caudal		
		L/s	L/dia	m³/dia
N1	Abril	0,02	1452,20	1,45
	Junho	0,03	2163,80	2,16
N2	Abril	0,28	24000,00	24,00
	Junho	0,31	26454,55	26,45
N3	Abril	0,20	17280,00	17,28
	Junho	0,16	13647,76	13,65
N4	Nascente não canalizada, sem possibilidade de medir caudal			
N5	Abril	0,02	2107,32	2,11
	Junho	0,01	1093,67	1,09
N6	Abril	0,00	0,00	0,00
	Junho	0,02	1542,86	1,54
N7	Abril	0,34	29058,30	29,06
	Junho	0,29	25165,05	25,17
N8	Abril	0,28	24000,00	24,00
	Junho	0,24	20571,43	20,57
N9	Abril	0,05	4453,61	4,45
	Junho	0,03	2586,83	2,59
N10	Abril	0,09	7854,55	7,85
	Junho	0,10	8749,59	8,75

Considerando que no presente ano de 2017: (1) a precipitação atmosférica tem sido geralmente muito baixa, por curtos períodos de tempo e localizada em fevereiro e março; (2) entre as duas campanhas de campo (abril e junho), ocorreu muito pouca precipitação atmosférica e foi muito circunscrita a uma semana em maio, conclui-se que não ocorreram grande infiltração e conseqüentemente grande recarga aquífera na região, afetando de forma negativa o caudal das nascentes.

Neste período a maioria das nascentes, foram perdendo caudal de forma gradual, com algumas delas em risco de secarem, excetuando as N1, N2, N6 e N10, que ganharam caudal. Dentro destas, o aumento de caudal das nascentes N1 e N2 (Tabela 4.15) poderá ser atribuído a causas naturais e relacionadas com o meio geológico. A nascente N4 não foi considerada para este estudo devido a se tratar de uma captação não canalizada e que deste modo, não foi possível quantificar o caudal e a sua variação. No entanto da análise de campo, verificou rebaixamento do nível da água, seguindo o padrão geral das restantes nascentes.

A nascente N1 apresentou um aumento do seu caudal, variando de 1,46 m³/dia em Abril a 2,19 m³/dia em Junho. Muito provavelmente, este aumento será devido a causas naturais, podendo indicar que a água que exsurge, terá tempo de residência maior no maciço rochoso e que só neste momento (final de junho), esteja a exsurgir a água excedentária da época de maior pluviosidade coincidente com o mês de Maio ou até mesmo com a época das chuvas do início de ano de 2017. Esta razão pode ser justificada com o facto de esta nascente se encontrar na base de um antigo barreiro (zona de exploração de argilas) e da litologia predominante nessa área, ser de carácter argiloso, também conhecidas por ter elevado grau de impermeabilização à circulação e acumulação de água.

A nascente N2 também teve um aumento de caudal de 24 m³/dia para 26 m³/dia, podendo estar relacionada com a mesma circunstância da nascente N1, visto que se insere no mesmo meio litológico, o aumento de caudal também é significativo, ainda que em menor proporção face ao caudal verificado na nascente N1 e situam-se em cotas altimétricas relativamente próximas.

A maioria destas nascentes estão associadas a pequenas unidades aquíferas freáticas, onde a recarga hídrica depende largamente das variações na precipitação atmosférica sobretudo no inverno. Este processo de recarga estará também dependente da litologia do meio aquífero e dos contornos e condicionamentos estruturais.

4.4 Caracterização físico-química *in situ* dos aquíferos freáticos

A água, sobretudo no estado líquido constitui o solvente mais importante e eficiente no ponto de vista químico, na dissolução e distribuição de elementos geoquímicos na Terra, ao longo do seu ciclo hídrico (Matthess, 1982).

Do ponto de vista físico e químico, a água é um fluído muito interessante e versátil e ao longo do seu ciclo hidrológico e neste caso hidrogeológico, tem a capacidade de interagir de forma física e química com o meio, transmitir e receber propriedades físicas e químicas, levando à variação da temperatura, pH e troca iónica e dissolução da rocha e de elementos minerais solúveis.

Castilho (2008) afirma que a composição química da água advém de inúmeras interações físicas, químicas e biológicas que vão acontecendo ao longo ciclo da água, que levam a tipos de água quimicamente diferentes e em constante alteração, sempre que haja alterações das condições de equilíbrio. Também refere que as principais reações químicas da água, dependente da composição das fases sólida, líquida ou gasosa da água em contacto, poderão ser do tipo ácido/base, de precipitação ou dissolução, de complexação e de oxidação/redução.

Castilho (2008), ainda salienta para a importância no conhecimento da composição química da água superficial ou subterrânea a partir de análise através de parâmetros físico-químicos, para assim ser possível identificar processos hidrogeoquímicos ativos na formação entre a água e o meio hidrogeológico e identificar as origens, percursos e interações físicas e químicas da água com o meio.

Como tal o conhecimento da hidrogeoquímica da água traduz-se numa metodologia muito útil para a caracterização e identificação dos tipos de águas, na determinação do grau de influência do substrato rochoso e a relação entre massas aquíferas freáticas e massas de água mais profundas.

O objetivo da caracterização físico-química *in situ* da água subterrânea foi, numa primeira fase, avaliar genericamente o tipo e a qualidade da água e, numa segunda fase, (a mais importante), tentar identificar as várias origens da água subterrânea, nomeadamente determinar a litologia aquífera, o tempo de residência da água e a ocorrência de possíveis contaminações.

A caracterização hidrogeoquímica simplificada que se apresenta neste trabalho baseou-se na realização de ensaios/ medições de campo, em 43 pontos de água (poços, nascentes, charcos e locais em linhas de água), realizados na última de semana de junho, coincidente com a segunda campanha de trabalho de campo.

Estes 43 pontos subdividem-se em: 25 poços, 10 exurgências, 4 locais em linhas de água, 3 charcos e 1 “mina de água”. Nestes pontos, procedeu-se ao levantamento dos parâmetros físicos e químicos de temperatura (T em °C), condutividade elétrica (CE em $\mu\text{S}/\text{cm}$) e pH da água.

As medições foram efetuadas num conjunto de pontos de água (Fig. 4.11), cuja seleção baseou-se seguintes critérios gerais: (1) relevância e contraste ao nível hidrogeológico dos pontos de água; (2) possibilidade de identificação da interação com substrato geológico, (3) área de dispersão geográfica ao longo da área de estudo (BhRC), (4) facilidade no acesso e na realização de ensaios/ medições de campo.

Para determinar estes parâmetros *in situ*, utilizaram-se os 2 aparelhos multiparâmetros, WTW® pH 330i para o pH e WTW® Cond 330i para condutividade elétrica e temperatura, devidamente calibrados para o efeito, anotando somente os valores após estabilização inicial.

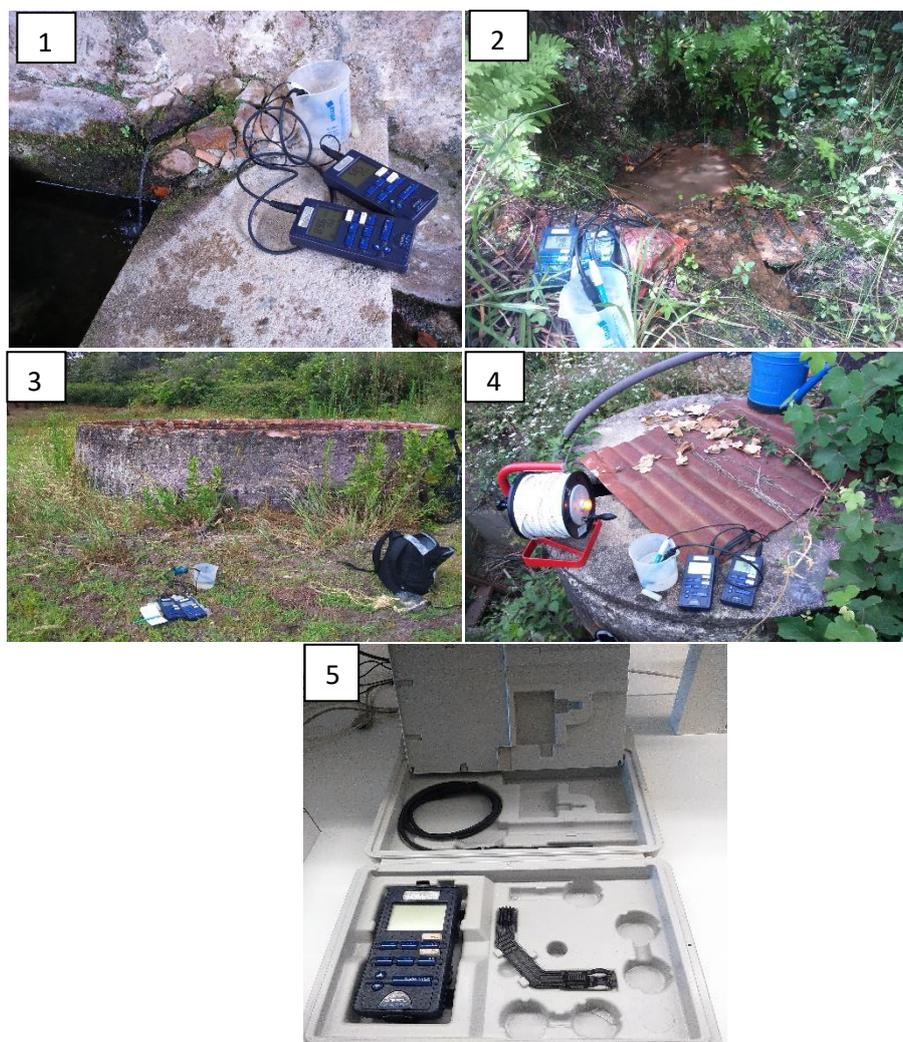


Figura 4.10: Exemplos dos pontos de água analisados *in situ*, nomeadamente nascentes (1-2) e poços (3 e 4) e (5) equipamentos utilizados - medidor multiparâmetros (WTW® pH 330i e WTW® Cond 330i).

Os 48 pontos analisados para a caracterização hidrogeoquímica estão distribuídos ao longo da bacia hidrográfica Ribeira de Canedo, sendo possível observar a sua distribuição geográfica na Figura 4.11. Posteriormente organizados na Tabela 4.16, onde é possível observar os valores adquiridos para a temperatura, condutividade elétrica e pH, para cada ponto analisado. Na mesma Figura 4.11 também se incluíram os furos de água escolhidos e necessários para posteriores correlações e conclusões.

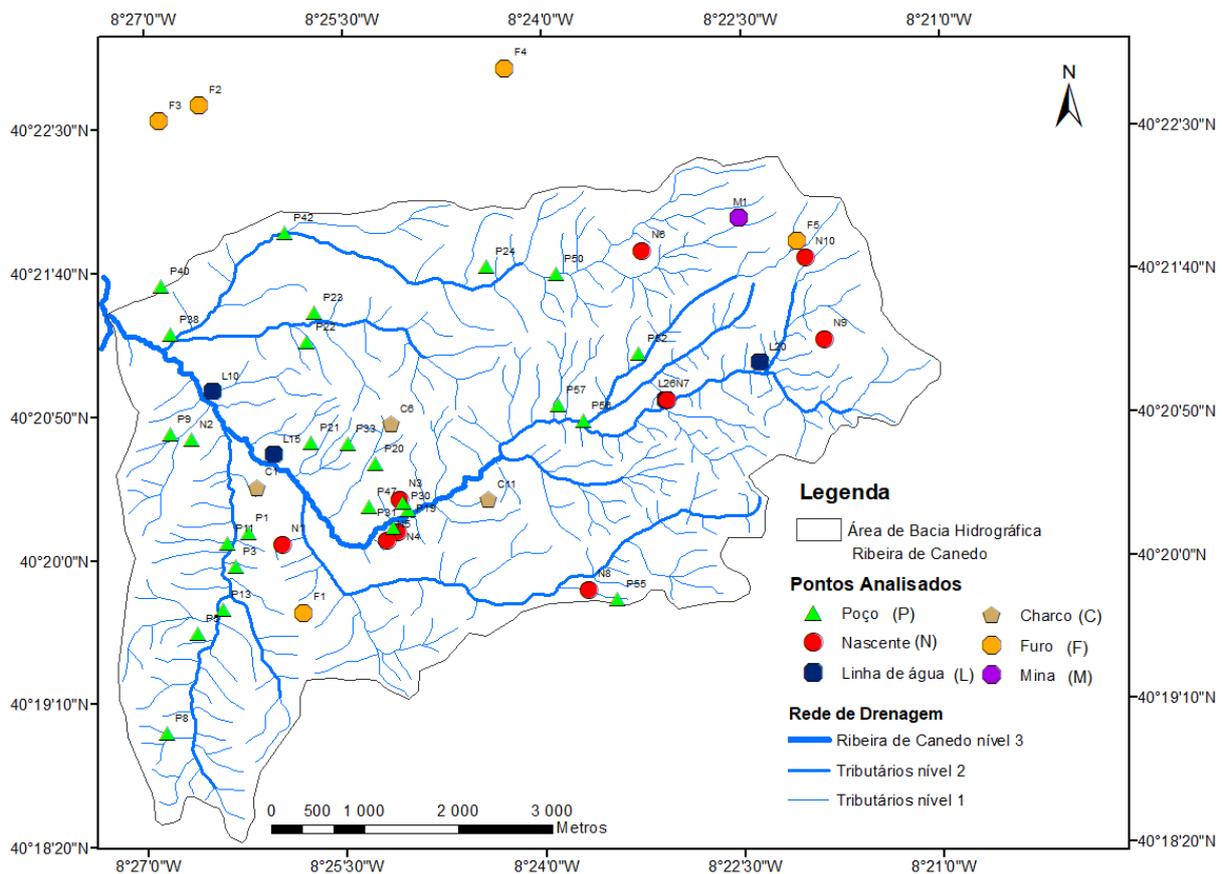


Figura 4.11: Mapa de distribuição dos pontos de água – poços, exsurgências, “mina de água”, charcos, locais em linhas de água e furos – utilizados na caracterização físico-química *in situ* da água.

Os resultados da caracterização físico-química *in situ* da água subterrânea apresentam-se na seguinte Tabela 4.16.

Tabela 4.16: Resultados da caracterização físico-química *in situ* da água subterrânea na zona estudada nos diversos pontos de água: charcos – C, linhas de água – L, Poços – P e nascentes – N e mina de água - M (ver localização na Figura 4.11).

Pontos	Coordenas UTM		Temperatura T (°C)	Condutividade elétrica CE (µS/cm)	pH
	Este	Norte			
C1	547892,52	4465685,18	24,7	452	7,5
C6	549329,39	4466367,07	24,7	133,1	6,6
C11	550365,68	4465556,41	16,2	464	7,27
L10	547423,55	4466719,46	19,9	365	7,62
L15	548074,25	4466044,38	18,9	353	7,45
L20	553265,68	4467033,90	17,9	156	7,14
L26	552270,53	4466634,47	19,3	169	6,28
N1	548168,22	4465073,93	17,4	198	7,88
N2	547195,40	4466197,85	17,5	293	6,94
N3	549416,30	4465559,70	17,2	90,9	5,7
N4	549397,48	4465205,18	17,3	462	7,24
N5	549287,75	4465118,68	18,6	615	6,02
N6	552010,74	4468234,75	24,6	161,2	6,17
N7	552277,31	4466628,32	16,5	63,5	6,78
N8	551436,27	4464594,24	19,5	49,8	7,44
N9	553954,25	4467287,69	15,8	88,7	6,8
N10	553758,48	4468163,84	22,3	133,3	6,01
P1	547805,52	4465195,24	17,3	178	7,6
P3	547670,03	4464840,40	22,3	246	7,27
P5	547268,36	4464113,50	17,6	112,8	6,56
P8	546937,71	4463042,00	22,8	165,4	5,91
P9	546966,69	4466259,11	21,5	362	7,2
P11	547584,85	4465088,13	21,6	149,1	7,23
P13	547535,69	4464371,59	19,3	109,9	7,12
P19	549510,76	4465443,70	17,4	547	7
P20	549163,96	4465945,02	17,9	160,4	6,4
P21	548474,16	4466170,63	16,2	198,7	7,6
P22	548428,25	4467248,99	19,9	82,1	6,4
P23	548509,80	4467565,45	21,1	174,8	5,8
P24	550346,27	4468061,99	19	430	6,71
P30	549449,25	4465527,64	18,5	248	6,32
P31	549352,22	4465250,76	17,3	463	7,09
P33	548865,43	4466160,95	17,9	183,9	6,72
P38	546971,89	4467335,24	21,8	581	7,28
P40	546873,45	4467847,61	19,7	476	7,59
P42	548191,76	4468426,08	18,1	162,2	7,92
P47	549093,00	4465484,00	22,5	220	6,7
P50	551086,38	4467984,52	20,3	191,2	6,4
P52	551976,63	4467133,11	20,2	142,8	7,56
P55	551750,89	4464482,31	18,1	245	6,6
P56	551383,00	4466408,00	19,2	236	7,17
P57	551111,00	4466580,00	20,9	205	7,9
M1	553046,10	4468595,49	16,3	86,7	6,72

Para complementar a análise físico-química recorreu-se também a elementos físicos e químicos disponíveis em “*Memória descritiva das Captações do Município de Mealhada (2016)*”, referentes a 5 furos e uma mina de água (Tabela 4.17), destinados ao abastecimento público do Concelho da Mealhada e anteriormente descritos.

Tabela 4.17: Valores de análises físico-químicas efetuadas em amostras de água de furos e de uma “mina de água” para abastecimento público do Concelho da Mealhada. Retirado de “*Memória descritiva das Captações do Município de Mealhada (2016)*”.

Furos	Coordenadas UTM		Temperatura (°C)	Condutividade elétrica (µS/cm)	pH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
	Este	Norte					
F1 (Santo Amaro)	548393,73	4464342,88	18,4	135,5	5,7	18,3	7,9
F2 (Cabrita)	547280,36	4469799,61	16,8	56,3	5,0	11,7	<5,0
F3 (Póvoa)	546851,66	4469630,90	18,5	528,8	7,4	36,5	46,0
F4 (Lograssol)	550537,65	4470202,85	17,4	387,3	6,9	34,3	11,0
F5 (Carvalheiras)	553669,24	4468344,61	17,1	114,0	6,9	14,8	<5,0
M1 (Mina do Pego)	553046,10	4468595,49	16,4	83,3	5,6	13,8	<5,0

Apesar de se ter feito uma campanha de análise hidrogeoquímica pequena e com apenas com três parâmetros físico-químicos, é possível enumerar algumas conclusões e realizar distinção preliminar da origem e influência da litologia nas massas de água subterrâneas locais.

Do processamento dos dados da Tabela 4.16, é possível retirar que os valores médios para o pH - 6,9; temperatura - 19°C e condutividade elétrica - 246,5 µS/cm.

4.4.1 Temperatura da água

A temperatura é um parâmetro físico essencial para determinar a qualidade da água e nalgumas circunstâncias determinar a origem e o meio geológico por onde circulou (exemplo estudos de geotermia). Este parâmetro irá influenciar o tempo e velocidade de reações químicas, da capacidade solúvel da água ou grau de mineralização da água e a suscetibilidade no desenvolvimento e proliferação de microrganismos (Sousa, 2001). Pode ser condicionada em função da profundidade, da temperatura da água resultante da precipitação atmosférica e da exposição da água dos pontos de água à radiação solar.

Nesta região de estudo, as temperaturas mais altas registadas poderão estar associadas normalmente, a uma maior exposição à luz solar, ao tipo de construção da estrutura de captação, à profundidade e relação com o meio litológico ou tectónico.

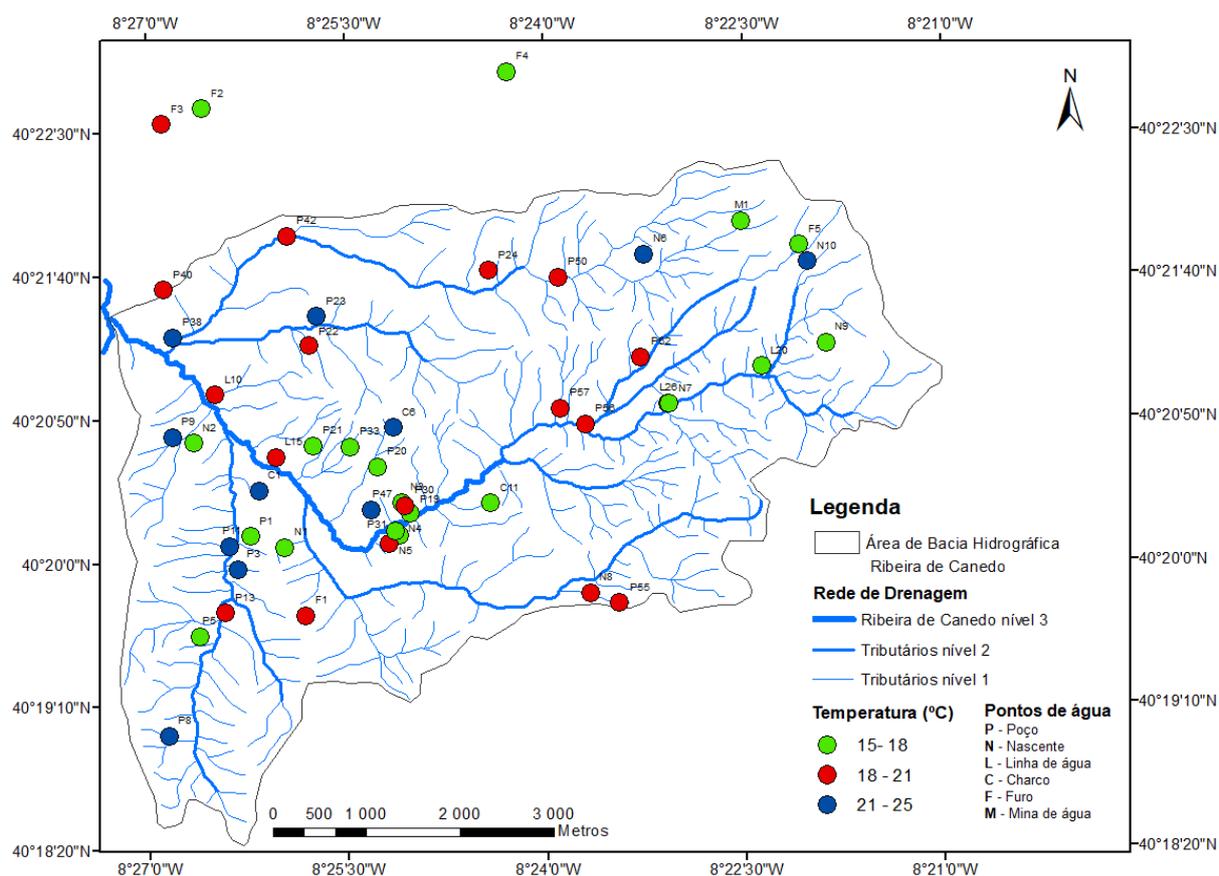


Figura 4.12: Distribuição espacial dos valores de temperatura nos pontos de água alisados na zona estudada.

No caso da área estudo através da Figura 4.12 é possível que exista uma divisão tripartida quanto à variação da temperatura da água nos pontos analisados. Denota-se que o fator condicionante da temperatura dos pontos de água é a exposição à radiação solar. Este fator encontra-se intimamente ligado à também profundidade da água captada ou cobertura da estrutura de captação, uma vez que os pontos mais profundos como poços e furos, na sua maioria, são os que apresentam uma menor temperatura cerca de 15°C a 18°C e onde a incidência da luz solar é bastante menor ou inexistente. Neste caso, em captações mais profundas, existe uma pequena probabilidade de que a temperatura da água também esteja relacionada com a tipologia da unidade aquífera.

4.4.2 pH da água

O pH é um parâmetro químico que indica a concentração do ião hidrogénio (H+) e consequentemente o grau de acidez ou alcalinidade da água. Este parâmetro ajuda a indicar e a controlar as condições de equilíbrio ideais para desenvolvimento de grande parte das reações químicas e biológicas da água (Sousa, 2001). Segundo Morais, J., (s.d.), o pH médio da água da chuva a 25°C ronda os entre 5,4 a 6 e para as chuvas mais ácidas a 25°C, pode apresentar um pH médio por vezes igual ou inferior a 5.

Neste caso de estudo, a medição do parâmetro pH permite distinguir numa fase preliminar a origem dessa água e as associações com meio aquífero, a influência dos elementos dissolvidos e da litologia, o tempo de residência ou grau infiltração da água proveniente da precipitação atmosférica e a vulnerabilidade à poluição que a água poderá estar associada resultante da influência do meio urbano.

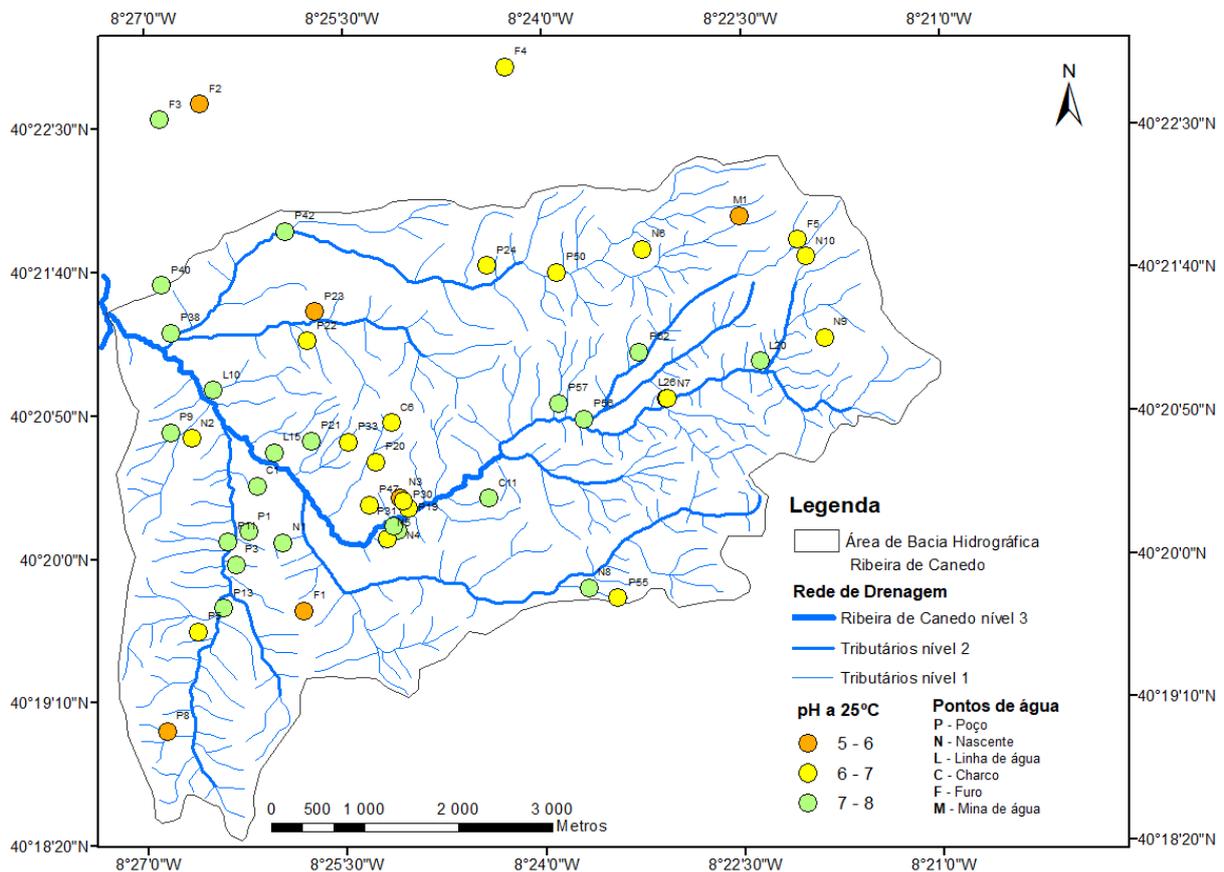


Figura 4.13: Distribuição espacial dos valores de pH da água nos pontos de água alisados na zona estudada.

Da análise dos valores de pH a 25°C medições *in situ* representados na Figura 4.13, verifica-se que há uma distribuição tripartida, estando associados maioritariamente ao tempo de residência da água resultante da infiltração da precipitação atmosférica, ao tipo de litologia e tectónica intrínseca do maciço rochoso.

Verifica-se que as regiões onde o pH ronda entre os 5 e 6, a água desses locais resulta da precipitação atmosférica e apresenta um tempo de residência baixo e assim com pouca influência química das unidades aquíferas em contacto. Corresponde a água proveniente da precipitação atmosférica e que se infiltrou rapidamente através de falhas, fraturas e planos de descontinuidades num curto período de tempo e com velocidades de circulação subterrâneas relativamente altas. As águas de pH intermédio entre 6 e 7 resultam também da

precipitação atmosférica, mas com tempos de residência no maciço rochoso tendencialmente maiores.

Por outro lado, os valores mais elevados de pH registados coincidem com as zonas mais baixas da bacia hidrográfica, a NW e parte de uma seção mais oriental, associadas a zonas de aluviões espessos e unidades areníticas do Triásico. Estes valores poderão estar associados infiltração mais progressiva, com tempos de circulação da água subterrânea maiores e da interação com o maciço rochosos. Também há possibilidade de estarem relacionados com a crescentes vulnerabilidade da alcalinização da água resultante da influência urbana e das atividades antrópicas e agropecuárias, principalmente na secção NW desta bacia hidrográfica.

4.4.3 Condutividade elétrica da água

A condutividade elétrica (CE) é um parâmetro físico-químico que permite determinar a concentração de elementos sólidos e iões dissolvidos da água (de sólidos totais dissolvidos), capazes de transmitir corrente elétrica entre si juntamente com a interação da água (fonte: AgSolve).

É um parâmetro muito importante dado que permite prever a origem e tempo de residência da água subterrânea como também a suscetibilidade à poluição. Contudo a condutividade elétrica é bastante influenciável pela temperatura do meio ambiente ou litológico, pelas condições da amostragem e possíveis contaminações no processo de medição *in situ*. A sua medida expressa-se em uS/cm e juntamente com a amostragem de pontos de água realizados, permite indicar grau de mineralização da água, possíveis associações mineralógicas, interações com o meio geológico e traçar origem da água subterrânea ou superficial.

Da representação gráfica ilustrada na Figura 4.14, verifica-se essencialmente quatro padrões relativos a intervalos de CE, com três deles associados a causas naturais, podendo evidenciar uma influência litológica, condicionada também ao tempo de residência da água no meio aquífero e conseqüentemente o grau de mineralização dessa água.

O 4º padrão encontra-se relacionado com a possível vulnerabilidade à poluição da água ou substâncias poluentes já dissolvidas da água, estando também relacionada à inerente confluência de toda a água subterrânea da bacia hidrográfica de regiões mais a montante. Para além de se verificar que a bacia hidrográfica drena toda para esta região, a área encontra-se posterior a uma zona populacional relativamente densa e próximo de zona industrial, podendo condicionar, deste modo a condutividade elétrica da água.

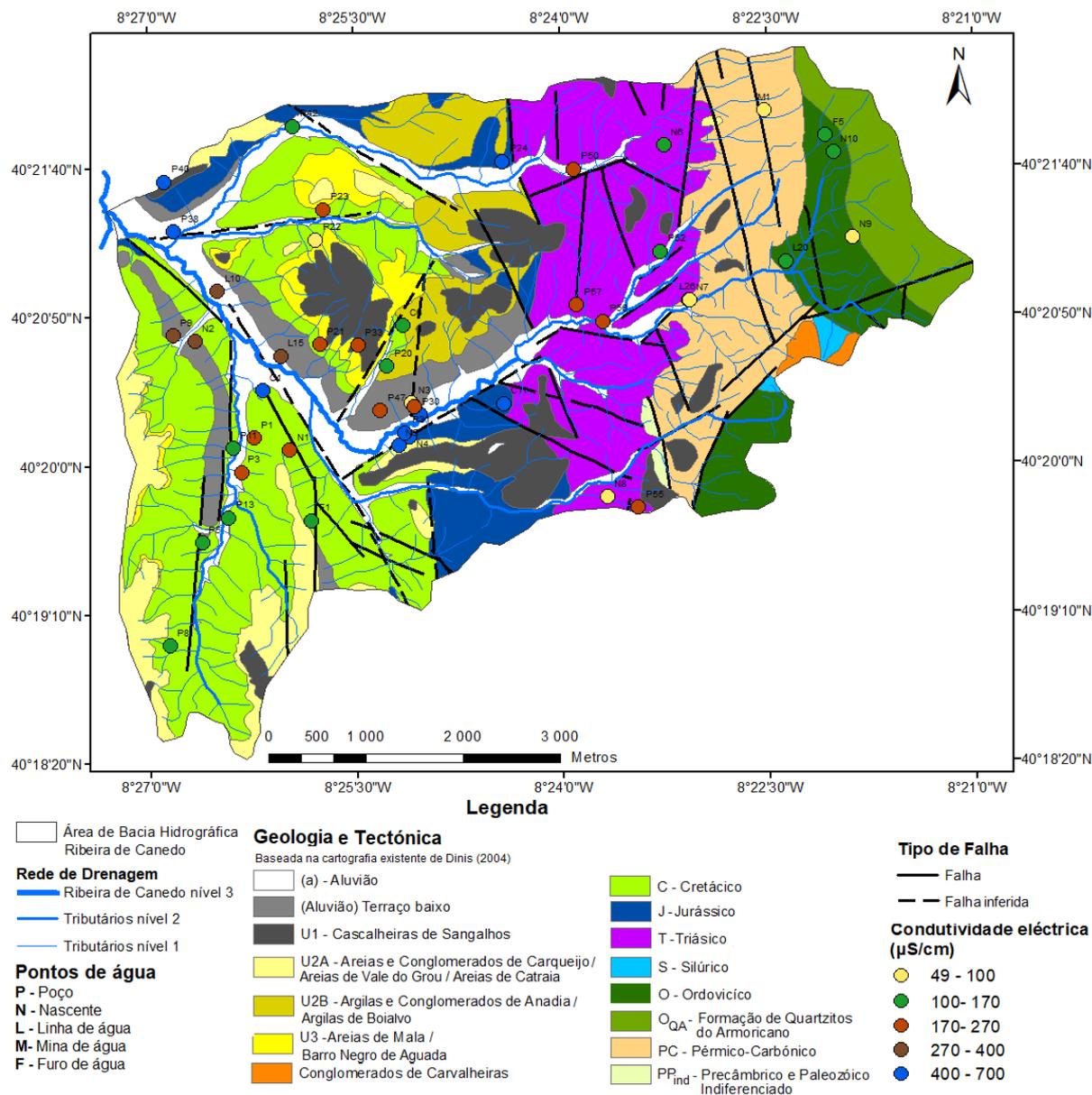


Figura 4.14: Distribuição espacial dos valores de condutividade eléctrica (CE) nos pontos de água alisados na zona estudada.

Com base na análise do mapa da na Figura 4.14 e dos dados obtidos no trabalho de campo, os pontos de água que registaram valores condutividades eléctricas mais baixas, entre 40 a 170 $\mu\text{S}/\text{cm}$, estarão relacionadas com a rápida infiltração da água proveniente da precipitação atmosférica, através de falhas, descontinuidades e aluviões pouco desenvolvidos. A água subterrânea situada neste intervalo de valores para a condutividade eléctrica, estará bastante associada a rochas do Maciço Antigo tais como xistos, quartzitos ou grés pouco consolidado.

As regiões onde se situam pontos de água com valores de condutividades eléctricas entre os 100 a 270 $\mu\text{S}/\text{cm}$, muito possivelmente estarão associadas a meios litológicos

areníticos maioritariamente siliciosos, com pouca influência mineralógica, uma vez que ainda se trata de condutividades elétricas relativamente baixas.

As zonas com pontos de água que apresentam valores em 270 a 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, já demonstram uma influência maior da geologia, podendo indicar tempo residência mais elevado, com circulação da água subterrânea mais lenta e profunda e maior incidência à mineralização. No entanto, ainda assim se deve tirar esta conclusão com alguma reserva uma vez estes valores de condutividade elétrica se localizam próximo de zonas populacionais, com grande desenvolvimento de atividades industriais e agrícolas, podendo contribuir de forma indireta, para o aumento de elementos dissolvidos na água.

Inerente às elações anteriormente referidas, e como é possível observar na Figura 4.14, estes pontos de água, também já se encontram próximos de regiões onde predomina substrato calcário, podendo indicar que a água já apresenta alguma mineralização, em resultado do contacto ou circulação mais profunda em litológicas calcárias.

As zonas de CE mais altas, superiores a 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ estão amplamente relacionadas com unidades geológicas calcárias, onde o grau de dissolução e interação da rocha é elevada, implicando um grau mineralização da água alto e rica em elementos dissolvidos, nomeadamente Mg^{2+} e Ca^{2+} .

4.4.4 Enquadramento hidrogeoquímico nos Sistemas Aquíferos e Unidades Hidrogeológicas regionais

Apresenta-se seguidamente uma tentativa de correlação entre resultados hidrogeoquímicos obtidos e os elementos hidrogeológicos regionais – Sistemas aquíferos e zonas indiferenciadas das Unidades hidrogeológicas - que evoluem na BhRC.

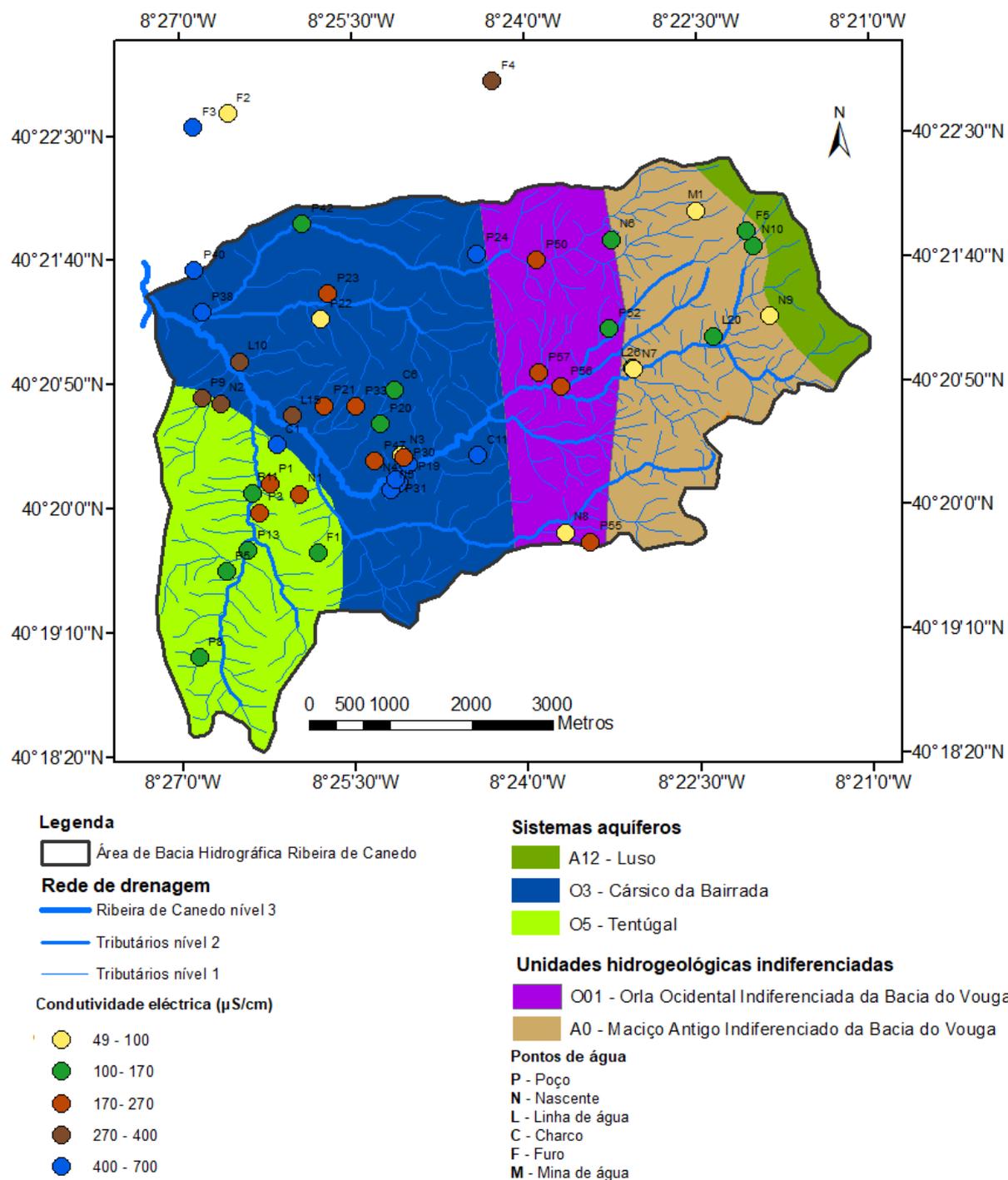


Figura 4.15: Mapa com projeção dos valores da condutividade eléctrica dos pontos de água analisados nos Sistemas aquíferos e domínios indiferenciados das Unidades hidrogeológicas regionais.

Os pontos com CE mais baixos (entre 49 e 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$), estão relacionadas com as unidades aquíferas indiferenciadas do Maciço Antigo, associadas sobretudo a xistos. Contudo, os pontos de água que ainda apresentem valores de condutividades elétricas (CE) entre os 100 e 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, dado à sua localização, ainda pertencem a essa massa de água, no entanto, com tempos de residência e circulação da água subterrânea tendencialmente mais altos e com maior influência de fatores externos, de origem antrópica (poluição e resultantes de atividades agropecuárias ou industriais).

Esta correlação é suportada da análise do furo de Carvalheiras (F5) que apresenta temperaturas, pH e condutividade elétrica (17,7; 6,9 e 114 respetivamente), próximos dos valores dos pontos de água, assim como os dados hidrogeoquímicos da Mina do Pego (M1), que indica valores de temperatura, pH e condutividade elétrica de 16,4; 5,6 e 83,3, respetivamente.

As águas analisadas nos diversos pontos de água na região Centro e Oeste da Bacia hidrográfica, com condutividades elétricas entre os 100 e 270 $\mu\text{S}/\text{cm}$, de acordo com a revisão bibliográfica, da sua localização, do substrato rochoso que ocorrem e em comparação com o Furo Santo Amaro (F1), possivelmente associam-se a unidades geológicas porosas areníticas e siliciclásticas do Cretácico, com probabilidade de haver interação e de circulação subterrânea de água em unidades geológicas integrantes base do Sistema Aquífero de Tentúgal (O5).

Na região mais oriental desta bacia hidrográfica também verificam condutividades elétricas semelhantes, indicando unidades geológicas de génese similar (porosa e areníticas), correspondentes às unidades hidrogeológicas indiferenciadas da Orla Ocidental (unidades do Triásico) ou outras unidades detríticas mais recentes (aluviões e terraços antigos) e com ligação a estas.

Os pontos de água situados em unidades aquíferas do Triásico que apresentam valores de CE próximos entre si, mas ainda assim, um pouco abaixo quando comparadas com o Furo de Lograssol (F4) que apresenta 387,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ face aos valores obtidos entre os intervalos de 100 e 270 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Por outro lado, o pH e até mesmo a temperatura, no geral, são parâmetros muito próximos entre o furo e os pontos de água medidos em campo. Esta discrepância de valores para a condutividade elétrica poderá estar relacionada com o facto de se tratar de uma água cuja a sua infiltração é mais profunda e com tempos de residência, no maciço rochoso maiores. Atravessa litologias muito variadas (arenitos, siltitos e calcários margosos), muito enriquecida em elementos dissolvidos tais como Mg^{2+} e Fe^{2+} , o que implica um crescente grau de mineralização.

Correlacionado com os furos de Cabrita e Póvoa (F2 e F3), situados em meios calcários, verifica-se que os pontos de água com maiores CE estão intimamente relacionados com unidades cársicas do Sistema Aquífero Cársico da Bairrada (O3), tornando nos pontos de água com maior influência litológica e melhores na distinção quanto à origem da sua água. A sua origem deve-se à circulação e dissolução das rochas calcárias, através da circulação superficial e subterrânea da água ou exurgência através das unidades calcárias aflorantes.

O furo F2 (Cabrita) apesar de se situar em maciço rochoso calcário apresenta valores bastante mais baixos que o furo F3 (Póvoa), muito devido às propriedades do meio cársico bastante fraturado e permeável e de se encontrar próximo de uma zona aluvionar, com antigos terraços, que recarrega diretamente para as unidades aquíferas inferiores. Outro facto é de se tratar de um furo de abastecimento público bastante produtivo, o que permite aferir que a água subterrânea que circula na zona apresenta pouco tempo de residência no maciço calcário, logo menos suscetível à mineralização.

4.5 Modelo hidrogeológico conceptual

Um modelo conceptual uma interpretação simplificada de um processo físico ou químico que ocorre num domínio ou região, neste caso de um processo hidrogeológico.

Pretende-se com o modelo conceptual a seguir expresso mostrar de forma simples a hidrodinâmica subterrânea (sentido geral do fluxo subterrâneo), assim como os processos de recarga e descarga das massas de água subterrâneas na BhRC. O modelo tem como base os dados geológicos, hidrogeológicos, geomorfológicos e topográficos regionais e locais.

Recarga aquífera

A recarga aquífera na região faz-se sobretudo a partir da precipitação atmosférica e da infiltração direta nas unidades aflorantes das diversas unidades aquíferas.

Outro processo de recarga resulta da transferência hídrica a partir de massas de água superficiais, como o escoamento superficial, lagos e charcos. A recarga das unidades aquíferas mais profunda faz-se por drenância vertical e lateral de água entre massas de aquíferas adjacentes. Os processos de recarga induzida na região ocorrem sobretudo por excedentes da irrigação agrícola.

A recarga aquífera é mais evidente nas zonas topograficamente mais altas e/ou aplanadas da BhRC. Nas zonas altas situadas a E, coincidindo com a Serra do Buçaco e a W, relacionadas com sobrelevações do Cretácico (*horsts* e *grabens*), constituídos por substratos muitos porosos. Também se observam importantes zonas de recarga aquífera em regiões, principalmente localizadas a S, onde aflora o substrato calcário e em zonas mais centrais onde se desenvolveram unidades geológicas pouco consolidadas e recentes do Cenozóico.

Com base nos elementos desenvolvidos no subcapítulo referente, à hidroclimatologia e balanço hídrico (subcapítulo 3.6), procurou-se estimar a recarga aquífera para as diversas unidades hidrogeológicas e sistemas aquíferos. A recarga aquífera estimada na região tem por base a taxa de infiltração total resultante da precipitação atmosférica na área de bacia hidrográfica de Ribeira de Canedo, anteriormente determinada e em função da setorização ou emparcelamento segundo a área plana (hm^2) de cada da unidade ou sistema aquíferos intersetados por esta bacia hidrográfica, disponíveis no portal *SNIAmb - APA* e previamente vetorizadas. Devido à dificuldade na determinação da taxa de retenção dos solos sectorizadas por área dos Sistemas aquíferos, os valores da recarga setorizada presentes na Tabela 4.18, foram determinados sem a subtração das respetivas taxas de retenção dos solos sobrejacentes.

Na Tabela 4.18, encontra-se representando a taxa de recarga aquífera estimada em hm³/ano setorizada pelos sistemas aquíferos e unidades hidrogeológicas indiferenciadas aflorantes na bacia hidrográfica de Ribeira de Canedo.

Tabela 4.18: Balanço hídrico e estimativa da recarga aquífera setorizada para os domínios da zona em estudo ocupados com os Sistemas aquíferos e áreas indiferenciadas das Unidade hidrogeológicas.

Setores de Sistemas Aquíferos e Unidades Hidrogeológicas	Área dos Sistemas e Unidades na bacia hidrográfica (hm²)	Recarga (<i>input</i>) aquífera associada à infiltração (hm³/ano)
Tentúgal (O5)	721,30	0,72
Cársico da Bairrada (O3)	1487,81	1,49
Luso (A12)	160,32	0,16
Orla Ocidental Indiferenciada (O01 RH4)	626,88	0,63
Maciço Antigo Indiferenciado (A0 x1RH4)	770,66	0,77

Da análise da Tabela 4.18, e apesar de ter como base a utilização de valores estimados, é possível verificar que o Sistema Aquífero Cársico Bairrada (O3) é o que apresenta maior taxa de recarga aquífera na BhRC, indo ao encontro das elações pessoais iniciais e previstas para esta área.

Contudo, tanto a recarga como a disponibilidade hídrica real deste Sistema aquífero são difíceis de quantificar e avaliar dado que é constituído por unidades calcárias e margosas, muito sujeitas a fenómenos carsificação e dissolução química pela água, podendo não apresentar níveis piezométricos relativamente estáveis e constantes ao longo da área. Por outro lado, como as unidades geológicas superiores deste Sistema aquífero, são muito permeáveis, as disponibilidades hídricas tornam-se de difícil quantificação. Para além da recarga aquífera resultante da infiltração direta da precipitação atmosférica na área de estudo, prevê-se que este Sistema aquífero seja também, o mais é recarregado subterraneamente a partir de outros Sistemas aquíferos e massas de água subterrâneas contíguas, dado a sua extensão e de se encontrar em zonas de topografia mais baixa.

Seguidamente, o Sistema que apresenta maior recarga e disponibilidade hídrica anual é o Sistema Aquífero de Tentúgal (O5), também indo ao encontro do que se verificou nas campanhas de campo. Apesar de este Sistema aquífero (Tentúgal - O5) apresentar valores ligeiramente menores que a Unidade Hidrogeológica do Maciço Antigo Indiferenciado (A0 x1RH4), foi considerado o segundo com maior recarga aquífera anual devido à maior porosidade e maior aptidão hidrogeológica do substrato geológico, constituído unidades hidrogeológicas porosas e do tipo areno-detrítico, com intercalações ligeiramente argilosas e algumas formações de calcários margosos, do Cretácico.

Na região de estudo, apesar da sua dimensão e dos relativamente altos *inputs* hídricos (recarga aquífera) estimados, os valores efetivos deverão ser inferiores uma vez que as Unidades Hidrogeológicas da Orla Ocidental Indiferenciada (O01 RH4) e do Maciço Antigo (A0 x1RH4), são constituídas maioritariamente por meios aquíferos e aquíclusos, logo a infiltração é reduzida em detrimento do escoamento superficial.

As unidades aquíferas das Unidades Hidrogeológicas da Orla Ocidental Indiferenciada (O01 RH4) e do Maciço Antigo (A0 x1RH4) resultam da recarga através de zonas alteradas ou fissuradas do substrato rochoso e será tendencialmente lenta.

Na área de estudo e tal como previsto o Sistema Aquífero do Luso (A12) é o que apresenta menor valor de input hídrico, devido à sua expressão em área ser muito pequena e regionalizada ao topo da Serra do Buçaco. No que toca à recarga aquífera, apresenta pouca relevância devido à sua expressão reduzida e se comporta como um sistema aquífero confinado, em que o sentido do fluxo subterrâneo principal, nesta região em estudo, se dá segundo NW-SE, divergindo para NW e SE para as regiões do Luso e Penacova, respetivamente (Almeida *et al.*, 2000).

Descarga aquífera

A descarga aquífera das unidades hidrogeológicas, na região ocorre tanto por processos naturais (por nascentes, e descarga para charcos e linhas de água) como descarga artificial (poços, furos ou captações hídricas artificiais de nascentes, minas ou charcos). Há também descarga de unidades aquíferas superiores para unidades inferiores ou laterais, devido à carga hidráulica, topografia da região, permeabilidade das unidades superficiais e subadjacentes ou fraturas e outras condicionantes tectono-geológicas (exemplo: carsificação).

Na região, a descarga induzida é feita sobretudo por captação direta em poços, implantados em aluviões ou unidades aquíferas superiores, de minas de água ou captação de nascentes para consumo humano ou recreativo e de furos que captam unidades aquíferas confinadas ou semi-confinadas dos sistemas aquíferos ou unidades hidrogeológicas indiferenciadas abrangidas nesta área de estudo.

A descarga aquífera natural é mais notória nas regiões centrais e NW da bacia hidrográfica e mais deprimidas topograficamente, associadas à zona aluvionar da Ribeira de Canedo, onde predomina substrato geológico muito poroso. Nesta zona, a descarga aquífera provém de zonas mais superiores, algumas delas, com a grande possibilidade de ter origem em unidades aquíferas freáticas suspensas. Estas áreas constituem administrativamente,

Zonas de Máxima Infiltração, indicando o local da área de estudo para onde conflui todo o fluxo hídrico subterrâneo.

Devido à grande variabilidade hidrogeológica encontrada na região apresentam-se nas seguintes Tabelas 4.19 à 4.23, as descrições mais detalhadas e setorizadas para os diferentes domínios da zona em estudo ocupados com pelos três Sistemas aquíferos e pelas duas áreas indiferenciadas das Unidade hidrogeológicas regionais.

Tabela 4.19: Processos de recarga e descarga aquíferas referentes ao Sistema Aquífero Cársico da Bairrada (O3) na zona em estudo.

Recarga Aquífera	<ul style="list-style-type: none"> - Infiltração direta nas unidades aflorantes resultante da precipitação atmosférica. - Infiltração profunda através de drenância vertical e continuidade lateral entre unidades geológicas constituintes deste sistema aquífero. - Recarga subterrânea por outros sistemas aquíferos e massas de água subterrâneas, sobrejacentes ou contíguas. (Ex: Sistema Aquífero de Tentúgal (O5), Unidades Hidrogeológicas da Orla Ocidental Indiferenciada do Vouga - O01 RH4) e as unidades freáticas suspensas do Cenozóico, que apresentam grande expressam na região onde se insere este sistema aquífero.
Descarga Aquífera	<p>Natural:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Apesar de difícil e sem escoamento superficial evidente na maioria do ano hidrológico, prevê-se que descarregue para cursos de água e nascentes em zonas de topografia menor na região de estudo. - Descarga e infiltração profunda para unidades contíguas e laterais e para unidades geológicas mais profundas, a partir de falhas e fraturas e amplificada pelos processos de carsificação intrínsecos a este tipo unidades geológicas. <p>Induzida:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Captação hídrica na maioria, através de furos de água implantados em unidades aquíferas cársicas profundas, destinados ao abastecimento público ou privado.

Tabela 4.20: Processos de recarga e descarga aquíferas afetos ao Sistema Aquífero de Tentúgal (O5) na zona em estudo.

<p>Recarga Aquífera</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Infiltração direta da precipitação atmosférica nas unidades freáticas e aflorantes (Ex: a unidade geológica C²_{Fu} – Formação de Furadouro). - Recarga subterrânea seguida de infiltração, pelos aluviões e terraços aluvionares antigos sobrejacentes e pelas unidades aquíferas freáticas sobre-adjacentes do Cenozóico. - Recarga pelas várias falhas e descontinuidades que compõem esta região (<i>horsts</i> e <i>grabens</i>). - Recarga subterrânea e infiltração profunda, por drenância de unidades superiores ou escoamento subterrâneo através falhas e descontinuidades mais profundas, favorecidas pelo gradiente hidráulico.
<p>Descarga Aquífera</p>	<p>Natural:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Descarga por drenância vertical ou condutividade lateral entre unidades aquíferas para ribeiras, cursos de água locais, nascentes e para charcos situados em zonas topográficas mais baixas. - Descarga profunda para unidades geológicas do mesmo sistema aquífero, com continuidade lateral ou em níveis inferiores. - Descarga profunda para unidades geológicas do Sistema Aquífero Cársico da Bairrada (O3) através de drenância vertical ou por falhas e outras descontinuidades profundas. <p>Induzida:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Captação por poços e charcos situados nas unidades aquíferas freáticas deste sistema aquífero ou com ligação direta a estes mesmos. - Captação por furos de água, implantados em unidades aquíferas mais profundas e confinadas.

Tabela 4.21: Processos de recarga e descarga aquíferas afetos ao Sistema Aquífero do Luso (A12) na zona em estudo.

Recarga Aquífera	<ul style="list-style-type: none"> - Infiltração direta nas unidades aflorantes, zonas de fraturas e planos de descontinuidades (Almeida <i>et al.</i>, 2000), de água proveniente da precipitação atmosférica, seguida de infiltração profunda entre os quatro sistemas aquíferos propostos por Viera da Silva <i>et al.</i>, (2000).
Descarga Aquífera	<p>Natural:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Descarga para nascentes situadas nas cabeceiras ou cumeadas dos diversos cursos de água, a Este e pertencentes à bacia hidrográfica de Ribeira de Canedo; - Descarga profunda através de fraturas, falhas e descontinuidades no maciço rochoso, situadas no flanco Oeste e que intersejam as unidades geológicas da Maciço Antigo (ZOM) e aquífero Grés de Louredo (Félix, F., 2009), ainda que com baixa representação na Bacia hidrográfica em estudo. <p>Induzida:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Furos de captação termal e produção de água mineral natural do Luso e Penacova, ainda que se localizem fora da área de estudo.

Tabela 4.22: Processos de recarga e descarga aquíferas relativos aos domínios das Unidades Hidrogeológicas da Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia Hidrográfica do Vouga (O01 RH4) localizados na zona em estudo.

Recarga Aquífera	<ul style="list-style-type: none"> - Precipitação atmosférica direta sobre as unidades detríticas e permeáveis aflorantes e constituintes do Grupo de Silves. - Recarga profunda através fraturas, falhas profundas, planos de estratificação e por drenância vertical entre níveis hidrogeológicos.
Descarga Aquífera	<p>Natural:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Para linhas de água, nascentes e zonas de altimetria mais baixas e situadas a oeste e que lhes confere um carácter perene. - Para unidades geológicas mais profundas por drenância vertical ou continuidade lateral e através de falhas e outras descontinuidades. - Condutividade lateral a oeste, por falhas ou contacto geológico com unidades hidrogeológicas contíguas do Sistema Aquífero Cársico da Bairrada (O3), favorecida pelo substancial aumento do gradiente hidráulico proveniente de Este. <p>Induzida:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Captação por poços ou charcos situados em zonas aluvionares que comunicam lateralmente com unidades aquíferas desta massa água. - Captação por furos de água instalados em unidades hidrogeológicas mais profundas.

Tabela 4.23: Processos de recarga e descarga aquíferas relativos aos domínios das Unidades Hidrogeológicas do Maciço Antigo Indiferenciado da Bacia Hidrográfica do Vouga (A0 x1RH4) na zona em estudo

Recarga Aquífera	<ul style="list-style-type: none"> - Precipitação atmosférica direta sobre as unidades, cuja a sua infiltração se dá ao longo dos planos de xistosidade, fraturas, falhas e camadas de alteração. - Recarga provável profunda partir das unidades constituintes do Aquífero do Luso (A12), por drenância ou continuidade lateral de água subterrânea, em zonas de fraturas, falhas ou planos de descontinuidades no maciço rochoso, localizados no flanco Oeste da Serra do Buçaco.
Descarga Aquífera	<p>Natural:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Descarga para as zonas de cumeadas de linhas de água e nascentes. - Passagem lateral profunda apesar de difícil e muito heterogénea, por percolação de água através dos planos de xistosidade, descontinuidades e falhas para unidades da Orla Ocidental Indiferenciada (O01 RH4), sobretudo nas regiões coincidentes com a zona de Falha Porto-Tomar. <p>Induzida:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Captação por furos implantados nesta unidade e que intersetem zonas de alteração associadas a falhas ou que estejam em discordância com as unidades do Sistema Aquífero do Luso (A12).

4.5.1 Hidrodinâmica superficial e subterrânea

O escoamento hídrico numa determinada região pode ser classificado como escoamento superficial (direto e de base) e escoamento subterrâneo, caso seja feito em profundidade e circule entre unidades aquíferas.

Na área em estudo o escoamento superficial (*surface runoff*) resulta sobretudo da precipitação atmosférica intensa e do contributo (descarga) das unidades aquíferas freáticas superiores, para a rede de drenagem. O escoamento subterrâneo é muito influenciado pela litologia e características geológico-estruturais e hidrogeológicas dessas unidades.

Escoamento superficial

O sentido geral do escoamento superficial na área estudo, dá-se maioritariamente de E-W, para zonas mais centrais e mais baixas topograficamente desta região e coincidentes com a zona da Ribeira de Canedo e seus aluviões, localizados a NW da Vila de Pampilhosa do Botão. Há também, um contributo no escoamento superficial, ainda que menor, segundo o sentido W-E ou SW-NE.

Nas zonas topograficamente mais altas desta Bacia hidrografia, no mesmo sentido E-W, o escoamento superficial é muito favorecido pela altimetria e relativa impermeabilidade

das unidades geológicas do Maciço Antigo, desenvolvendo várias linhas de água e pequenos ribeiros, sobre vales bastante declivosos e incisivos. Em alturas do ano de maior precipitação atmosférica, tendem a apresentar grande caudal e maior velocidade de escoamento.

Já nas unidades geológicas mais porosas, de carácter sedimentar, correspondentes à Orla Mesocenozóica Ocidental, e ainda segundo o mesmo sentido E-W, o escoamento superficial é mediantemente abundante e estável ao longo do ano hidrológico, com caudal mais constante e velocidades de escoamento menores, promovendo melhor a infiltração de água para unidades subadjacentes.

No sentido E-W, o escoamento superficial apresenta um carácter, maioritariamente perene ao longo do ano hidrológico, nas unidades geológicas do Maciço Antigo e as unidades geológicas sedimentares do Triásico, da Orla Mesocenozóica Ocidental.

A região intersetada pelas unidades calcárias do Jurássico (Sistema Aquífero Cársico da Bairrada-O3), o escoamento superficial é praticamente inexistente, bastante sazonal e intermitente, fazendo verificar-se somente quando existem épocas do ano hídrico de maior precipitação atmosférica, intensa e por períodos largos de tempo. Esta particularidade indica que estas unidades são bastante porosas, promovendo rapidamente a infiltração mais profunda da água resultante da precipitação atmosférica e consequentemente o fluxo subterrâneo.

No sentido W-E ou SW-NE, coincidentes com unidades geológicas do Cretácico e algumas integrantes do Sistema Aquífero de Tentúgal (O5), o escoamento superficial é perene ao longo do ano hídrico, com caudal e velocidades de escoamento, relativamente estáveis ao longo do ano. Tanto o caudal como a velocidade de escoamento superficial são baixos, bem menores em relação ao escoamento segundo E-W, havendo facilmente a formação de pequenos charcos ao longo dos cursos e linhas de água. Isto indica que nesta zona, o fluxo superficial é lento e estável, indicando que o substrato rochoso e o solo se encontram facilmente saturados em água, com o nível freático das unidades aquíferas superiores, muito próximo da superfície, indicando também um possível fluxo subterrâneo lento.

De um modo geral, o escoamento superficial conflui para as zonas mais centrais da bacia hidrográfica da ribeira de Canedo, progredindo para NW, para o rio Cértima, podendo aferir que há uma contribuição das unidades aquíferas, nos meses mais secos e quentes, diretamente para as ribeiras e linhas de água e recarga das linhas de água para as camadas aquíferas nos meses de maior precipitação

Escoamento (ou fluxo) subterrâneo

O fluxo subterrâneo tende também a seguir o sentido do fluxo hídrico superficial. No sentido E-W e sobretudo nas regiões mais altas, e nas unidades geológicas do Maciço Antigo (com exceção das unidades geológicas da Formação do Quartzito Armoricano), o escoamento subterrâneo prevê-se mais difuso e instável, ao longo do ano hidrológico, evoluindo segundo zonas de fratura e alteração destas unidades geológicas. Nestes setores, o escoamento superficial é predominante e mais estável ao longo do ano hídrico.

Seguindo para W e a partir da interseção de unidades geológicas da Orla Mesocenozóica Ocidental, o fluxo subterrâneo já se prevê mais estável tanto em regiões mais superficiais como profundas dos substratos rochosos, com evolução para Oeste e segundo os planos de estratificação e de descontinuidades.

No sentido W-E e também SW-NE, estima-se que o fluxo subterrâneo seja mais lento nas zonas mais superficiais do substrato rochoso e mais rápido à medida que a profundidade aumenta e se atinge unidades aquíferas confinadas. Segue maioritariamente o sentido do fluxo superficial, segundo a mesma direção W-E e SW-NE.

Nas regiões mais centrais desta bacia hidrográfica, onde ocorrem rochas calcárias, apesar de se estimar que contenha grandes volumes aquíferos, o escoamento subterrâneo tende a ser mais difuso e muito instável, seguindo zonas de alteração, fraturas e carsificação das unidades calcárias.

Nesta zona, há a confluência do escoamento subterrâneo, vindo de unidades aquíferas e freáticas superiores do Cenozóico e Cretácicas por drenância vertical e a Este por continuidade lateral através do contacto de unidades aquíferas do Triásico.

O escoamento subterrâneo sobretudo o mais superficial, proveniente tanto de Este como de W, segue o mesmo sentido geral evoluindo para NW, com as unidades calcárias a receberem grande parte da água subterrânea. O fluxo subterrâneo mais profundo, de uma forma geral tende a evoluir do topo para unidades geológicas em níveis mais profundos e confinados, com sentido do fluxo a dar-se para as unidades geológicas mais centrais na bacia, descarregando sobretudo para as unidades geológicas calcárias do Sistema Cársico da Bairrada (O3).

Modelo Hidrogeológico Conceptual
AB

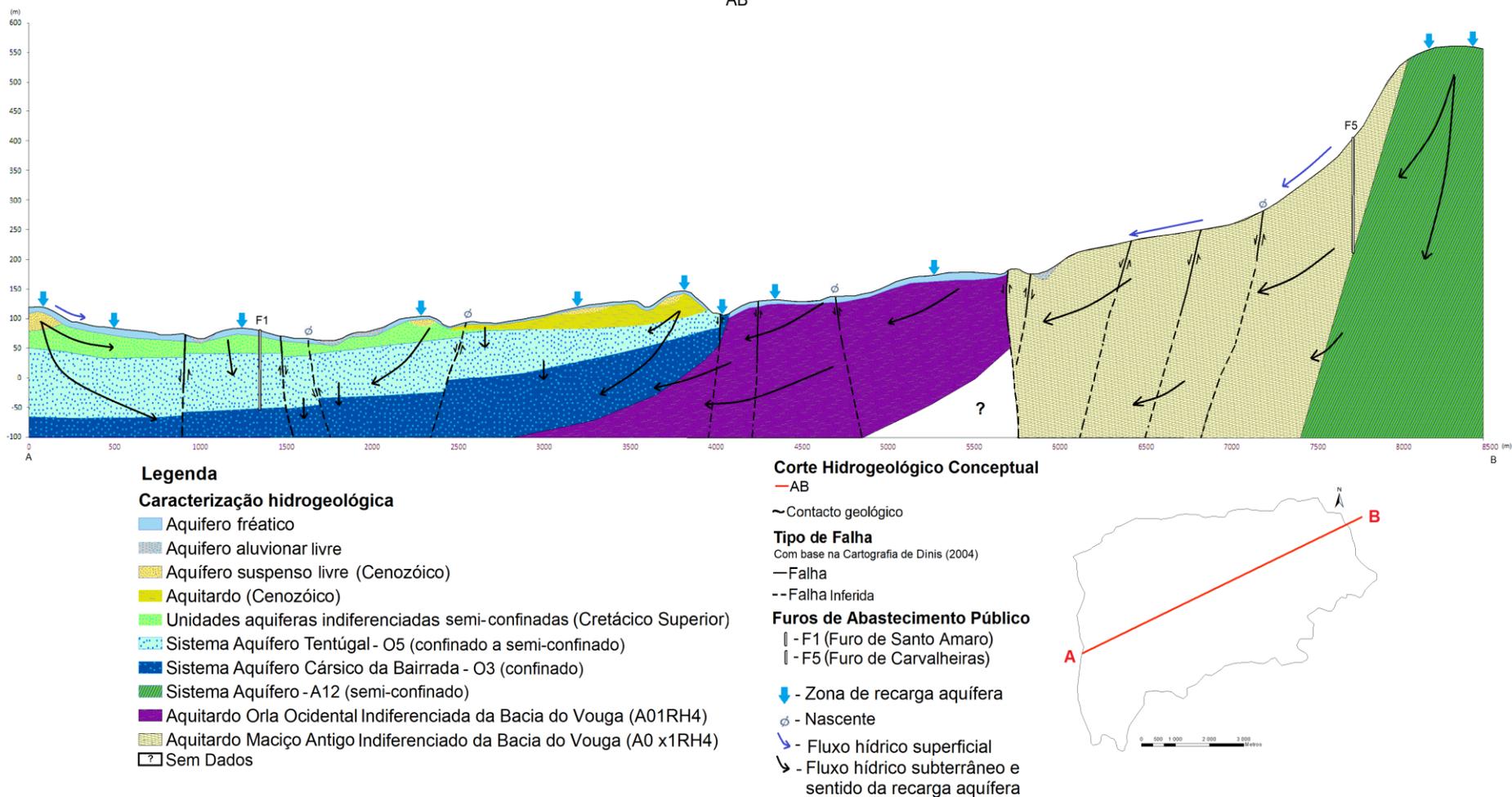


Figura 4.16: Perfil geológico-estrutural com desenvolvimento do modelo hidrogeológico conceptual para a região estudada - bacia hidrográfica de Ribeira de Canedo (modelo criado em software ArcGis® 10.2.2).

4.6 Unidades aquíferas Cenozóicas e os Recursos hídricos locais

Para além dos anteriormente referidos, três sistemas aquíferos e duas unidades hidrogeológicas bem conhecidos e produtivos a nível hidrogeológico, os depósitos de cobertura Cenozóica (Plio-quadernário), definidos na região por Dinis (2004), também poderão apresentar uma potencial aptidão hidrogeológica e um especial interesse na captação hídrica das mesmas.

Autores como Soares *et al.*, (2005) e Barbosa *et al.*, (1988), afirmam que as unidades geológicas datadas do Cenozóico, tais como as unidades aluvionares, terraços arenosos antigos e areias eólicas são as que apresentam melhor aptidão hidrogeológica, comprovadas através de estudo de diversas captações implantadas nestas unidades geológicas. No extremo oposto, os mesmos autores destacam as unidades constituintes da Formação de Buçaqueiro, com baixa aptidão hidrogeológica, pouco produtiva e de carácter sazonal, comportando-se maioritariamente como um aquífero, que se caracteriza por apresentar baixa permeabilidade e espessura. Esta unidade pode se comportar como aquífero e segundo dados de Mendonça *et al.*, (1999), as captações inseridas nesta unidade hidrogeológica apresentam um caudal médio de 0,62 L/s e caudais específicos de furos a rodar os 0,04 a 0,14 L/s.m, logo pouco produtivas e baixa aptidão hidrogeológica para captação. Dado que a ocorrência na área de estudo é baixa, o seu papel hidrogeológico é bastante localizado, sobretudo à encosta Oeste da Serra do Buçaco, permitindo a infiltração de água para unidades quartzíticas e pelíticas.

No entanto e apesar dos autores Soares *et al.*, (2005) e Barbosa *et al.*, (1988) afirmarem que algumas destas unidades apresentam um potencial aquífero geralmente baixo, algumas das unidades geológicas na região de estudo poderão apresentar um potencial interesse hidrogeológico, sobretudo as unidades de carácter arenoso e conglomeráticas que se encontram bem definidas e demarcadas na região, na sua maioria localizando-se na Pampilhosa do Botão e a Oeste desta.

Destas unidades anteriormente descritas, a nível de boa aptidão hidrogeológica, destacam-se as unidades aluvionares e terraços antigos que são as que ocorrem na área de estudo, juntamente com as unidades geológicas definidas por Dinis (2004; 2006), tais como Cascalheiras de Sangalhos (U1), Areias e Conglomerados de Carqueijo (U2A), Argilas e Conglomerados de Anadia (U2B), e Areias de Mala (U3), que de acordo com a sua espessura, grau de consolidação e maturidade estrutural poderão apresentar um potencial interesse hidrogeológico.

Estas unidades apresentam uma expressão geográfica razoável, constituindo uma área total plana de 7,42 km², que representa cerca de 19,7% da área total plana da bacia

hidrográfica em estudo. Juntamente com as unidades aluvionares e terraços antigos, que ao que tudo indica, aparentam ter uma grande influência hidrodinâmica entre si e na hidrogeologia geral da região, a sua expressão aumenta praticamente para o dobro com 14,12 km² de área total plana e sensivelmente 37,5% da área total plana do domínio em estudo.

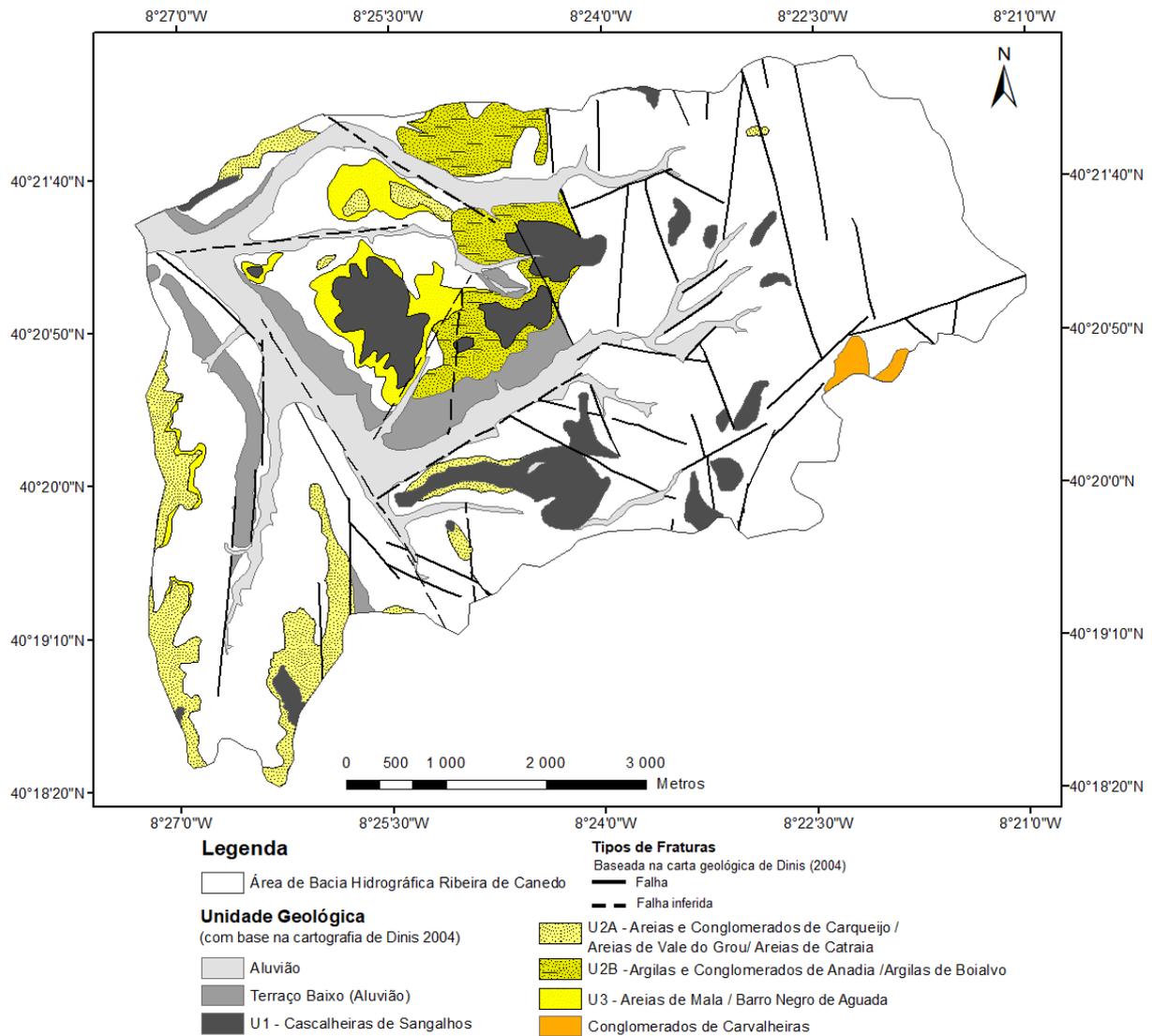


Figura 4.17: Mapa geológico da distribuição das unidades geológicas de cobertura cenozóica (mapa criado em software ArcGis® 10.2.2 com base na cartografia de Dinis, 2004).

Sobretudo na região abrangida pela Vila de Pampilhosa do Botão, onde se concentram mais, estas unidades geológicas recentes, poderão ter um papel importante na hidrogeologia local, podendo funcionar como unidades aquíferas suspensas, livres ou semi-confinadas, e recarregando as unidades hidrogeológicas subjacentes.

Do trabalho de campo, foi verificado que existem massas de água em zonas altas, indicando uma grande probabilidade de estas concentrarem água e drenarem para unidades geológicas subjacentes, podendo funcionar como unidades aquíferas suspensas. Por outro

lado, em zonas deprimidas no terreno, onde estas unidades ocorrem, há facilmente a formação de charcos com alguma expressão.

Destas elações obtidas com base na cartografia de Dinis (2004), do trabalho de campo e da interpretação hidrogeoquímica, estas unidades poderão constituir uma zona hidrogeológica muito localizada, onde se verificou níveis freáticos relativamente mais altos quando comparadas com zonas progressivamente mais longe destas unidades geológicas.

Há a hipótese de estas unidades geológicas constituírem zonas armazenamento temporário de água e proporcionarem zonas de recarga aquífera por excelência de unidades aquíferas inferiores, mais profundas e de idades geológicas mais antigas.

Estas litologias poderão concentrar alguma água devido a níveis inferiores mais argilosos, funcionando como unidades aquíferas suspensas, proporcionando a drenagem para linhas de água ou concentração desta em níveis superiores, em relação ao nível freático geral da região. Tal facto poderá ser justificado pela maioria dos níveis piezométricos medidos em redor destas unidades, se encontrarem substancialmente mais baixos, durante a análise de campo, podendo indicar uma velocidade de infiltração e circulação vertical menor para profundidades próximas do nível freático da região (unidades geralmente do Cretácico).

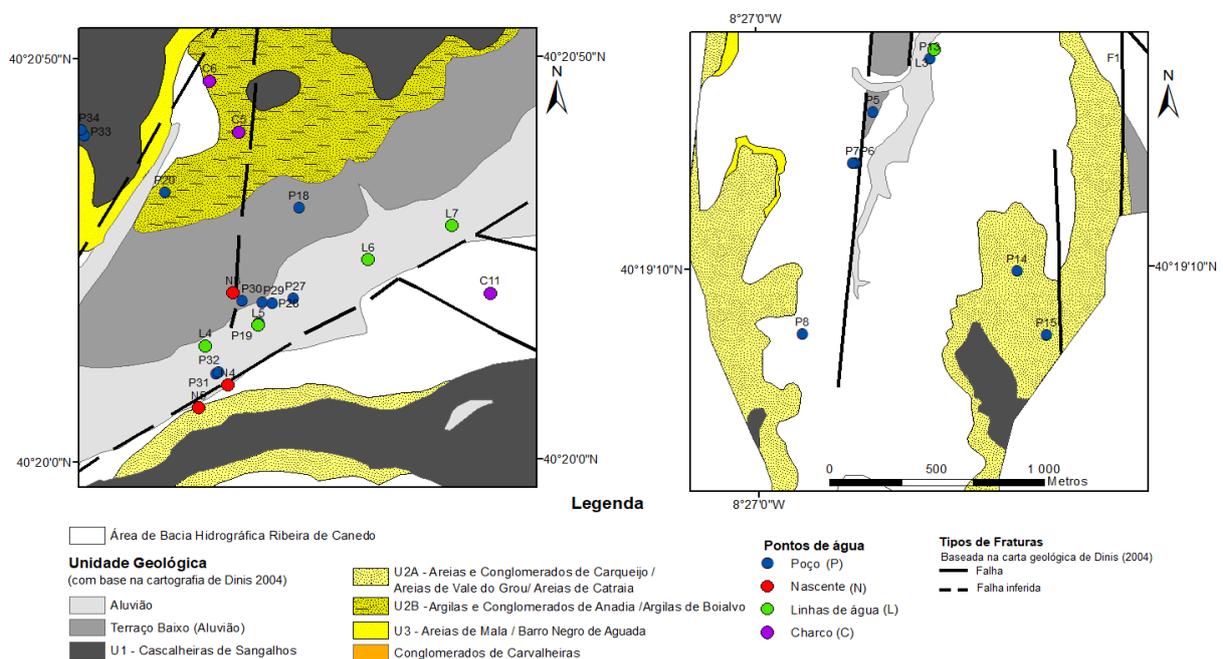


Figura 4.18: Imagens de pormenor das regiões onde poderá haver maior contributo hídrico das unidades geológicas Plio-quadernárias (Cenozóico) e os respetivos pontos de água onde se observaram diferenças hidrodinâmicas (mapa criado em *software* ArcGis® 10.2.2 com base na cartografia de Dinis (2004).

Outra prova é o facto de se concentrarem charcos ao longo de uma zona relativamente pequena e alta, situada sobre unidades de Argilas e Conglomerados de Anadia (U2B), próximo da nascente N3 (Figura 4.18). Esta nascente está localizada numa zona de falha geológica provável indicada em Dinis (2004) que intersesta esta unidade geológica, estando

também situada a uma altimetria mais baixa em cerca de 5 a 10 metros da altimetria dos charcos. O pH do charco C6 e da nascente N3, são relativamente semelhantes, podendo indicar que a água provém das mesmas unidades hidrogeológicas, associado à precipitação atmosférica e com tempos de residências baixos.

Comprova-se também que a Sul desta nascente N3, existe uma zona agrícola implantada nos aluviões e terraços da Ribeira de Canedo, com captação hídrica subterrânea através de poços. Verifica-se nos poços situados imediatamente a Sul desta nascente (P30 e P19) apresentam níveis freáticos relativamente mais altos que os localizados mais a montante do mesmo aluvião, destacando o poço P30 onde o nível freático mal variou entre campanhas. Os poços P27, P28 e P29, localizados a montante desta região já apresentam níveis freáticos próximos entre si e ajustados com o nível da água da Ribeira de Canedo.

Nas regiões situadas a Oeste desta bacia hidrográfica, as unidades Areias e Conglomerados de Carqueijo (U2A) e Areias de Mala (U3), também se encontram bem desenvolvidas e por vezes associadas a aluviões, constituindo massas aquíferas freáticas ou por vezes semi-confinadas. Neste setor e aliada à intensa atividade tectónica, os níveis freáticos medidos, situados nestas unidades ou próximos de zonas de contacto destas unidades, tendem a ser estáveis, com poucas variações e próximos da superfície, tal como se verificou no poço P8, indicando um possível armazenamento de água nestas unidades e a recarga de unidades subjacentes, aumentando a disponibilidade aquífera na região.

Por vezes também se verificou nas mesmas unidades, algumas variações maiores do nível piezométrico entre campanhas, nomeadamente nos poços P14 e P15, revelando que se tratam de unidades hidrogeologicamente pouco consolidadas, com os níveis inferiores muito permeáveis, impedindo grande armazenamento de água e indicando a recarga das unidades adjacentes.

Outro fator que prova a drenância vertical destas camadas é o facto de onde estas afloram, particularmente na região do Sistema Aquífero Cársico da Bairrada - O3 onde estão sobrejacentes às unidades deste sistema aquífero, as linhas de água intermitentes ou completamente secas tendem a apresentar algum caudal localizado após tempo de alguma precipitação atmosférica ou concentrarem água estagnada por uma boa parte do ano hídrico.

Por outras palavras, ao longo do percurso das linhas de água, originadas em zonas mais altas a Este, até à sua foz na Ribeira de Canedo, passam por diversas litologias, que ao longo deste estudo aparentam ter água com caudal relativamente estável ao longo do ano hidrológico. No entanto quando passam em meios litológicos cársicos, constituintes do sistema do Cársico da Bairrada (O3), estas tendem a ficar intermitentes, com a água à superfície desaparecer e infiltrando para níveis mais profundos.

Nas zonas das unidades Cenozóicas sobrejacentes às unidades cársicas, por vezes verificou-se água nas linhas de água, o que indicam alguma acumulação de água. Poderão estar associadas a estas unidades geológicas abordadas neste subcapítulo como também aluviões com uma base mais argilosa que impede alguma infiltração, drenando para as linhas de água mais próximas.

Posteriormente mais a jusante da Ribeira de Canedo, estas linhas de água voltam a levar água de forma relativamente estável. Nestas regiões, a justificação prende-se com o facto de não só ocorrer maior volume de Unidades Cenozóicas suspensas e permeáveis, como também o substrato geológico já ser mais arenoso e permeável, de origem Cretácica e uma parte pertencente ao Sistema Aquífero de Tentúgal (O5). Juntamente a estes fatores, esta região foi fortemente afetada pela tectónica, o que levou à formação de *horsts* e *grabens*, condicionando o fluxo superficial e subterrâneo da água.

Tabela 4.24 Processos de recarga e descargas aquíferas referentes às Unidades aquíferas freáticas associadas aos depósitos e formações Cenozóicas na área de estudo.

<p>Recarga Aquífera</p>	<ul style="list-style-type: none"> - A recarga faz-se na sua maioria, pela precipitação atmosférica direta sobre as secções aflorantes, dado que se tratam de unidades recentes e situadas à superfície e em níveis topograficamente superiores. - Recarga das unidades hidrogeológicas estratigraficamente, em níveis inferiores por drenância vertical ou condutividade lateral entre unidades sobrejacentes, por vezes com maturidade estrutural e grau de consolidação insuficiente para armazenar água.
<p>Descarga Aquífera</p>	<p>Natural:</p> <ul style="list-style-type: none"> - A descarga natural destas unidades sedimentares tendem a efetuar-se para zonas de linhas e charcos de água mais próximos, possivelmente para algumas exurgências. - Descarga para unidades geológicas inferiores por drenância ou escoamento subterrâneo direto para unidades geológicas subjacentes (Ex: Areias e Conglomerados de Carqueijo (U2A) e Areias de Mala (U3) e unidades geológicas mesozóicas, integrantes de unidades hidrogeológicas indiferenciadas ou sistemas aquíferos diferenciados). <p>Induzida:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Captação da água em poços implantados nestas unidades ou ainda que indireta, em unidades geológicas com ligação hidrodinâmica a estas unidades. - Captação de cursos de água, charcos e nascentes associados a estas unidades geológicas.

De um modo geral estas unidades geológicas recentes e relativamente pouco consolidadas, aparentam funcionar como unidades aquíferas suspensas intercaladas por níveis argilosos, funcionando como níveis aquíferos ou aquíclusos. Estas aliadas às massas aquíferas aluvionares, influenciam de forma positiva hidrodinâmica superficial e subterrânea e a recarga aquífera profunda da região.

As unidades sedimentares do Cenozóico que mais poderão beneficiar de processos de recarga indireta ou drenância entre unidades geológicas, uma vez que a área em afloramento é tendencialmente menor são Areias e Conglomerados de Carqueijo (U2A), Argilas e Conglomerados de Anadia (U2B) e Areias de Mala (U3).

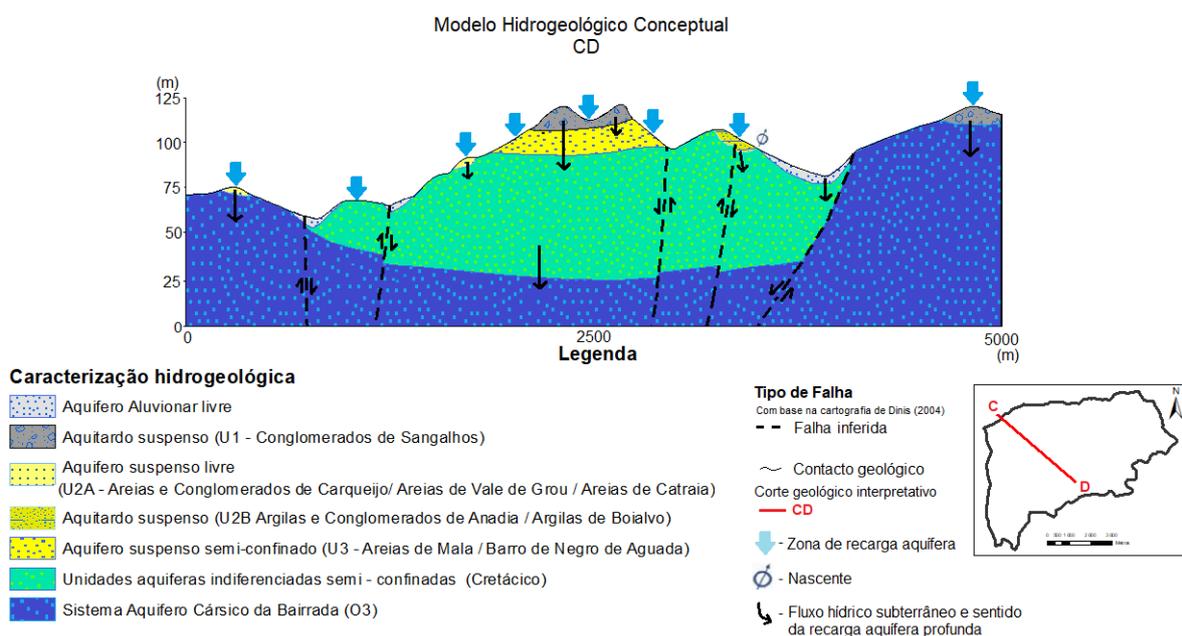


Figura 4.19: Modelo hidrogeológico conceptual demonstrativo da hidrodinâmica das unidades aquíferas Plio-quadernárias (Cenozóico) que ocorrem na região da Vila de Pampilhosa do Botão. Modelo criado em *software* ArcGis® 10.2.2.

4.7 Proposta de redefinição de limites do Sistema Aquífero de Tentúgal

A cartografia geológica existente para a área de estudo realizada por Dinis (2004), os reconhecimentos de campo, os elementos da piezometria geral da região e a análise dos cortes geológicos e hidrogeológicos, apontam e suportam a possibilidade de haver continuidade lateral para NE (envolventes da Vila de Pampilhosa, Figura 4.20), das unidades aquíferas do Sistema Aquífero de Tentúgal (O5) ou da presença de formações sedimentares com características hidrogeológicas semelhantes.

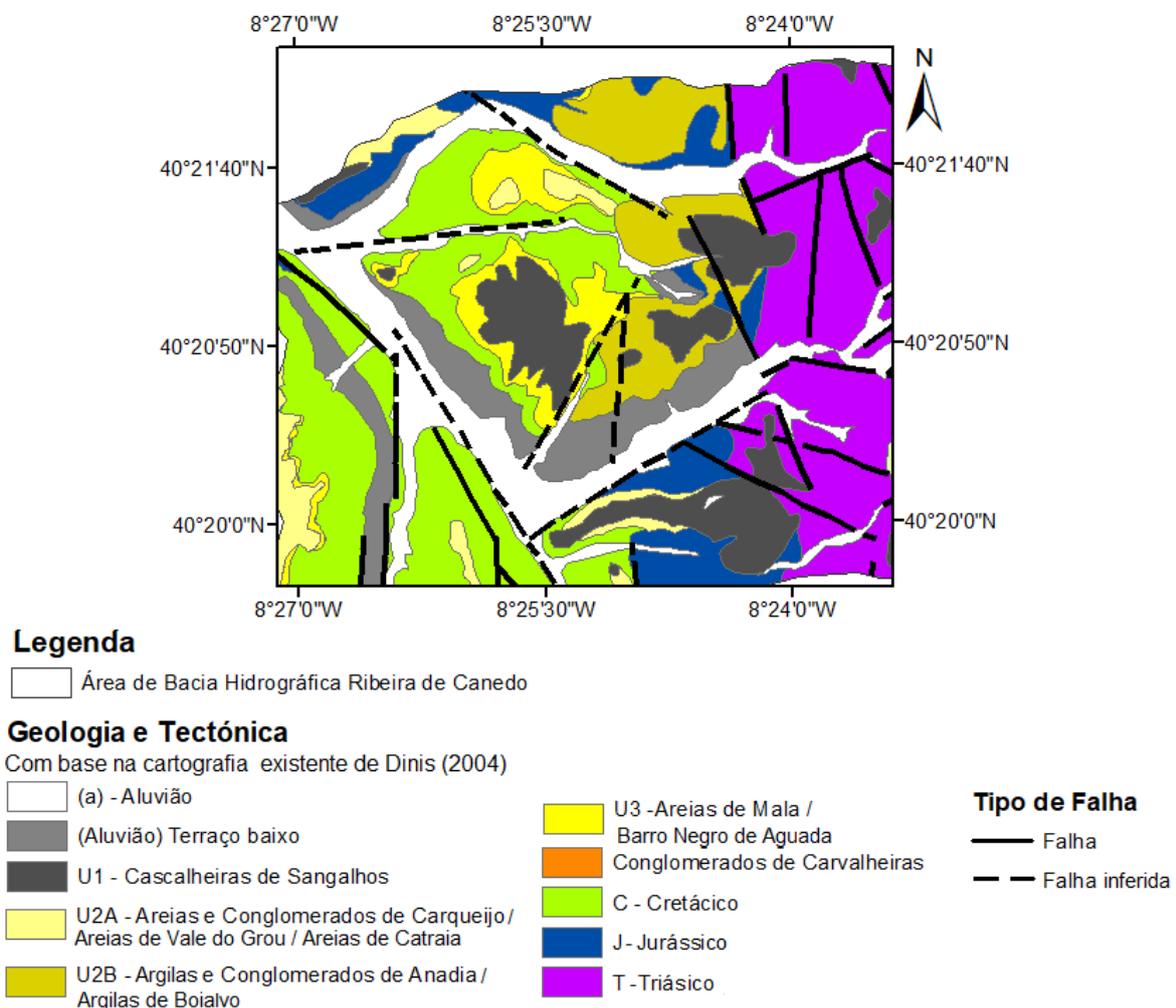


Figura 4.20: Carta geológica da área de estudo nas envolventes da vila de Pampilhosa do Botão (criado em *software* ArcGis® 10.2.2).

As indicações geológicas apontam para que nas envolventes da Vila de Pampilhosa do Botão, ocorram formações geológicas do Cretácico Superior e possivelmente, também do Cretácico Inferior em níveis mais profundos, o que suporta a hipótese de extensão para NE de unidades aquíferas do Sistema Aquífero de Tentúgal ou a presença de formações sedimentares com características hidrogeológicas semelhantes.

Apesar de não ser possível observar em afloramentos e sem elementos concretos de furos/ sondagens, existe contudo, a possibilidade de ocorrerem rochas cretácicas com boas aptidões hidrogeológicas muito similares às constituintes base do Sistema Aquífero de Tentúgal (O5), sobre as Formações geológicas do Sistema Aquífero Cárstico da Bairrada (O3). Ou seja, possivelmente o Sistema aquífero de Tentúgal (O5) prolongar-se-á para NE.

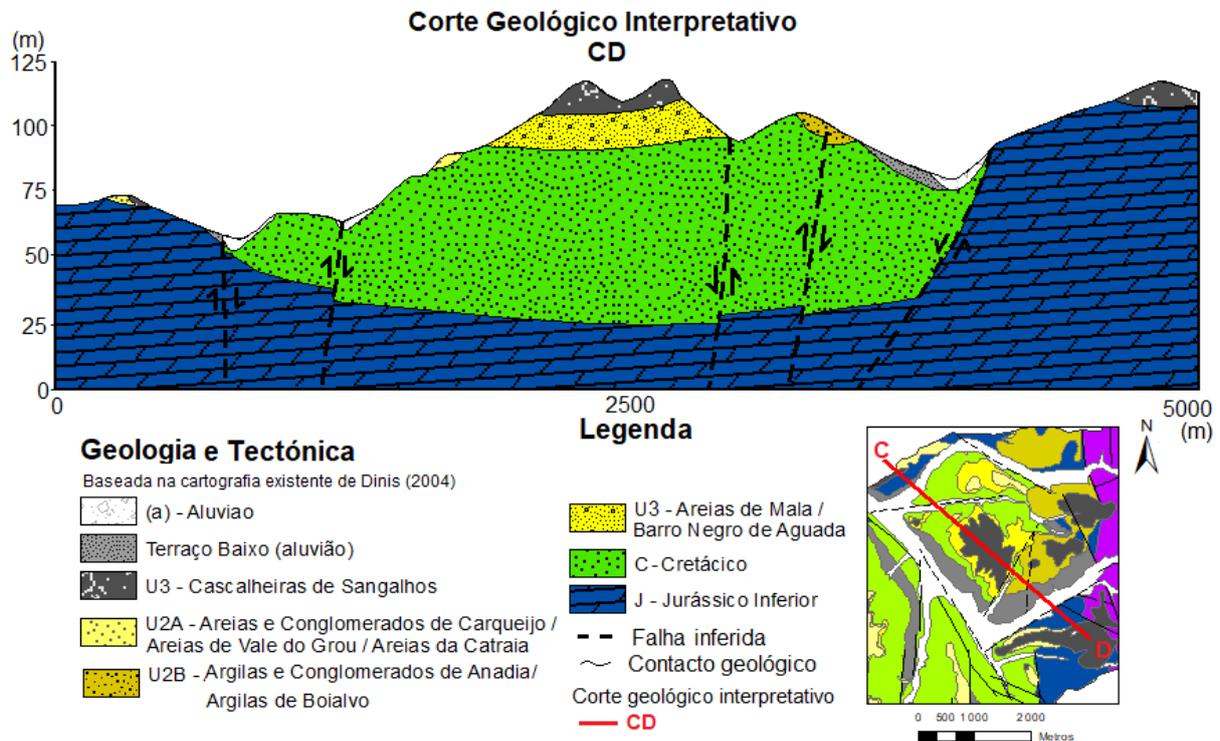


Figura 4.21: Corte geológico interpretativo CD, da região da vila de Pampilhosa do Botão. Criado em software ArcGis® 10.2.2.

Contudo e com base na interpretação do corte geológico (Figura 4.21), prevê-se que sejam unidades pouco espessas face a outros setores localizados mais a W da bacia hidrográfica de Ribeira de Canedo. Esta zona resultou de uma aparente subsidência do substrato rochoso, seguido de acarreio sedimentar ao longo do Cretácico, constituindo uma zona de *graben*, estando este limitado por possíveis falhas, podendo também, estar associadas ao desenvolvimento tectónico da depressão do Cértima.

Devido à pouca espessura, podem não existir as três unidades integrantes básicas do Sistema Aquífero de Tentúgal (O5), mas ainda assim, com possível aptidão hidrogeológica, para se caracterizarem como massas aquíferas confinadas ou semi-confinadas. No entanto, estas unidades podem constituírem elementos base na recarga aquífera de unidades inferiores cársticas e na variabilidade positiva da disponibilidade hídrica da região.

Nesta área também foram analisados alguns pontos de água, alguns associados a aluviões outros associados a litologias mais profundas e possivelmente cretácicas, com semelhanças físico-químicas a unidades geológicas constituintes do Sistema Aquífero de

Tentúgal (O5). A piezometria do nível freático deste setor, é geralmente mais baixa do que a zona mais a oeste, onde ocorrem formações deste sistema aquífero, mas relativamente mais estáveis que a piezometria coincidente com áreas onde afloram unidades do sistema aquífero Cársico da Bairrada (O3).

Outra justificação é de que esta região conter água ao longo de todo o ano hídrico, e drenar para os cursos de água, o que tal já não se verifica em meio cársico que suporta o Sistema Aquífero Cársico da Bairrada (O3), onde só existe água superficial em zonas bastante deprimidas ou cobertas por unidades sedimentares do Cenozóico, em áreas onde intersesta o nível freático das unidades aflorantes ou apenas quando há imensa precipitação atmosférica num curto período de tempo, favorecendo o escoamento superficial.

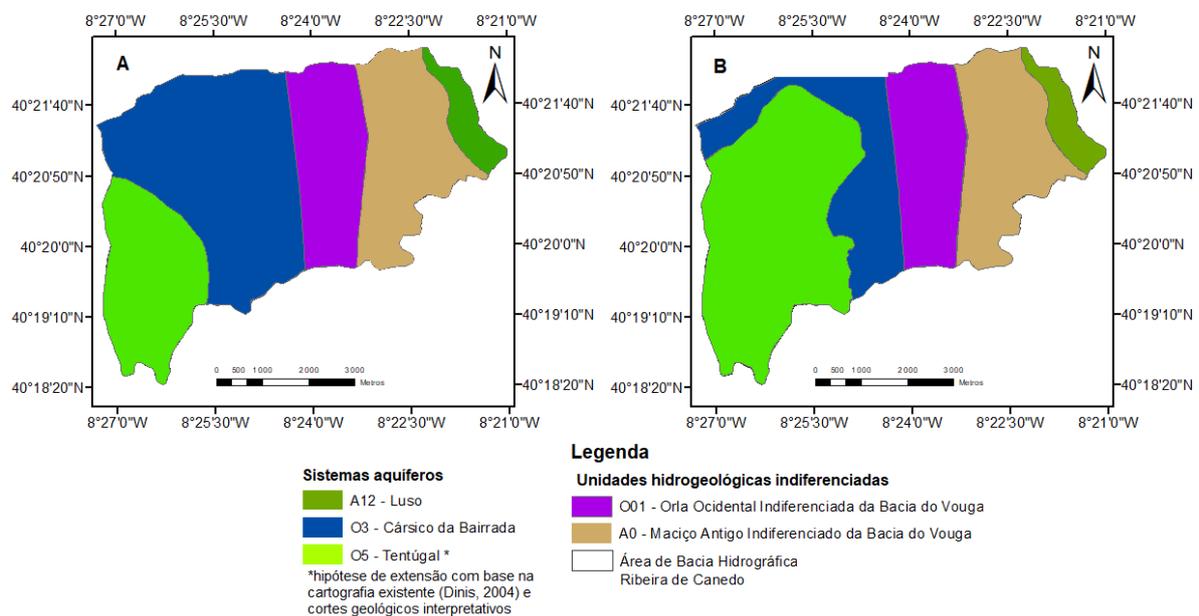


Figura 4.22: Sistemas aquíferos e setores indiferenciados das Unidades hidrogeológicas presentes na área de estudo: A- limites atuais; B- limites redesenhados e propostos (hipótese de continuidade lateral para NE das unidades aquíferas do Sistema Aquífero de Tentúgal - O5). Criado em *software* ArcGis® 10.2.2.

Se tal se comprovar com trabalhos e resultados futuros há a hipótese de estender o domínio do Sistema Aquífero de Tentúgal (O5) para NE e coincidente com a região da Vila da Pampilhosa do Botão ou identificar massas de água aquíferas com grande importância hidrogeológica.

5. Conclusões e Recomendações

5.1 Conclusões

A área alvo de estudo corresponde à bacia hidrográfica da Ribeira de Canedo (BhRC). Este domínio insere-se na depressão do Vale do Cértima, e pertence à vasta Bacia Hidrográfica do Rio Vouga. Apresenta uma área plana de 38 km².

A variabilidade geológica da região é acentuada, apresentando rochas do Maciço Antigo e da Orla Mesocenozóica Ocidental (Bacia Lusitânica). A maior percentagem da área é coberta por rochas sedimentares da Orla Mesocenozóica Ocidental, estando as rochas do Maciço Antigo confinadas à zona mais oriental da BhRC, correspondendo à área de cumeadas onde têm início a maior parte da ribeiras e linhas de água desta bacia hidrográfica.

A nível tectónico há um forte controlo estrutural, local e regional, incluindo três direções: N-S, traduzindo a orientação tectónica preferencial, e direções conjugadas NNE-SSW a ENE-WSW e NNW-SSE a NW-SE. A topografia muito irregular e a presença de relevos montanhosos evidenciam esse facto. No setor mais a E, a topografia é bastante acidentada e declivosa, com altimetria muito pronunciada e com o registo mais alto da bacia. Nos setores W e centrais, desenvolveram-se pequenos *horsts* e *grabens* devido à intensa ação tectónica ocorrida na passagem do Mesozóico e Cenozóico.

Do ponto de vista hidrogeológico esta região inclui domínios de três sistemas aquíferos: Cársico da Bairrada (O3), Tentúgal (O5) e Luso (A12) e de duas Unidades hidrogeológicas indiferenciadas: Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia do Vouga (O01 RH4) e do Maciço Antigo Indiferenciado da Bacia do Vouga (A0 x1RH4). Para além das unidades aquíferas pertencentes aos Sistemas aquíferos referidos, ocorrem unidades aquíferas freáticas e por vezes suspensas, de escala local, associadas aos depósitos cenozóicos (destacam-se os depósitos aluvionares) e aos níveis mais grosseiros das formações triásicas. Estas aquíferos freáticos desempenham um importante papel na estabilidade da hidrodinâmica superficial, com drenagem direta ou indireta para cursos de água e charcos.

Ainda a nível dos recursos e das disponibilidades hídricas, particularmente as subterrâneas, verifica-se que os maiores volumes e de mais fácil acesso estão presentes nos setores W e centrais da área estuda, nomeadamente nos aquíferos implantados em formações cretácicas do Sistema Aquífero de Tentúgal (O5) e parte do Sistema Aquífero Cársico da Bairrada (O3).

As unidades aquíferas do Sistema Aquífero de Tentúgal (O5), contêm grandes volumes de água e desempenham um papel muito importante na alimentação do escoamento superficial, assim como na recarga profunda do Sistema Aquífero subjacente - Cársico da

Bairrada (O3). O fluxo subterrâneo geral e mais profundo na BhRC evolui para NW, recarregando as unidades do Sistema Aquífero Cársico da Bairrada (O3).

A um nível menos profundo, nomeadamente ao nível das unidades aquíferas freáticas e suspensas, verifica-se que existe transferência hídrica entre as várias unidades, com o fluxo subterrâneo a seguir o sentido geral do escoamento superficial desta bacia hidrográfica.

A piezometria das unidades aquíferas freáticas da região revelou estabilidade e previsibilidade ao longo do ano hidrológico, expressando variações que oscilaram entre os 0,2 m e os 2,66 m, com piezometria média a rondar 0,82m para toda a área de bacia hidrográfica. As maiores oscilações ocorreram em zonas de substrato calcário. A profundidade média da água nas unidades freáticas situou-se entre 0,5 m mínimos e os 2,6 m médios, abaixo do nível do solo, com o nível piezométrico da região do domínio da Orla Ocidental a variar entre os 53 m e os 150 m, sensivelmente.

Os níveis piezométricos mais estáveis, com menores rebaixamentos e mais próximos da superfície localizam-se em áreas topograficamente deprimidas de aluviões, ou com unidades geológicas aflorantes ou ainda delimitados por zona de falhas. Estes situam-se na sua maioria na região W desta bacia hidrográfica, coincidentes com zonas onde ocorrem unidades geológicas arenosas permeáveis a mediamente permeáveis do Cretácico. A maior parte delas pertence ao Sistema Aquífero de Tentúgal (O5). Também se situam, ainda que com menor expressão, nos setores central e NW da BHRC, geralmente mais deprimidos e também abrangidos pelas Áreas de Máxima Infiltração, definidas no Plano Diretor Municipal de Mealhada. Na região aluvionar inserida nos domínios da Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia Hidrográfica do Vouga (O01 RH4), os níveis piezométricos também se verificam bastante estáveis e com rebaixamentos mínimos, indicado uma provável infiltração e fluxo subterrâneo lento, com tempos de residência no maciço rochoso provavelmente altos.

As regiões onde houve maiores oscilações dos níveis piezométricos encontram-se nos setores Centrais e W desta bacia hidrográfica, coincidentes com as unidades geológicas pertencentes ao Sistema aquífero Cársico da Bairrada (O3) e em zonas abrangidas pelas unidades aquíferas freáticas (formações do Cenozóico) assentes sobre unidades geológicas daquele Sistema aquífero cársico. Estas por sua vez, caracterizam-se por serem pouco consolidadas e com a probabilidade de apresentarem litologias mais permeáveis na sua base, facilitando a drenância vertical. Também se verificou maior variação da piezometria em regiões próximas do contacto com as unidades aquíferas do Sistema Aquífero Cársico da Bairrada (O3) com os domínios da Orla Ocidental Indiferenciada da bacia do Vouga (O01 RH4).

Verifica-se que as unidades aquíferas freáticas e suspensas recentes (aluviões e outros depósitos Plio-quadernários) têm um importante papel na hidrogeologia da região em estudo. Boa parte delas alimentam os cursos de água e recarregam unidades aquíferas dos Sistemas aquíferos, sobretudo na região central desta bacia hidrográfica.

Das análises físico-químicas *in situ* efetuadas na campanha de campo, assim como os dados de análises de água captada em furos, apontam para a ocorrência de quatro possíveis origens ou tipos de circulação da água subterrânea local: (1) relação muito próxima com a água proveniente da precipitação atmosférica; (2) tempo de residência da água no maciço rochoso; (3) interação física e química com substrato rochoso e unidades de sistemas aquíferos (crescente grau de mineralização da água) e (4) suscetibilidade à alteração antrópica.

Duas destas origens apresentam relação muito próxima com a água da precipitação atmosférica, mas com tempos de residência e mineralização ligeiramente diferentes. Nas regiões coincidentes com substrato cársico, as condutividades elétricas registadas foram sempre mais altas, indicando maior grau de mineralização, o que corresponde a uma maior interação e/ou dissolução das unidades geológicas por onde circula a água e tempos de residência tendencialmente maiores.

Desta análise verifica-se que água das unidades aquíferas freáticas e suspensas, embora não recomendadas para consumo humano, não indicam contaminação significativa na região. Também se verificou que nalguns setores, associadas a atividade agrícola ou industrial mais intensas, o aumento da condutividade elétrica da água, pode indicar alguma contaminação.

Os estudos geológico-estruturais e hidrogeológicos desenvolvidos permitiram: (1) incrementar o conhecimento da hidrodinâmica e das massas de água locais; (2) avançar com hipótese de ocorrer um prolongamento das unidades produtivas do Sistema aquífero de Tentúgal (O5); (3) formular um conjunto de medidas e procedimentos para a melhor gestão e uso dos recursos hídricos na BhRC.

5.2 Recomendações

Tanto as massas de água superficiais como as subterrâneas carecem de uma correta gestão e de cuidados necessários para garantir as suas quantidade, qualidade, estabilidade, sustentabilidade e usos. Na BhRC destacam-se claramente as massas água de origem subterrânea, que constituem o maior recurso hídrico natural da região de estudo e são a maior fonte de alimentação das massas e linhas de água superficiais. Simultaneamente são as massas de água mais difíceis de recuperar aquando de contaminação antropogénica. Baseado no conjunto de elementos recolhidos, desenvolvidos e produzidos no presente estudo, nomeadamente os de natureza geológica e hidrogeológica, é possível identificar os fatores e agentes de risco das massas de água locais e regionais, assim como propor algumas recomendações para a sua boa gestão e uso.

Os principais fatores e agentes que poderão colocar em risco a sustentabilidade e a hidrodinâmica das massas de água tanto superficiais, como subterrâneas na BhRC são:

Naturais:

- a) Alterações climáticas que levem à maior ou menor sazonalidade e intensidade da precipitação atmosférica, condicionando a recarga aquífera (volumes e distribuição espacial);
- b) Maior suscetibilidade a períodos de seca moderada ou extrema, cada vez mais provável na região e por maiores períodos de tempo, tal como se verifica neste presente ano de estudo;
- c) Incêndios florestais, conduzindo ao aumento da erosão dos solos, conseqüente aumento do escoamento superficial e crescente grau de impermeabilização devido à falta de manto vegetal e acumulação de detritos. Implica uma taxa menor de infiltração, da respetiva recarga aquífera e o gera ao condicionamento da qualidade e quantidade da água infiltrada.

Antropogénicos:

- a) Uso de intensivo de químicos como pesticidas, fertilizantes e herbicidas nas atividades agrícolas;
- b) Atividades agropecuárias e industriais sem controlo de resíduos ou com descargas acidentais.
- c) Rede de saneamento básico com deficiências ou disponível para toda a população e a construção ou existência de fossas sépticas sem grau de impermeabilização devida.

- d) Captações não controladas e sobre-exploração de águas subterrâneas (furos e poços), levando a rebaixamentos irreversíveis nas unidades aquíferas, contaminação ou mistura de águas.
- e) Contaminação das massas de água aquíferas partir da infiltração seguida de infiltração profunda de efluentes líquidos e outros líquidos (águas pluviais), prejudiciais e solúveis na água.

Com a intenção de prevenir e garantir que as massas de água e os recursos hídricos mantenham estabilidade a nível quantitativo e qualitativo, recomendam-se as seguintes ações:

- a) Incentivar a população para o uso sustentável e racional dos recursos hídricos e evitar a sobre-exploração das massas de água naturais, particularmente as subterrâneas (através de furos, poços, nascentes e charcos);
- b) Sensibilizar e promover o uso controlado de produtos químicos associados à atividade agrícola (pesticidas, herbicidas e fertilizantes);
- c) Limitar atividades que recorram ao uso de químicos e fertilizantes em áreas coincidentes com zonas de recarga aquífera, zonas agrícolas e zonas coincidentes com Áreas de Máxima Infiltração, promovendo a economia biológica e sustentável;
- d) Incentivar e promover a agricultura biológica, sustentável e o uso racional da água;
- e) Controlar possíveis descargas de efluentes para as linhas de água e impermeabilização de fossas sépticas, se existirem;
- f) Se possível, limitar certas de zonas de recarga mais vulneráveis com construção de perímetros de proteção ou zonas de atividades e lazer.

5.3 Captação de águas subterrâneas

De acordo com o conjunto atual de captações de águas subterrâneas reconhecido na BhRC – inclui furos, poços, “minas de água” e nascentes” - recomenda-se: (1) a preservação, monitorização, controlo e proteção das captações atualmente ativas, particulares ou públicas; (2) o encerramento controlado das captações não-ativas e (3) a implantação de novas captações, sempre que necessário, com base em estudos hidrogeológicos prévios.

Relativamente à terceira recomendação (implantação de novas captações), defende-se a construção de captações tradicionais, nomeadamente furos (verticais e/ou horizontais), poços (tradicionais ou com drenos horizontais) e também “minas de água”, nomeadamente nos seguintes setores da BhRC:

- a) Em zonas de aluviões e leitos de rios, com recurso a poços e mini-hídricas;
- b) No setor W da BhRC coincidente com a unidades aquíferas do Sistema Aquífero de Tentúgal (O5), uma vez que se prevê a ocorrência de grandes volumes de água nestas unidades;
- c) Na região central situada sobre o Sistema Cársico da Bairrada (O3), uma vez que corresponde ao maior recetor hídrico profundo da bacia hidrográfica;
- d) Nas regiões mais orientais da área de estudo, em unidades aquíferas pertencentes à Unidade Hidrogeológica da Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia Hidrográfica do rio Vouga (O01 RH4). Contudo, é recomendável, a implementação de alguns cuidados e condicionantes para garantir a qualidade e evitar sobre-exploração hídrica.

O setor da BhRC pertencente à Unidade Hidrogeológica da Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia Hidrográfica do rio Vouga (O01 RH4), possui aquíferos do tipo poroso e multicamada, compostos por alternâncias de unidades arenosas-conglomeráticas permeáveis com níveis impermeáveis calcário-margosos e por vezes muito argilosos, que aparentam apresentar bons volumes de água. No entanto, a transmissão de água entre estas unidades prevê-se baixa e com velocidades de circulação subterrânea baixas. Como tal, apesar de serem aquíferos relativamente produtivos, requer cuidados aquando da implantação de furos para captação de água, para não criar impactos negativos e para que as captações hídricas subterrâneas através de furos sejam viáveis. A nível superficial e para além das captações já existentes recomenda-se captação de água em zonas de aluviões e leitos de rios, com a recurso a poços e pequenas represas ou com recurso a charcos. Ressalva-se o mesmo cuidado com as captações com recurso a poços, que apesar de aflorar em água, estima-se que a sua circulação no meio hidrogeológico seja lenta.

É menos recomendável a implantação de estruturas de captação subterrânea de grandes volumes no setor E da BhRC, localizada em substrato do Maciço Antigo. Recomenda-se a captação de água subterrânea, mediante estudos geológicos prévios, em zonas de fratura das rochas xistentas (falhas e descontinuidades profundas) que possam interseccionar falhas profundas ou descontinuidades laterais com as unidades geológicas da Formação do Quartzito Armoricano, que constitui um bom sistema aquífero por excelência. A captação de água nestas circunstâncias, é recomendável recorrer a furos de água verticais ou até mesmo furos sub-horizontais, de forma a substituir as tradicionais minas de água, levando à maior produtividade da captação e facilidade em captar água em zonas de alteração ou fracturação do maciço rochoso.

Nesta região menos favorável à implantação de captações ditas mais convencionais (poços, furos verticais e minas de água), recomenda-se a captação superficial e sustentada em linhas de água que se verificam constantes na maioria do ano hídrico, aproveitando a orografia natural e zonas de vales encaixados para a construção de pequenas represas ou diques de contenção.

5.4 Trabalhos Futuros

Com base nas atividades conducentes à realização desta dissertação e considerando as limitações temporais e matérias sentidas, considera-se que é necessário a continuação e o desenvolvimento de futuros trabalhos de forma a aumentar o conhecimento científico, aprofundar e clarificar certos aspetos que neste trabalho não foram possíveis de determinar com exatidão e total certeza. Incentiva-se também o desenvolvimento de trabalho futuros a nível técnico-profissional (no ramo da Hidrogeologia), de forma a permitir obter elementos úteis ao desenvolvimento de populações, de atividades profissionais, implantação de novas indústrias e futuras zonas recreativas e de lazer.

Desta forma, para trabalhos futuros a nível científico, recomenda-se:

- a) Estudos mais pormenorizados ao nível geológico e estrutural, do setor W da bacia hidrográfica de Ribeira de Canedo, que interjeta litologias do Sistema Aquífero de Tentúgal (O5).
- b) Estudo pormenorizado da hidrogeologia local do Sistema Aquífero de Tentúgal (O5), determinação dos parâmetros hidráulicos (condutividade hidráulica, transmissividade, coeficiente de armazenamento), aptidões aquíferas e hidrodinâmica subterrânea nomeadamente as relações hidráulicas com as restantes massas de água aquíferas e sistemas aquíferos.
- c) Desenvolvimento de estudos aprofundados no domínio hidrogeológico (aptidão e potencial hidrogeológico) das unidades geológicas Plio-quaternárias (U1- Cascalheiras de Sangalhos, U2A - Areias e Conglomerados de Anadia, U2B - Areias e Conglomerados de Carqueijo e U3 - Areias de Mala), que apesar da sua aparente baixa espessura, e dispersão relativamente heterogénea, contribuem para a hidrodinâmica local funcionando com unidades recarregantes das sobrejacentes.
- d) Estudo detalhado nesta região geográfica (BhRC), da hidrodinâmica do Sistema Aquífero Cársico da Bairrada (O3) e a sua relação dinâmica com unidades aquíferas superiores de outros Sistemas aquíferos, unidades aquíferas indiferenciadas e aluvionares.
- e) Estudo mais setorizado e detalhado da dinâmica e relação aquífera das unidades aquíferas inseridas nos terrenos indiferenciados da Orla Ocidental Indiferenciada da Bacia Hidrográfica do rio Vouga (O01 RH4) e entre as unidades ou sistemas aquíferos em redor. Desenvolvimento de novas propostas ou levantamento a possíveis novos sistemas aquíferos diferenciados, visto que apresenta potencial hídrico, tratando-se de meios porosos e arenosos, intercalados com meios xistentos e argilosos, que poderão estar na base de unidades aquíferas confinadas.

- f) Estudo pormenorizado e redefinição dos limites dos Sistemas Aquíferos de Tentúgal (O5) e Cársico da Bairrada (O3), com a confirmação de uma possível extensão do Sistema Aquífero de Tentúgal (O5), na região da Pampilhosa do Botão. Nova proposta para a delimitação espacial e geográfica dos Sistemas Aquíferos Cársico da Bairrada (O3) e Tentúgal (O5), com base na cartografia de campo e medições dos parâmetros físico e químicos da água.

Para trabalhos futuros a nível técnico-profissional, recomenda-se:

- a) Estudo do setor W da BhRC, coincidente com as unidades do aquífero de Tentúgal (O5) nomeadamente na disponibilidade hídrica e qualidade para captação e abastecimento público de populações.
- b) Estudo de futuros locais para implantação de furos de água com qualidade para abastecimento público ou privado, com monitorização da sua produtividade e parâmetros hidrogeológicos.
- c) Desenvolvimento de estudos semelhantes para a avaliação da disponibilidade e monitorização da qualidade da água neste mesmo setor, nos níveis superiores e coincidentes com as unidades aquíferas freáticas, para atividades agrícolas, de recreação e lazer.

Para além dos estudos na área da Hidrogeologia e Recursos hídricos acima referidos, para a BhRC recomenda-se ainda os seguintes estudos na área das Geociências:

- a) Avaliação da disponibilidade, viabilidade de exploração, de matérias-primas para cerâmicas (barro) na região W e Central assim como a determinação de impactos ambientais, geológicos e hidrogeológicos.
- b) Estudo da viabilidade económica e qualidade destas matérias-primas para abastecimento das cerâmicas já existentes e para instalação de novas indústrias cerâmicas e associadas.
- c) Estudo de possíveis locais para captação hídrica superficial para regas, agricultura, pecuária e lazer, como açudes, mini-hídricas ou captação da água excedentária de nascentes.

5.5. Importância da água na indústria local

A região estudada, tal como já demonstrou em períodos de tempo anteriores, apresentou uma atividade industrial muito intensa e diversificada, nomeadamente nos setores das cerâmicas, das madeiras e químicas. Apesar do encerramento destas indústrias, ainda resta parte das estruturas instaladas e do património.

A fixação de população em associação com a maioria das atividades industriais está sempre ligada à disponibilidade de água e na BhRC não foi exceção. As indústrias fixaram-se sobretudo na zona baixa da Vila de Pampilhosa do Botão, equivalente à depressão aluvionar da Ribeira de Canedo, que constitui a zona onde mais recebe água superficial e subterrânea proveniente de níveis topograficamente superiores e onde se encontra o importante entroncamento ferroviário. Por este motivo a fixação de novas indústrias pode ter um papel muito importante, principalmente as que necessitem de muita água para sua laboração.

É importante referir que com este trabalho, permitiu identificar com mais detalhe as zonas mais favoráveis em termos hídricos e tipo de finalidades a que se poderão destinar.

Deste modo, desde da depressão da Ribeira de Canedo e seguindo para W, até ao limite da sua Bacia Hidrográfica (Estrada Nacional N^o1), traduz numa zona por excelência para captação hídrica, que com este estudo foi possível identificar grande disponibilidade hídrica, sobretudo no domínio subterrâneo.

Constitui como já verificado de períodos anteriores, a zona com maior disponibilidade hídrica para indústrias e atividades que necessitem de muita água e claro, com grande disponibilidade e acessibilidade de vias de comunicação.

Ressalva-se que para estudo da avaliação hídrica para instalação de possíveis indústrias ou atividades que necessitem de importantes quantidades de água, sobretudo subterrânea, é necessário fazer o estudo e avaliação específica para a atividade em questão e consequentes impactos ambientais locais e regionais decorrentes da captação hídrica.

6. Referências Bibliográficas

- Almeida, C.; Mendonça J.J.L.; Duarte, R. S.; Quina A.P.; Neves, J. R. (2000). Glossário de Termos hidrogeológicos. Instituto da água; Centro de Geologia.
- Almeida, A. C.; Soares, A. F.; Cunha, L.; Marques, J. F. (1990). Proémio ao estudo do Baixo Mondego. *Biblos*, v. 66, pp. 17-47.
- Almeida, C., Mendonça, J.J. L., Silva, M.A.M. e A. Serra (1999). Síntese da Hidrogeologia das Bacias do Mondego, Vouga e Lis. IV Simpósio de Hidráulica e Recursos de Língua Oficial Portuguesa (IV SILUSBA), [CD ROM], Coimbra.
- Almeida, C., Mendonça, J. L., Jesus, M. R., Gomes, A. J. (2000). Sistemas Aquíferos de Portugal Continental. Lisboa: Centro de Geologia / Instituto da Água.
- Azevedo, J. M., (2016). Cadernos teórico-práticos de apoio à disciplina de Recursos Hídricos, dos Mestrados em Geociências e Eng^a de Minas. Departamento de Ciências da Terra [DCT] da Universidade de Coimbra.
- Barbosa, B. P. (1986). Identificação sedimentológica de uma unidade arenítico-conglomerática equivalente à Formação de Bom-Sucesso (Paleogénico-Miocénico indiferenciados). *Comu. Serv. Geol. Portugal*, t. 72, fasc. (1/2), pp. 137-141.
- Barbosa, B., Soares, A. F., Rocha, R. B., Manuppella, G., Henriques, M. H., (1988). Notícia explicativa da Folha 19-A da Carta Geológica de Portugal, à escala de 1/50 000. *Serviços geológicos de Portugal*, Lisboa, pp. 5-37.
- Barbosa, B., Soares, A. F., Rocha, R. B., Manuppella, G., Henriques, M. H., (1998). Folha 19-A da Carta Geológica de Portugal, à escala de 1/50 000. *Serviços geológicos de Portugal*, Lisboa.
- Brito, R. S. (1994). Portugal. Perfil Geográfico. Lisboa, Editorial Estampa.
- Cabral; J., Ribeiro, A., (1989). Carta Neotectónica de Portugal Continental. *Serviços Geológicos de Portugal*, Lisboa.
- Cabral, J. (1995). Neotectónica em Portugal. Continental. *Memórias do Instituto Geológico e Mineiro*, nº 31, Lisboa.
- Cardoso, J. C., Bessa, M. T., Marado. M.B. (1971). Carta de solos de Portugal continental (1978), Atlas do Ambiente de Portugal, Escala 1:1 000 000
- Comissão Nacional do Ambiente (1984). Notícia Explicativa “Acidez e Alcalinidade dos Solos”. Atlas do Ambiente de Portugal, pp 11-21.
- Câmara Municipal de Mealhada, Setor de Ambiente e Serviços Urbanos (2016). Memória descritiva das Captações do Município de Mealhada, Autorização de Utilização dos Recursos Hídricos, Mealhada.
- Castilho, A.M.A. (2008). Lagoas de Quiaios - Contribuição para o seu conhecimento geológico e hidrogeológico. Tese de Doutoramento. Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, pp. 361-443.
- Chaminé, H. I. (2000). Estratigrafia e estrutura da faixa metamórfica de Espinho-Albergaria-a-Velha (Zona de Ossa-Morena): implicações geodinâmicas. Tese de doutoramento, Universidade do Porto.
- Chaminé, H. I. (2000). Unidade de Albergaria-a-Velha (Faixa de Cisalhamento Porto-Tomar –Ferreira do Alentejo): principais resultados de um estudo geológico pluridisciplinar. *Geociências, Rev. da Univ. de Aveiro*, v. 14 (1/2), pp. 49-60.
- Chaminé, H. I.; Ribeiro, A. & Pereira, E. (1995). Cartografia geológica e estratigrafia da faixa Precâmbrica do setor Espinho-Albergaria-a-Velha (Zona de Ossa-Morena). *Actas do IV Congresso Nacional de Geologia*, pp. 329-333.
- Choffat, P. (1897). Sur Crétacique de la région du Mondego et celui de Lisbonne. *C. R. Ac. Sc. Paris*, t.124, pp. 422-424.
- Cooper, A.H. (1980). “The stratigraphy and paleontology of the Ordovician to Devonian rocks of the area north of Dornes (near Figueiró dos Vinhos), Central Portugal”. Phd Thesis, Univ. Sheffield, 225 pp.
- Delgado, N. (1908). Système Silurique du Portugal. Étude de stratigraphie paléontologique. *Mem. e Comunic. dos Serviços Geológicos de Portugal*.

- Dinis, P. (2001b). Um Horst Litoral entre os rios Vouga e Mondego. *In Actas 7ª Conf. Anual do Grupo de Geologia Estrutural e Tectónica*, pp. 66-68.
- Dinis, P. (2004). Evolução Pliocénica e Quaternária do Vale do Cértima. Tese de Doutoramento, Universidade de Coimbra, 351 pp.
- Dinis, P. (2004). Carta Geológica do Vale do Cértima, Evolução Pliocénica e Quaternária do Vale do Cértima. Tese de Doutoramento, Universidade de Coimbra.
- Dinis, P. (2006). Depósitos Neogénicos anteriores à incisão fluvial actual entre Coimbra e Aveiro: Fácies, Arquitectura Depositional e Controlos sobre a Sedimentação. *Comunicações Geológicas*, 93, pp. 81-104.
- Domingos, L. C.; Freire, J. L.; Gomes da Silva, F.; Gonçalves, F.; Pereira, E. & Ribeiro, A. (1983). The structure of intramontane upper carboniferous basins in Portugal. *Actas The carboniferous of Portugal*. M. J. Lemos de Sousa and J. T. Oliveira, Ed., Mem. Ser. Geol. Portugal, pp. 187-194.
- Félix, F. (2009). Caracterização Hidrogeológica e Geofísica do flanco Este do Sinclinal do Buçaco (Midões-Penacova). Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra, 78 pp.
- Ferreira, A.M.P.J. (2000). "Dados Geoquímicos de Base de Sedimentos Fluviais de Amostragem de Baixa Densidade de Portugal Continental: Estudo de Fatores de Variação Regional" Universidade de Aveiro. Departamento de Geociências, 2000, 2, pp. 19-61.
- Girão, A. A., (1922), Bacia do Vouga – Estudo Geográfico. Dissertação de doutoramento na Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, 190pp.
- Golden Software Inc. (2014), Surfer 12 Full User's Guide. Powerful Contouring, Gridding & 3D Surface Mapping. Colorado, USA.
- Gomes, A. A. T., (2008) - Evolução geomorfológica da plataforma litoral entre Espinho e Águeda. Dissertação apresentada à Faculdade de Letras do Porto para obtenção de grau de Doutor em Geografia. Departamento de Geografia, Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 337pp.
- Julivert, M., Fontboté, J.M, Ribeiro, A. & Conde, L.E. (1974). Memória Explicativa del Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F. (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Z.*, Vol. 15, pp. 259 - 263.
- Kullberg, J.C (2000). Evolução Tectónica Mesozóica da Bacia Lusitaniana. Dissertação apresentada para obtenção do Grau de Doutor em Geologia – Especialidade Geologia Estrutural. Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa, pp. 196 - 258.
- Kullberg, J.C., Rocha, R. B., Soares, A.F., Rey, J., Terrinha, P., Callapez, P. ... Nogueira, C.R. (2006). A Bacia Lusitaniana: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica. Universidade de Évora, pp. 317-368.
- Kullberg, J.C., Rocha, B.R., Soares, A.F., Rey, J., Terrinha, P., Azerêdo, A.C. ... Nogueira, C.R. (2013). A Bacia Lusitaniana: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica. Escolar Editora, 346pp.
- Landim P. M. B., (2006). Krigagem Indicativa Aplicada à Elaboração de Mapa Probabilísticos de Riscos. Texto Didático 02. Laboratório de Geomatématica. Departamento de Geologia Aplicada - IGCE. UNESP, Rio Claro, pp. 3-18.
- Marques da Silva, M. A. (1990). "Hidrogeologia del Sistema Multiacuífero Cretacico del Bajo Vouga - Aveiro (Portugal)" – Tese de doutoramento apresentada na Universidade de Barcelona Facultad de Geologia. Vol. I e II, 436 pp.
- Marques de Sá, C. & Noronha, F., (2012). Geotermómetro de Ga/Ge em Esfalerite - Aplicação ao Jazigo do Braçal. *Comunicações Geológicas*, 99, 1, 5-10.
- Matthess, G.* (1807 - 1982). *The Properties of Groundwater*. Ed: John Wiley & Sons, (B. B. John C. Harvey**, Trad.). New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore: A Wiley - Interscience Publication.
- Mendonça, J.L., Almeida, C. C. & Marques da Silva, M. (1999). "Produtividade e Características dos Sistemas Aquíferos Descontínuo do Maciço Hespérico na Área da Bacia do Rio Mondego". Seminário sobre águas subterrâneas, APRH, Lisboa, pp. 63-70.
- Mendonça, J.L. & Dias, J. L. F. (1999). "Sistemas Aquíferos Aluvionares na Bacia do Rio Mondego". *Rev. Recursos Hídricos*, APRH, Lisboa, pp. 63-70.

- Mittchel, W.I. (1974). "An outline of stratigraphy and paleontology of the Ordovician rocks of Central Portugal". *Geological Magazine*, 111, pp. 385-396.
- Morais, J., (s.d.). O valor do pH. Departamento de Química e Instituto de Ciências Agrárias Mediterrânicas (ICAM). Universidade de Évora.
- Paiva, A. (2015). Hidrogeologia e Recursos hídricos Subterrâneos na Bacia Hidrográfica da Ribeira de Ançã, Cantanhede. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra, 81pp.
- Palain, C. (1976). Une série détritique terrigène. Les Grés de Silves: Trias et Lias inférieur du Portugal. *Serv. Geol. Portugal*. V. 25.
- Paris, F. (1979). "Les chitinozoaires de la Formation de Louredo, Ordovicien supérieur du synclinal de Buçaco (Portugal)". *Paleontographica*, A 164, pp. 24-5.
- Paris, F. (1981). "Les chitinozoaires dans le Paéozoïque du sud-ouest de l'Europe". *Mémoire de la Société Géologique et Mineralogique de Bretagne*, 26.
- Peixinho de Cristo, F. (1985) – Estudo Hidrogeológico do Sistema Aquífero do Baixo Vouga. Divisão de Geohidrologia, Direção Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Ministério do Equipamento Social, Coimbra.
- Pinheiro, L. M.; Wilson, R. C. L.; Pena dos Reis, R.; Whitmarsh, R. B. & Ribeiro, A. (1996). The western Iberia margin: a geophysical and geological overview. *In* Whitmarsh, R. B.; Sawyer, D. S.; Klaus, A. & Masson, D. G. (Ed.) *Proceedings of the IODP Drilling Program, Scientific Results*, v. 149, pp. 3 - 23.
- Plano Diretor Municipal de Mealhada (2013). *Análise Biofísica*, 7, pp. 9-30.
- Processo de Revisão do Plano Diretor Municipal de Mealhada (2014). Processo de delimitação da REN da Mealhada para Efeitos de aprovação. *Memória Descritiva*.
- Reis, R. P. & Cunha, P. M. (1989a). A definição litoestratigráfica do Grupo do Buçaco na região de Lousã, Arganil e Mortágua (Portugal). *Comunic. Serv. Geol. Portugal*, 75, pp. 99-109.
- Rebelo, F.; Cunha, L.; Almeida, A. (1990). "Contribuição da Geografia Física para a inventariação das potencialidades turísticas do Baixo Mondego", *Cadernos de Geografia*, 9, pp. 3-34.
- Ribeiro, A. (1988). A Tectónica Alpina em Portugal. *Geonovas*, v. 10, pp. 9-11.
- Ribeiro, A.; Antunes, M. T.; Ferreira, M. R.; ROCHA, R. B.; Soares, A. F.; Zbyszewski, G.; Almeida, F. M.; Carvalhos, D.; Monteiro, J. H. (1979). *Introduction à la géologie générale du Portugal*. Serviços Geológicos de Portugal da Direcção-Geral de Geologia e Minas, Lisboa. 114 pp.
- Ribeiro, A.; Pereira, E; Chaminé, H. & Rodrigues, J. (1995). "Tectónica do Megadomínio de cisalhamento entre a Zona de Ossa-Morena e Zona Centro-Ibérica na região de Porto-Lousã". 4º Congresso Nacional de Geologia. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, pp. 299-303.
- Ribeiro, L., Condeso de Melo, M.T., Nascimento, J., Buxo, A., Barreiras, N., Miguens, F., MENDES, P., (2013). Breve Síntese Sobre as Águas Subterrâneas nos Planos de Gestão das Bacias Hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Liz. CVRM – Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.
- Ribeiro, O.; Lautensach, H. & Daveau, S. (1991a). *Geografia de Portugal. I, A Posição Geográfica e o Território*. Edições João Sá da Costa, Lisboa.
- Rodrigues, A.; Dias J. A. & Ribeiro, A. (1992). First appraisal of active faults in the north Portuguese Continental Shelf, *Gaia*, n. 4, pp. 25-30.
- Sant'Ovaia, CH. & Noronha, F. (2005). Classificação de granitos hercínicos portugueses com base nas suas características petrofísicas. *Cadernos Lab. Xeoloxico de Laxe, Coruna*. Vol. 30, pp. 75-86.
- Sequeira, A. J. & Sousa, M. B. (1991). O Grupo da Beiras (Complexo Xisto-Grauváquico) da Região de Coimbra-Lousã. *Memórias e Notícias, Publicações do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Universidade de Coimbra*, 112, pp. 1-13.
- Soares, A. F. (1966). Estudo das formações pós-jurássicas da região de entre Sargento-Mor e Montemor-o-Velho (margem direita do rio Mondego). *Memórias e Notícias, Publicações do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Universidade de Coimbra e do Centro de Estudos Geológicos*, v. 62, pp. 1-343.
- Soares, A. F.; Marques, J. F. & Barbosa, B. (1985a). Visita à região do Baixo Mondego (Santa Luzia-Montemor-o-Velho). *Excursão da Reunião I Quaternário Ibérico*.

- Soares, A. F.; Marques, J. F. & Rocha, R. B. (1985b). Contribuição para o conhecimento geológico de Coimbra. Memórias e Notícias, Publicações do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Universidade de Coimbra, 100, pp. 41-71.
- Soares, A. F., Marques, J.F., Sequeira, A. J. D., Rocha, R. J. D., Sousa, M. B., Pereira, E., SANTOS, J. R., (2005). Folha 19-D da Carta Geológica de Portugal, à escala de 1/50 000. Serviços geológicos de Portugal, Lisboa.
- Soares, A. F., Marques, J.F., Sequeira, A. J. D., (2007). Notícia explicativa da Folha 19-D da Carta Geológica de Portugal, à escala de 1/50 000. Serviços geológicos de Portugal, Lisboa, pp. 5-48.
- Sousa, E.R., (2001). “Noções sobre qualidade da água” - Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura. Secção de Hidráulica e dos Recursos Hídricos e Ambientais. Licenciatura em Engenharia Civil, Lisboa, pp. 1-9.
- Teixeira, C. (1981). Geologia de Portugal, Pré-Câmbrico e Paleozóico. Vol. 1, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- Vieira da Silva, A. M.; Condesso de Melo, M. T.; Marques da Silva, M. A. (2000). Modelo Conceptual e Caracterização Hidrogeológica Preliminar do Sistema Aquífero da Serra do Buçaco. Jornadas Luso-espanholas sobre as Águas Subterrâneas no Noroeste da Península Ibérica, Corunha.
- Walker, W.R., Skogerboe, G. V., (1987). Surface irrigation: Theory and practice. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 336 pp.
- Young, T. P. (1985). “The stratigraphy of the Upper Ordovician of Central Portugal”. Phd Thesis, Univ. Sheffield, 441 pp.
- Young, T. P. (1987). The Upper Ordovician of Central Portugal”. Gresbase field excursion.
- Young, T. P. (1988). The litostatigraphy of the upper Ordovician of central Portugal. Journal of the Geological Society London, v. 145, pp. 377-392.

Referências Web-Digitais

- Agência Portuguesa do Ambiente [APA], (2017). Acedido em 15 de março de 2017 e disponível em: <http://www.apambiente.pt/>
- Agência Portuguesa do Ambiente [APA], (2012). Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Vouga, Mondego e Lis integradas na Região Hidrográfica 4º, (PGBH4). Relatório Técnico. Acedido em 4 de fevereiro de 2017 e disponível em: <http://www.apambiente.pt/>
- AgSolve. “Como e porque medir a Condutividade Elétrica (CE) com sondas multiparâmetros?” (2017). Acedido a 31 de julho de 2017 e disponível em: <https://www.agsolve.com.br/noticias/como-e-porque-medir-a-condutividade-eletrica-ce-com-sondas-multiparâmetros>
- Base de Dados de Portugal Contemporâneo [PORDATA], (2017). Acedido em 10 de fevereiro de 2017 e disponível em: <http://www.pordata.pt/O+que+sao+NUTS->
- Chartsbin statistics collector team 2010. Surface Area of the Earth (2017). Acedido em 22 de junho de 2017 e disponível em: <http://chartsbin.com/view/www>
- Chartsbin statistics collector team 2010. Total Renewable Water Resources by capita by Country (2017). Acedido em 25 de junho de 2017 e disponível em: <http://chartsbin.com/view/1470>
- Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro [CCDRC], (2017). Acedido a 12 de janeiro de 2017 e disponível em: http://www.ccdrc.pt/index.php?option=com_content;view=article;catid=648:regiao-centro-ambito-da-ccdrc-78-municipios;id=359:nuts-iii;Itemid=249;lang=pt
- Direção Geral do Território [DGT], dgTerritório (2017). Acedido a 12 de janeiro de 2017 e disponível em: <http://www.dgterritorio.pt/>
- FAO of the United Nations (2016) - AQUASTAT online database. Total renewable water resources. The Food and Agriculture Organization of the United Nations, Italy. Acedido a 22 de maio de 2017 e disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>
- International Union of Soil Science; ISRIC; World Soil Information (FAO), World reference base for soil resources (2006). A framework for international classification, correlation and communication; World Soil Resources Reports, vol. 103. Acedido a 5 de maio de 2017 e disponível em: <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/wsrr103e.pdf>

- Instituto Nacional de Estatística (2015). NTUS 2013, As Novas Unidades Territoriais para Fins Estatísticos. Acedido a 5 de fevereiro de 2017 disponível em: [http://www.poci-competite2020.pt/admin/images/NUTS2013_\(1\).pdf](http://www.poci-competite2020.pt/admin/images/NUTS2013_(1).pdf)
- Instituto Português do Mar e da Atmosfera [IPMA], (2015). O clima em Portugal: Caracterização, tendências e cenários. Boleim informativo nº3/2015. Acedido a 17 de março de 2017 e disponível em: https://www.ssap.gov.pt/c/document_library/get_file?uuid=8e057ea0-4153-4bef-9b65-3ac7ea7f43c8;groupId=10136
- Instituto Português do Mar e da Atmosfera [IPMA], (2016). O Clima. Normais climatológicas. Acedido a 17 de março de 2017 e disponível em: <http://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/>
- Laboratório Nacional de Engenharia e Geologia [LNEG], (2017) – GeoPortal do LNEG, Léxico de Termos Hidrogeológicos HIDROLEX. Acedido a 14 de abril de 2017 e disponível em: <http://geoportal.lneg.pt/>
- Sistema Nacional de Informação de Ambiente [SNIAmb], (2017). Acedido a 5 de abril de 2017 e disponível em: <http://sniamb.apambiente.pt/Home/Default.htm>
- Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos [SNIRH], (1995-2017). Acedido a 27 de março de 2017 e disponível em: <http://snirh.apambiente.pt/>
- Shapes of Portugal/Formas de Portugal. Divisões Administrativas de Portugal (2017). Acedido a 20 de fevereiro de 2017 e disponível em: <http://www.mslima.com/sop/divisoes/>
- United States Geological Survey's [USGS]. The USGS Water Science School (2017). Acedido a 23 de junho de 2017 e disponível em: <https://water.usgs.gov/edu/earthhowmuch.html>

Outras Referências

- Decreto-Lei n.º 347/2007. D.R. n.º 176, Série 1 de 1998-8-1. Ministério do Ambiente. Acedido a 17 de maio de 2017 e disponível em: <https://dre.pt/application/dir/pdf1sdip/1998/08/176A00/36763722.pdf>
- Decreto-Lei n.º 347/2007. D.R. n.º 202, Série 1 de 2007-10-19. Ministério do Ambiente. Acedido a 5 de janeiro de 2017 e disponível em: http://www.oern.pt/documentos/legislacao/d_dl_dr/DL347_2007.pdf
- Instituto Geográfico do Exército (1992) - Carta Militar de Portugal 1:25 000, Folha nº 219. Continente, Série M 888, Lisboa.