



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR  
Faculdade de Engenharia

# Potencial Hídrico Subterrâneo da Ribeira das Cortes

**Pedro Miguel Barata dos Santos**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia Civil**  
(2º Ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Luís Manuel Ferreira Gomes

Covilhã, Outubro de 2014





*"Home is where the heart is..."*  
**Gaius Plinius Secundus\***  
(23 AC - 24 Agosto 79 DC)

\*Gaius Plinius Secundus foi um autor clássico, que no ano de 77 DC escreveu "Naturalis Historia". Este era um vasto compêndio das ciências antigas distribuído por 37 volumes dedicado a Tito Flávio, o futuro imperador de Roma.



# Agradecimentos

Tantos nomes, tanta gente.

Foram milhares as pessoas que conheci em toda a minha vida até ao presente, muitas das quais durante este enorme percurso académico. A todas elas gostaria de deixar uma palavra de apreço nesta fase da minha vida por terem feito de mim aquilo que sou hoje.

Foram milhares as pessoas que conheci em toda a minha vida até ao presente, muitas das quais durante este enorme percurso académico. A todas elas gostaria de deixar uma palavra de apreço nesta fase da minha vida por terem feito de mim aquilo que sou hoje.

Como seria expectável, há pessoas que conheci durante a universidade e momentos académicos que ficam para a minha própria história e os quais tenho de mencionar.

Assim, neste capítulo da minha vida agradeço aos companheiros de tantas lutas associativas pelo nosso Núcleo de Estudantes de Engenharia Civil da Universidade da Beira Interior e Associação Académica da Universidade da Beira Interior, em especial ao Pedro Cerdeira, Mário Amaro, Pedro Bernardo e Marc Martins.

Agradeço ainda aos que me acompanharam durante o meu período de mobilidade internacional, Paulo Belizário e Diogo Xavier bem como a todas as pessoas que conheci devido a este movimento internacional.

É de todo importante referir ainda os companheiros do dia-a-dia André Reis, Diogo Oliveira e Vítor Rolo.

Um agradecimento ainda à ICOVI, empresa onde estagiei por um ano e a qual permitiu o acesso ao “Projeto de Abastecimento de Água em Alta ao Concelho da Covilhã” base da ideologia inicial segundo a qual se formou a presente dissertação.

Por fim agradeço à minha família por toda a paciência que dispendeu principalmente nos meus piores momentos, estando sempre presente. Ao orientador Prof. Ferreira Gomes que com o seu conhecimento, entusiasmo, dedicação e disponibilidade para as longas caminhadas pela Serra da Estrela, foi sempre dando um enorme incentivo para que este trabalho se realizasse.



## Resumo

Sendo o mais abundante, a água é também o recurso natural mais importante existente no planeta Terra. Mais particularmente da água subterrânea depende a sobrevivência do ser humano, bem como toda uma economia mundial fazendo trabalhar o setor industrial e o setor agrícola. Assim, dada a escassez das águas subterrâneas é necessária uma gestão eficaz deste recurso hídrico.

Por vezes, muitas das captações de água subterrânea encontram-se em meios de difícil exploração ou dispõem de recursos insuficientes face à resposta necessária das várias populações.

Surgem assim as barragens, que sendo captações superficiais, podem armazenar água em grandes quantidades para abastecer as populações. O espelho de água criado por uma barragem contribui para as infiltrações da água no sub-solo granítico da região, recarregando os aquíferos.

A hidrogeologia, com todas as ferramentas que tem ao seu dispor, permite caracterizar de uma forma bastante fiável, as etapas e os processos associados à circulação das águas que se infiltram no sub-solo, bem como ao seu armazenamento e à sua qualidade.

A presente dissertação surge no contexto de analisar as recargas de aquíferos que a potencial albufeira da Barragem da Ribeira das Cortes vai proporcionar, potenciando os furos, minas e nascentes que se encontram a jusante, mais propriamente nas localidades Bouça e Cortes do Meio, no Concelho da Covilhã.

Deste modo, no Capítulo 1, *Introdução*, apresentam-se o enquadramento do tema e os objetivos da presente dissertação. No Capítulo 2, *Metodologia*, apresentam-se a metodologia do trabalho e a maneira como este foi realizado, discriminando ainda alguns conceitos hidrogeológicos essenciais para apoio da interpretação dos resultados a obter. No Capítulo 3, *Estudos Anteriores*, apresenta-se de forma breve os principais aspetos de águas subterrâneas, nomeadamente os sistemas de aquíferos em Portugal, bem como os estudos sobre a temática, realizados na região em estudo. No Capítulo 4, *Caso de Estudo - Ribeira das Cortes*, dedica-se com algum detalhe à caracterização da região, nomeadamente nos aspetos físicos, geomorfológicos, geológicos, hidrogeológicos e da qualidade da água, bem como é feita uma comparação final das reservas de água sem e com a implementação da Barragem da Ribeira das Cortes. Finalmente, no Capítulo 5, *Conclusões*, sintetizam-se os aspetos mais relevantes em termos conclusivos.

## Palavras-chave

Água subterrânea, Ribeira das Cortes, barragens, qualidade da água, Covilhã



# Abstract

Being the most abundant, water is also the most important natural resource that exists on planet Earth. The survival of Human beings as well as global economy depends more particularly on groundwater for the functioning of industry and agriculture. Therefore, given the shortage of these groundwaters, a strong and effective management of this hydric resource, is necessary.

Sometimes, many of these water catchments are very hard to explore or else they have insufficient resources given the necessity of the populations.

It is in this context that dams arise, superficial water catchments that can store water in huge amounts so as to supply the populations. The water mirror created by a dam facilitates water infiltrations in the granitic sub-soil of the region, thereby recharging the aquifers.

Hydrogeology with all its tools, allows for a very reliable characterization of the phases and processes associated with the circulation of waters that infiltrate in the sub-soil, as well as their storage and quality.

The present dissertation arises in the context of analyzing the recharging of aquifers that Project of Ribeira das Cortes Dam will provide, boosting boreholes, galleries and springs that are downstream, namely in the locations of Bouça and Cortes do Meio, in the County of Covilhã, resorting to the hydric resources available nowadays.

Thus, in Chapter 1, *Introduction* the theme framework and the goals of this dissertation are presented. In Chapter 2, *Methodology*, the work methodology and the way the whole paper/work was done is presented. Chapter 3, *Previous Studies*, gives a brief presentation of the Portuguese aquifer systems as well as theme studies carried out in the studied region. In Chapter 4, *Case of Study - Ribeira das Cortes*, gives a detailed characterization of the region, namely in of physical, geological, hydrological and water quality terms. In this chapter is also made the comparison between the reserves with the present situation versus after the construction of Ribebira das Cortes Dam. Finally, in Chapter 5, *Conclusions*, the most relevant features are summarized in conclusive terms.

# Keywords

Groundwater, Ribeira das Cortes, dam, water quality, Covilhã



# Índice

<b>CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1. Importância da Temática	1
1.2. Enquadramento e Justificativa	2
1.3. Objetivos	3
<b>CAPÍTULO 2 METODOLOGIA</b>	<b>5</b>
2.1. Pesquisa Bibliográfica	5
2.2. Trabalhos de Campo	6
2.2.1. Cartografia litológica	6
2.2.2. Levantamento de pontos de água	6
2.3. Trabalhos de Gabinete	10
<b>CAPÍTULO 3. ELEMENTOS FUNDAMENTAIS</b>	<b>11</b>
3.1. Introdução	11
3.2. Águas Superficiais	13
3.3. Águas Subterrâneas	14
3.3.1. Aspectos básicos	14
3.3.2. Classificação das águas subterrâneas	15
3.3.3. Qualidade das águas subterrâneas	16
3.3.4. Contexto legal das águas subterrâneas	17
3.3.5. Tipos de aquíferos e seus parâmetros físicos	19
3.3.6. Porosidade	21
3.3.7. Permeabilidade	23
3.3.8. Redes de fluxo	24
3.4. Estudos Sobre a Temática em Análise de Outras Regiões	27
3.5. Estudos da Serra da Estrela	36
<b>CAPÍTULO 4. CASO DE ESTUDO - RIBEIRA DAS CORTES.</b>	<b>43</b>
4.1. Enquadramento Geográfico	43
4.2. Elementos Geomorfológicos	44
4.3. Elementos Geológicos	46
4.4. Caracterização Climática	50
4.4.1. Temperatura	50
4.4.2. Precipitações	53

4.4.3.	Balanço hidrológico	55
<b>4.5.</b>	<b>Pontos de Água</b>	<b>59</b>
4.5.1.	Inventário e sua caracterização	59
4.5.2.	Controlo de caudais	60
4.5.3.	Qualidade da água	60
<b>4.6</b>	<b>Caracterização Hidrogeológica</b>	<b>68</b>
<b>4.7.</b>	<b>Reservas Disponíveis e Cenários Futuros</b>	<b>75</b>
<b>CAPÍTULO 5. CONCLUSÕES</b>		<b>81</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>		<b>85</b>
<b>ANEXOS</b>		<b>89</b>
<b>ANEXO I - Elementos Climáticos: Precipitação</b>		
<b>ANEXO II - Medições Efetuadas</b>		

# Lista de Figuras

	Página
Figura 1.1: Barragem da Cova do Viriato.	1
Figura 2.1: Medidor paramétrico de qualidade da água em trabalhos de campo.	7
Figura 2.2: Escala do pH (adaptado de INETI, 2011 <i>in</i> Enes, 2011).	8
Figura 3.1: Estimativa da totalidade de água doce e água salgada disponível no planeta (Serrão, 2003).	11
Figura 3.2: O ciclo hidrológico (Serrão, 2003).	12
Figura 3.3: Tempos aproximados de residência dos recursos hídricos naturais (Serrão, 2003).	13
Figura 3.4: Classificação das camadas de solo onde circula a água infiltrada (Enes, 2011).	14
Figura 3.5: Classificação das águas nobres (adaptado de Ferreira Gomes, 2011).	16
Figura 3.6: Modelo com os vários tipos de aquífero segundo a sua classificação de acordo com o armazenamento de água (SNIRH, 2014).	20
Figura 3.7: Relação entre a porosidade e a permeabilidade (INETI, 2011).	23
Figura 3.8: Esquema de linhas de fluxo e equipotenciais em situações de topografia com relativa simetria em meios isotrópicos - linhas de igual carga hidráulica (Ferreira Gomes <i>et al.</i> , 2012).	25
Figura 3.9: Esquema de linhas de fluxo e equipotenciais geradas após a implantação de uma barragem (Rahn, 1986).	25
Figura 3.10: Efeito do aumento da profundidade numa rede de fluxo. Águas superficiais só contêm redes de fluxo locais e águas em profundidade podem conter redes de fluxo locais, intermédias e regionais (Fetter, 1980).	26
Figura 3.11: Caminho seguido por uma linha de fluxo num ponto de estagnação (Fetter, 1980).	27
Figura 3.12: Unidades morfo-estruturais hidrogeológicas que constituem o território nacional (SNIRH, 2014).	28
Figura 3.13: Elementos dos pontos de água comum inventariados no site do SNIRH para o Concelho da Covilhã (a partir de SNIRH, 2014).	29
Figura 3.14: Sistemas de aquíferos de águas comuns identificados no Maciço Antigo (SNIRH, 2014).	30
Figura 3.15: Sistemas de aquíferos de águas comuns identificados na Orla Ocidental (SNIRH, 2014).	31
Figura 3.16: Sistemas de aquíferos de águas comuns identificados na Orla	32

	Meridional (SNIRH, 2014).	
Figura 3.17:	Sistemas de aquíferos de águas comuns identificados nas Bacias Terciárias do Tejo e do Sado (SNIRH, 2014).	32
Figura 3.18:	Consumo de água subterrânea por concelho, em Portugal Continental (APDA, 2002).	34
Figura 3.19:	Consumos de água subterrânea por distrito, em Portugal Continental (APDA, 2002).	35
Figura 3.20:	Esboço hidrogeológico em corte da região em estudo da zona das captações de água subterrânea da cidade da Covilhã (Mendes, 2006).	37
Figura 3.21:	Espressão gráfica do balanço hidrológico para a zona em estudo. I-Excedentes; II-Consumo das reservas; III-Défice hídrico; IV-Restituição das reservas (Mendes, 2006).	37
Figura 3.22:	Variação ao longo do ano de 2005 dos valores de caudal das captações e do somatório do caudal monitorizado dos vários setores em estudo - ADC, Covilhã (Mendes, 2006).	39
Figura 3.23:	Variação ao longo do ano de 2005 dos valores de condutividade elétrica da água das captações dos vários setores em estudo - ADC, Covilhã (Mendes, 2006).	40
Figura 3.24:	Variação ao longo do ano de 2005 dos valores de pH da água das captações dos vários setores em estudo - ADC, Covilhã (Mendes, 2006).	41
Figura 3.25:	Variação ao longo do ano de 2005 dos valores de Eh da água das captações dos vários setores em estudo - ADC, Covilhã (Mendes, 2006).	42
Figura 4.1:	Localização da zona de estudo no Concelho da Covilhã.	43
Figura 4.2:	Localização geográfica da área em estudo (adaptado de SNIRH, 2014).	44
Figura 4.3:	Perfis dos relevos entre a flexura atântica e a fronteira espanhola (Biro, 1949 in Cavaleiro, 2001).	45
Figura 4.4:	Aspetos geomorfológicos da região da Covilhã onde é evidenciada a Serra da Estrela e a depressão da Cova da Beira.	46
Figura 4.5:	Mapa da rede de drenagem (adaptado de SNIRH, 2014).	47
Figura 4.6:	Mapa da rede de drenagem segundo o Método de Stralher.	48
Figura 4.7:	Enquadramento da zona de estudo no mapa de unidades paleogeográficas da Península Ibérica (adaptado de Ribeiro <i>et al.</i> , 1979).	48
Figura 4.8:	Carta Geológica de Portugal que contém a zona de estudo à escala 1:50000 (excerto da folha 20-B, Teixeira <i>et al.</i> , 1974).	49
Figura 4.9:	Mapa de Temperatura média para Portugal Continental (adaptado de	52

	SNIRH, 2014).	
Figura 4.10:	Mapa de Precipitação média anual para Portugal Continental (adaptado de SNIRH, 2014).	54
Figura 4.11:	Diagrama do balanço hidrológico sequencial mensal para a zona em estudo.	58
Figura 4.12:	Localização dos pontos de água para a zona em estudo com os limites da Bacia da Ribeira das Cortes.	61
Figura 4.13:	Histograma dos registos dos parâmetros físico-químicos da Condutividade nos pontos de água selecionados.	63
Figura 4.14:	Histograma dos registos dos parâmetros físico-químicos da Temperatura nos pontos de água selecionados.	63
Figura 4.15:	Histograma dos registos dos parâmetros físico-químicos do pH nos pontos de água selecionados.	64
Figura 4.16:	Histograma dos registos dos parâmetros físico-químicos do Potencial Redox nos pontos de água selecionados.	65
Figura 4.17:	Histograma dos registos dos parâmetros físico-químicos do Total de Sólidos Dissolvidos nos pontos de água selecionados.	65
Figura 4.18:	Histograma dos registos dos parâmetros físico-químicos da Resistividade nos pontos de água selecionados.	66
Figura 4.19:	Resultados dos vários parâmetros em função da altitude.	67
Figura 4.20:	Carta hidrogeológica para a região em estudo (Bacia da Ribeira das Cortes).	71
Figura 4.21:	Modelo geohidráulico conceptual para a zona em estudo (Bacia da Ribeira das Cortes).	73
Figura 4.22:	Esquema genérico de modelo geohidráulico em situações de topografia particular de um maciço superficial homogéneo sobre um substrato impermeável (Ferreira Gomes <i>et al.</i> , 2012).	76



# Lista de Tabelas

	Página
Tabela 2.1: Diferentes fases efetuadas na metodologia de trabalho.	5
Tabela 2.2: Classificação da água segundo o total de sólidos dissolvidos (Freeze <i>et al.</i> , 1979 <i>in</i> Enes, 2011).	9
Tabela 3.1: Porosidade total e eficaz para diversos materiais (Lencastre e Franco, 1992).	22
Tabela 3.2: Classificação das formações hidrogeológicas em função do coeficiente de permeabilidade (Medeiros, 2004).	24
Tabela 4.1: Dados climatológicos dos anos 1931 a 1960 da estação das Penhas Douradas (Ferreira, 1970).	51
Tabela 4.2: Estatística dos valores de precipitação dos anos hidrológicos 1939/1940 a 2009/2010 da estação meteorológica 12L/03-Covilhã (SNIRH, 2014).	53
Tabela 4.3: Resultados da evapotranspiração potencial mensal na Ribeira das Cortes.	56
Tabela 4.4: Resultados do balanço hidrológico (L/m <sup>2</sup> ) sequencial mensal para a Ribeira das Cortes - Covilhã.	58
Tabela 4.5: Total de medições efetuadas em cada tipo de captação.	59
Tabela 4.6: Resultados estatísticos dos parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas recolhidas em campo na zona em estudo.	62
Tabela 4.7: Resultados estatísticos dos parâmetros físico-químicos relativos à “Fonte dos Calções” na localidade da Bouça.	68
Tabela 4.8: Cenários sobre caudais estimados para a zona da Nascente dos Calções considerando o maciço da zona em estudo em diferentes situações de permeabilidade, sem e com a potencial Barragem da Ribeira das Cortes para situações unitárias (considerando a percolação num metro virtual do maciço).	79
Tabela 4.9: Cenários sobre caudais estimados para a zona na Nascente dos Calções considerando o maciço da zona em estudo em diferentes situações de	79

permeabilidade, sem e com a potencial Barragem da Ribeira das Cortes, para diferentes espessuras virtuais de maciço em recarga.

## Siglas e Abreviaturas

APDA	–	Associação Portuguesa de Drenagem e Distribuidores de Água
ARH	–	Administração da Região Hidrográfica
BEI	–	Banco Europeu de Investimento
c	–	Condutividade elétrica
CMC	–	Câmara Municipal da Covilhã
DAS	–	Diretiva das Águas Subterrâneas
DGAL	–	Direção-Geral das Autarquias Locais
DGEG	–	Direção Geral de Energia e Geologia
DH	–	Défice Hídrico
DIA	–	Declaração de Impacte Ambiental
DL	–	Decreto-Lei
DQA	–	Diretiva Quadro da Água
DR	–	Diário da República
DUP	–	Declaração de Utilidade Pública
Eh	–	Potencial redox
ETA	–	Estação de tratamento de águas
G	–	Escoamento Subterrâneo
GPS	–	Sistema de posicionamento global
IFDR	–	Instituto Financeiro para o Desenvolvimento Regional
IGM	–	Instituto Geológico e Mineiro
LNEG	–	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
NPA	–	Nível de pleno armazenamento
pH	–	Potencial de hidrogénio que indica acidez, neutralidade ou acidez de uma solução aquosa
POVT	–	Programa Operacional Temático Valorização do Território
R	–	Escoamento Superficial
REN	–	Reserva ecológica nacional
SH	–	Superavit Hídrico
SGP	–	Serviços Geológicos de Portugal
SMAS	–	Serviços Municipalizados de Água e Saneamento da Covilhã
SNIRH	–	Serviço Nacional de Informação de Recursos Hídricos
T	–	Temperatura
TDS	–	Total de sólidos dissolvidos

- ZCI – Zona Centro Ibérica
- $\rho$  – Resistividade

# Capítulo 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. Importância da Temática

Para combater a falta de água que por vezes se faz sentir no Concelho da Covilhã, a Câmara Municipal da Covilhã (CMC) decidiu construir uma barragem na Serra da Estrela, mais propriamente na Ribeira das Cortes, sensivelmente a 4 km da Cidade da Covilhã, e a 3 km abaixo da atual Barragem da Cova do Viriato, Figura 1.1, próximo das Penhas da Saúde. A Barragem da Cova do Viriato é a única captação superficial que sustém de momento todo o abastecimento de água ao Concelho. Esta servirá ainda para colmatar as falhas de água nas redondezas para quando a Serra da Estrela estiver a ser fustigada por incêndios.



Figura 1.1 - Barragem da Cova do Viriato.

É devido à Barragem da Ribeira das Cortes que se apresenta esta dissertação, pois achou-se curioso se a água, aquando a conclusão da barragem, se infiltraria no sub-solo granítico da região, em que quantidade e de que maneira esta infiltração no sub-solo afetaria os aquíferos e consequentemente as populações a jusante nomeadamente da Bouça e das Cortes do Meio, ambos os locais pertencentes à Freguesia das Cortes do Meio.

A Ribeira das Cortes é uma ribeira afluente do Rio Zêzere, e a barragem a ser construída permitirá a regularização de um volume de cerca de 6,00 hm<sup>3</sup>/ano, Almeida (2009) sendo esta uma quantidade satisfatória para todos os setores, acabando assim com as necessidades em anos mais “secos”.

O Projeto existente da barragem define-a com um nível de pleno armazenamento (NPA) à cota de 1307 m e uma albufeira com capacidade total de armazenamento de 2,43 hm<sup>3</sup> e útil de 2,20 hm<sup>3</sup>. O nível mínimo de exploração fica à cota de 1285 m.

## **1.2. Enquadramento e Justificativa**

A implantação de uma barragem na Ribeira das Cortes está condicionada pela necessidade de garantir a ligação por gravidade ao atual sistema de abastecimento de água ao Concelho da Covilhã, designadamente às adutoras que atualmente transportam a água captada na albufeira da Barragem da Cova do Viriato e tratada na ETA das Penhas da Saúde. Esta condicionante define não só a localização da Barragem da Ribeira das Cortes, mas também a localização da nova ETA da Varanda dos Carqueijais, dado que se torna necessário entregar água tratada no ponto de ligação do atual sistema de abastecimento.

A Barragem da Ribeira das Cortes é um processo que já sofreu grandes avanços e retrocessos durante a sua longa história. O “Projeto de Execução da Barragem da Ribeira das Cortes” foi delegado, pela Câmara Municipal da Covilhã à ICOVI - Infra-estruturas e Concessões da Covilhã, EEM., sendo os objetivos desta empresa, a gestão, a construção e conservação das infra-estruturas e concessões na área do município da Covilhã, bem como a gestão, a construção, a conservação e exploração dos serviços municipais do fornecimento de água em alta para consumo humano.

Para contextualizar um pouco a história do processo segundo Santos (2014), em Dezembro de 1992 foi apresentado o primeiro estudo para construção de uma nova barragem na Ribeira das Cortes ao Conselho de Administração dos Serviços Municipalizados de Água e Saneamento da Covilhã (SMAS), sendo publicado o Aviso de Concurso em Diário da República (DR) em Maio de 1993 e adjudicado à Coba - Consultores de Engenharia Lda. em Dezembro de 1993. O processo só viria a sofrer de novidades em Janeiro e Março de 2000 com o envio dos Estudos de Impacte Ambiental à Direcção Regional de Ambiente e início do processo de Avaliação de Impacte Ambiental, respetivamente. Devido aos mais variados fatores, este processo teve de ser fechado, sendo reaberto apenas em Março de 2006 e a respetiva Declaração de Impacte Ambiental (DIA) viria a ser emitida em Setembro desse ano. Passados 2 anos da emissão da DIA, o processo não sofreu quaisquer tipos de alterações, começando, em Setembro de 2008 um longo processo de 3 anos e 7 meses para a prorrogação da mesma, existindo sempre vários obstáculos, como é exemplo disso a abertura do Processo de Classificação do sítio da “Tapada do Dr. António” apenas arquivado em 2010 e as inúmeras providências cautelares efetuadas por um dos proprietários dos terrenos. Durante este tempo foi desenvolvido trabalho a nível de candidatura ao Fundo de Coesão do POVT (Programa Operacional Temática de Valorização do Território), sendo a primeira

candidatura rejeitada em Março de 2010 e a segunda aceite em Agosto de 2011. O contrato para aquisição destes fundos foi assinado em Julho de 2012. Foi também ainda submetida em Junho de 2011 uma candidatura aos fundos do IFDR/BEI, sendo o respetivo contrato assinado em Janeiro de 2013. Em Janeiro de 2012 foi lançado em Diário da República e no Jornal Oficial da União Europeia o novo Concurso Público Limitado por Prévia Qualificação para execução do “Projeto de Abastecimento de Água em Alta ao Concelho da Covilhã”, recaindo a escolha sobre a Somague - Engenharia S.A. em reunião do Conselho de Administração da ICOVI em Outubro de 2012. Foi ainda em Julho de 2012 que foi solicitado à DGAL (Direção Geral das Autarquias Locais) a Declaração de Utilidade Pública (DUP) dos terrenos a expropriar, sendo esta publicada em Diário da República em Novembro de 2012 e efetuada a respetiva vistoria “Ad Perpetuum Rei Memoriam” pelo Eng. Filipe Alberto Carreiro ainda no mesmo mês. Entretanto com mais providências cautelares e a perda de validade da Declaração de Impacte Ambiental, todo o processo ruiu.

### **1.3. Objetivos**

Com o presente trabalho, depois de se efetuar uma introdução sobre a importância da temática em estudo, em especial sobre a ocorrência de água superficial e subterrânea em maciços cristalinos, e em particular o estado de arte sobre este tipo de estudos na área da Serra da Estrela, analisa-se com muito detalhe o caso da Ribeira das Cortes. São analisados os aspetos físicos da bacia (elementos geomorfológicos, geológicos e climáticos), e são caracterizados os vários pontos de água existentes. É ainda realizada uma caracterização hidrogeológica do local em estudo assinalando todos os pontos vitais para a realização deste documento, e criam-se cenários de recarga quer em situação atual/natural, quer em situações de um novo espelho de água a implantar na bacia. São ainda calculadas as reservas de água subterrâneas existentes na bacia no antes e no pós implantação deste novo espelho de água. Por fim, tecem-se considerações sobre o potencial hídrico subterrâneo da bacia, função dos resultados a obter.



# Capítulo 2

## METODOLOGIA

Para a metodologia de trabalho de modo a realizar esta dissertação definiu-se uma estratégia evidenciada na Tabela 2.1. Esta pode ser dividida em 3 fases, sendo cada uma delas completamente distinta das outras. Para começar foi realizada, com alguma profundidade uma pesquisa bibliográfica de modo a haver um enquadramento sobre as várias temáticas que abrangem este trabalho. Após a compreensão de alguns novos conceitos, foi altura de ir ao “campo” recolher dados tanto a nível litológico, como percerrer a Serra da Estrela, mais propriamente a bacia hidrográfica da Ribeira das Cortes, à pesquisa de pontos de água (nascentes, poços e minas) recolhendo pequenas amostras e fazendo uma análise à qualidade de cada uma destas águas. Por fim, deu-se lugar aos trabalhos de gabinete. Foi aqui que se fez uma análise dos dados recolhidos em campo, os quais permitiram todo desenvolvimento desta dissertação.

Tabela 2.1 - Diferentes fases efetuadas na metodologia de trabalho.

1ª Fase - Pesquisa bibliográfica	1ª sub-fase: Águas superficiais e águas subterrâneas.
	2ª sub-fase: Hidrogeologia, geologia e climática.
	3ª sub-fase: Plano específico da Beira Interior.
2ª Fase - Trabalhos de campo	1ª sub-fase: Levantamento litológico.
	2ª sub-fase: Levantamento de pontos de água.
3ª Fase - Trabalhos de gabinete	1ª sub-fase: Levantamento de mapas.
	2ª sub-fase: Tratamento de dados numéricos.
	3ª sub-fase: Análise de resultados e conclusões.

### 2.1. Pesquisa Bibliográfica

A pesquisa bibliográfica que foi realizada para a elaboração deste trabalho centrou-se sobre vários domínios referindo-se principalmente o domínio das águas subterrâneas e das águas superficiais de cariz extremamente importante servindo de base a esta dissertação. Já numa fase posterior, a pesquisa focou-se sobre o domínio hidrológico, o domínio geológico, o domínio climático, entre outros. Estas 2 fases foram realizadas antes dos trabalhos de campo

Por fim, já após os trabalhos de campo efetuados, foi ainda realizada pesquisa bibliográfica sobre todos os domínios atrás referenciados na Beira Interior, mais especificamente na Serra da Estrela. De todos estes trabalhos, destacam-se assim os realizados por Ferreira Gomes *et al.* (1997), Mendes (2006), Mendes (2010), Costa Brito (2011) e Ferreira Gomes *et al.* (2011).

## **2.2. Trabalhos de Campo**

Após a pesquisa bibliográfica, numa segunda fase, foram realizados os trabalhos de campo. Estes, além da análise das várias litologias e unidades geológicas que se observam no campo, os trabalhos centraram-se numa busca intensiva de pontos de água dentro de toda a bacia da Ribeira das Cortes, fossem eles nascentes, minas ou poços. Esta foi a parte mais aventureira de todo este trabalho, visto que foi preciso explorar toda aquela zona da Serra da Estrela para encontrar estes pontos de água.

As primeiras 2 campanhas em campo foram realizadas em Março de 2014 e a terceira em Junho de 2014. A primeira campanha iniciou-se com uma reunião com o tesoureiro da Junta de Freguesia das Cortes do Meio, o qual nos apresentou a panorâmica sobre as captações principais da freguesia, salientando as que abastecem a população.

Após as visitas às minas e poços das Cortes do Meio visitou-se ainda a Bouça, fazendo aí alguns registos, e por fim seguiu-se então a parte aventureira deste trabalho que foi andar no meio das matas da Serra da Estrela à procura dos pontos de água.

Os levantamentos de campo efetuados demoraram 3 dias obtendo ao todo um total de 30 pontos de água para posterior análise em gabinete.

### **2.2.1. Cartografia litológica**

O reconhecimento geológico de superfície levado a cabo durante os trabalhos de campo acompanhado da carta geológica do local, Teixeira *et al.* (1974), permitiu identificar as principais unidades geológicas presentes, bem como adicionar pormenores que não constavam desta.

### **2.2.2. Levantamento de pontos de água**

À medida que se ia encontrando os pontos de água, efetuavam-se os registos dos vários parâmetros físico-químicos junto à origem da água (diretamente ou na ressurgência) ou, quando isso não era possível, a água recolhia-se para um recipiente onde se efetuavam os registos. Os parâmetros registados foram: Condutividade elétrica (c), Temperatura (T), Total de Sólidos Dissolvidos (TDS), Resistividade ( $\rho$ ), pH e potencial Redox (Eh). Os registos eram efetuados com

um medidor multiparamétrico de duas sondas individuais acopladas a um aparelho da marca Eutech Instruments modelo PC650 (Figura 2.1).



Figura 2.1 - Medidor paramétrico de qualidade da água em trabalhos de campo.

Após o registo dos resultados fisico-químicos às águas, eram ainda registadas as coordenadas do local através de um aparelho GPS da marca TomTom, e ainda eram assinalados numa carta militar os respetivos locais a olho nú. Mais tarde fez-se a comparação dos locais para verificar se ambos eram consensuais. Era ainda medido também o caudal de uma forma expedita, recorrendo-se sempre que possível ao uso de um reservatório de volume conhecido e um cronómetro; pontualmente em situações de caudais muito elevados os valores registados foram estimados com aproximação considerando a secção do local e o seu fluxo.

No sentido de se ter mais sensibilidade sobre os vários parâmetros registados, apresentam-se de seguida alguns elementos clássicos da literatura, juntamente com algumas classificações das águas baseadas nos mesmos, a partir do trabalho de Enes (2011).

- pH

O potencial de hidrogénio corresponde ao logaritmo decimal do inverso da concentração de hidrogénio numa determinada solução aquosa, influenciando assim a estabilidade das espécies minerais em dissolução ao intervir nos equilíbrios químicos das mesmas.

A análise do pH deve ser realizada *in situ*, uma vez que em laboratório os valores são alterados conforme as fugas de gases, oxidações e reduções, bem como a variação da temperatura resultante do transporte das amostras desde o local até ao sítio onde a mesma foi recolhida.

O pH varia numa escala de 0 a 14, sendo 7 um valor considerado neutro. Soluções com valores abaixo de 7, consideram-se ácidas e soluções com valores acima de 7 são consideradas básicas.

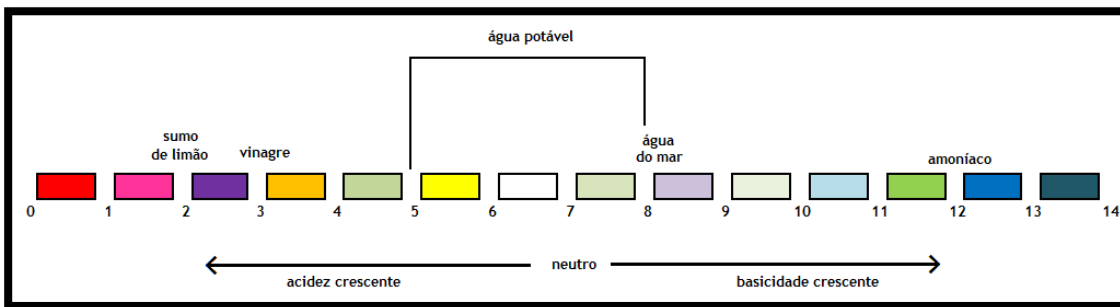


Figura 2.2 - Escala do pH (adaptado de INETI, 2011, *in* Enes, 2011).

Para águas subterrâneas, geralmente o pH situa-se entre os 5,5 e os 8,5. Quando, para situações mais anômalas, o pH for inferior a 3 poder-se-á estar perante uma situação de alteração dos minerais sulfurosos que originam ácidos fortes. Águas com pH entre 4,5 e 7 implicam a presença de ácidos orgânicos ou ácidos fracos como o ácido carbónico.

Carbonatos, silicatos e alumino-silicatos podem elevar o pH para valores superiores a 9.

- **Temperatura**

A temperatura da água no sub-solo pode variar imenso, indo de poucos graus abaixo dos 0°C até ao máximo de 300°C, considerando o vapor de água em alguns poços geotérmicos. Esta variação pode resultar de vários fatores tais como irradiação solar, gradiente geotérmico, reações químicas exotérmicas, etc., não dependendo assim da temperatura atmosférica, com excepção de aquíferos menos profundos.

O parâmetro da temperatura pode variar conforme os diferentes mecanismos de descarga, as profundidades de circulação, influências de origem vulcânica ou radioativa e o gradiente geotérmico local.

Este parâmetro poderá ter mais utilidade quando se avalia as movimentações de águas subterrâneas no seu meio hidrogeológico, contribuindo também em fenómenos de solubilidade de gases e sais.

- **Condutividade elétrica**

A condutividade elétrica representa a capacidade da água conduzir corrente elétrica. Tem um valor cada vez maior, quanto maior for a quantidade de sais dissolvidos sob a forma de iões.

Circulando em formações graníticas, a água tende a ter valores mais baixos de condutividade elétrica. Assim, pelo contrário, em meios calcários, tende a apresentar valores mais altos de condutividade elétrica. Isto tem que ver com a facilidade do calcário se dissolver na água.

Este parâmetro aumenta também com a temperatura e o teor de iões dissolvidos e vem expresso em  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

A resistividade elétrica é o inverso da condutividade elétrica.

- **Total de sólidos dissolvidos (TDS)**

O total de sólidos dissolvidos, ou também conhecido por TDS corresponde ao total do peso das substâncias dissolvidas na água por unidade de volume. Estas substâncias podem ser matéria orgânica ou inorgânica ou mesmo minerais, podendo ainda ser substâncias voláteis ou não voláteis.

Para águas doces o TDS varia entre 50 e 1500 mg/L. Para valores elevados deste parâmetro, considera-se água imprópria tanto para consumo humano como para consumo industrial.

Na Tabela 2.2 pode-se observar a classificação das águas de acordo com o total de sólidos dissolvidos nelas.

**Tabela 2.2 - Classificação da água segundo o total de sólidos dissolvidos (Freeze *et al*, 1979, *in* Enes, 2011).**

<b>Designação</b>	<b>TDS (mg/L)</b>
Água doce	0 a 1000
Água Salobra	1000 a 10000
Água salina	10000 a 100 000
Salmoura	> 100 000

- **Potencial redox (Eh)**

O parâmetro Eh é aquele que permite fazer uma avaliação quanto à capacidade que determinada solução aquosa tem em se oxidar ou reduzir, ou seja, por outras palavras, este parâmetro permite avaliar a atividade dos eletrões, estando diretamente relacionado com o teor em oxigénio da solução e o seu pH.

Nas soluções com potencial oxidante, estas tendem a decompor-se, enquanto que, quando o seu potencial é redutor, a matéria tende a sofrer redução. Assim, se o valor registado para o parâmetro Eh for negativo ocorre redução, se for positivo dá-se a oxidação.

Normalmente, as águas ácidas de minas, rios e mares tendem a ser muito oxidantes, as águas pantanosas e as águas subterrâneas tendem a obter um valor intermédio entre óxidas e redutoras, enquanto que as águas de solos inundados ou águas em contato com sedimentos marinhos redutores, são exemplos de águas que tendem a ser mais redutoras.

### **2.3. Trabalhos de Gabinete**

Primeiramente, o trabalho de gabinete consistiu em construir mapas através de cartas militares e geológicas para uma boa análise no trabalho de campo. O trabalho foi efetuado através do software AutoCad e Photoshop, mostrando-se muito útil para assinalar os pontos de água que foram sendo encontrados ao longo de todo o percurso, mas também algumas alterações litológicas que foram sendo encontradas durante o percurso, estas realizadas com maior pormenor do que aquele que está indicado no mapa geológico à escala 1:50000 (Teixeira *et al.* 1974).

Após os registos efetuados no campo, foi altura de tratar estes dados numéricos, construindo uma tabela para melhor visualização e comparação dos mesmos. Foram ainda georreferenciados todos os pontos de água através do software AutoCad, no primeiro transformando as coordenadas GPS obtidas no local em sistema de coordenadas WGS84, para o sistema Datum 73, podendo assim localizar corretamente os pontos de água nas várias cartas militares apresentadas nesta dissertação. No que diz respeito ao software AutoCad, foram assinalados os pontos que em campo foram cartografados por referência visual.

Concluído o passo anterior, procedeu-se à análise de toda a informação recolhida, de modo a formar um panorama da situação hidrogeológica da bacia da Ribeira das Cortes e retirando as respetivas conclusões, resultando o presente documento escrito.

# Capítulo 3

## ESTUDOS ANTERIORES

### 3.1. Introdução

Segundo Serrão (2003) os diferentes tipos de água disponíveis no planeta Terra correspondem na sua maior parte, cerca de 97% do total, a águas salgadas provenientes dos oceanos; resta apenas uma pequena fatia para os restantes tipos de água doce, sendo as águas subterrâneas apenas representadas por cerca de 0,9% do total de água disponível no planeta, como se pode verificar na Figura 3.1. Os restantes 2,1% estão distribuídos por glaciares, lagos, pântanos e rios. Se se desprezar a percentagem referente aos glaciares, verifica-se que os 0,9% de água subterrânea são de cariz importantíssimo na sobrevivência do ser humano, bem como para a agricultura e indústrias que movimentam toda uma economia mundial.

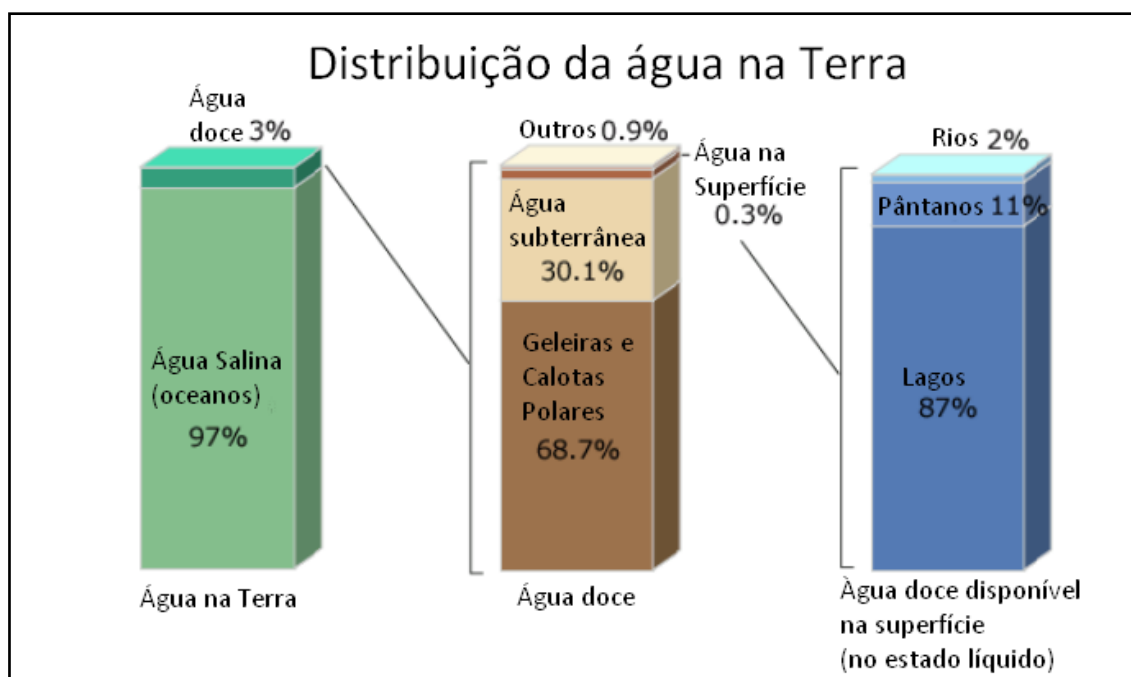


Figura 3.1 - Estimativa da totalidade de água doce e água salgada disponível no planeta (Serrão, 2003).

O ciclo hidrológico, Figura 3.2, ou ciclo da água integra todos estes intervenientes, sendo um processo complexo sustentado pela energia do sol e pela ação da gravidade.

Apesar das denominações água superficial, subterrânea e atmosférica, é importante salientar que, na realidade, a água é uma só e está sempre a mudar de condição. A água que precipita na forma de chuva, neve ou granizo, já esteve no sub-solo ou em icebergs e passou pelos rios e oceanos. A água está sempre em movimento.

Muito resumidamente, o ciclo hidrológico começa na atmosfera que, com a formação das nuvens, quando carregadas, provocam precipitações, na forma de chuva, granizo, orvalho e neve.

Nos continentes, a água precipitada pode seguir vários caminhos, tais como infiltração e percolação (sendo esta uma passagem lenta do líquido através do solo ou das rochas, podendo formar aquíferos ou ressurgir na forma de nascentes, fontes, pântanos, ou mesmo alimentando rios e lagos), fluindo lentamente entre as partículas e espaços vazios dos solos e das rochas (podendo ficar armazenada por um período muito variável de tempo, formando aquíferos), escoar sobre a superfície (para os casos em que a precipitação é maior do que a capacidade de absorção do solo), evaporar retornando à atmosfera (adicionalmente à evaporação da água dos solos, rios e lagos, uma parte é absorvida pelas plantas, sendo esta libertada na forma de transpiração - evapotranspiração) e por fim pode ainda congelar, formando camadas de gelo nos cumes de montanhas.

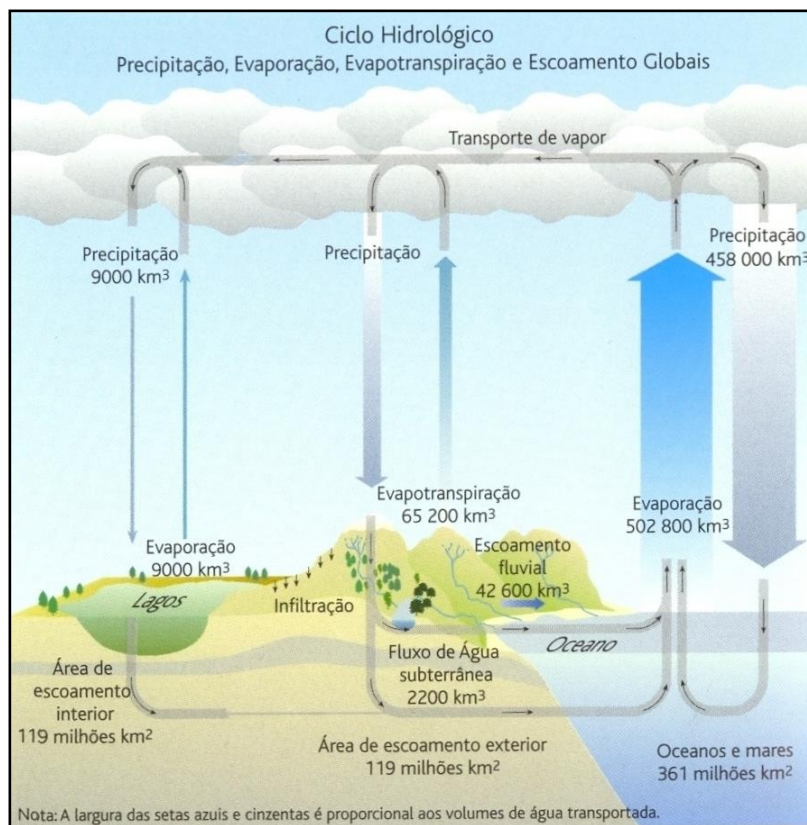


Figura 3.2 - O ciclo hidrológico (Serrão, 2003).

Observando a Figura 3.2 pode-se concluir que o valor de água precipitada nunca é igual ao valor de água evaporada, devido ao facto de parte desta nunca atingir a superfície dos continentes ou o oceano, uma vez que evapora com o calor à medida que cai.

Pode ainda observar-se que a água evaporada tem origem não só nas águas superficiais e oceânicas mas também na evapotranspiração provocada pelas plantas, que é vaporizada para a atmosfera através da sua transpiração.

O ciclo hidrológico é obviamente condicionado por vários fatores que regulam a velocidade deste, bem como a quantidade de água movimentada. Tais fatores são a temperatura, o tipo de solo, a geologia, o relevo, a altitude e a vegetação existente. A velocidade a que a água circula nas diferentes fases do ciclo hidrológico é de extrema importância, visto que no caso das águas subterrâneas, estas quanto mais tempo permanecem no sub-solo, maior interação têm com as rochas. Estes tempos estão normalmente distribuídos como apresentados na Figura 3.3. Pela mesma figura pode ainda verificar-se que no caso das águas subterrâneas estas podem ficar confinadas no sub-solo até cerca de 10000 anos.

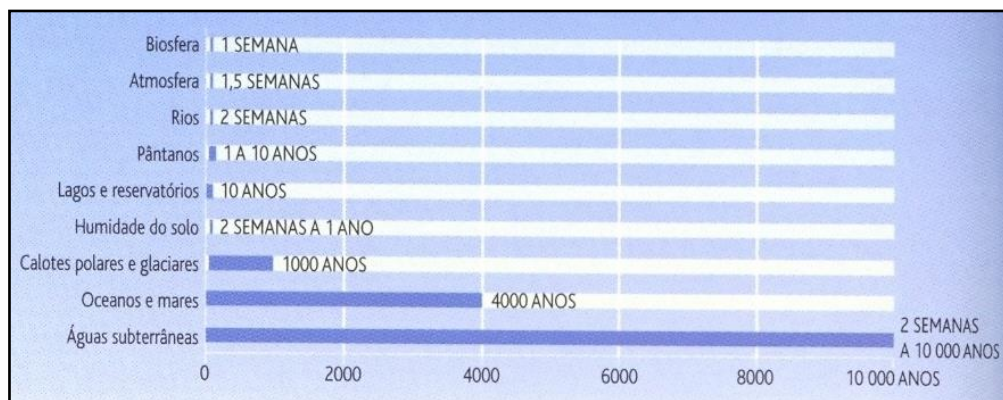


Figura 3.3 -Tempos aproximados de residência dos recursos hídricos naturais (Serrão, 2003).

## 3.2. Águas Superficiais

Pode-se denominar de águas superficiais todas aquelas que não penetram no sub-solo (ADNA, 2014). Estas correm ao longo da superfície de um terreno, acabando por entrar em ribeiras, lagos ou rios. Podem ainda ser denominadas de águas superficiais todas aquelas que estão armazenadas numa represa ou barragem. Este tipo de águas têm uma composição muito variável, consoante as características do local onde correm e as épocas do ano, apresentando geralmente elevada turvação no Outono e no Inverno, e algas na Primavera e no Verão.

Na sua generalidade, estas águas contêm partículas em suspensão, substâncias químicas e microorganismos o que as torna impróprias para consumo humano antes de serem sujeitas a tratamentos específicos.

As águas superficiais costumam ter temperaturas relativamente altas, elevada concentração de matéria orgânica dissolvida (proveniente da decomposição da vegetação), elevada turvação proveniente principalmente dos sólidos suspensos (proveniente de matéria orgânica, microorganismos e plâncton, areias, argilas, etc.). Por vezes as águas superficiais contêm ainda cheiros e sabores resultantes destes fenómenos.

### 3.3. Águas Subterrâneas

#### 3.3.1 Aspetos básicos

Através da Figura 3.4 pode ver-se que a água que se infiltra pode atravessar zonas do solo com características distintas, sendo estas a zona de água do solo, a zona intermédia, a franja capilar e a zona de saturação.

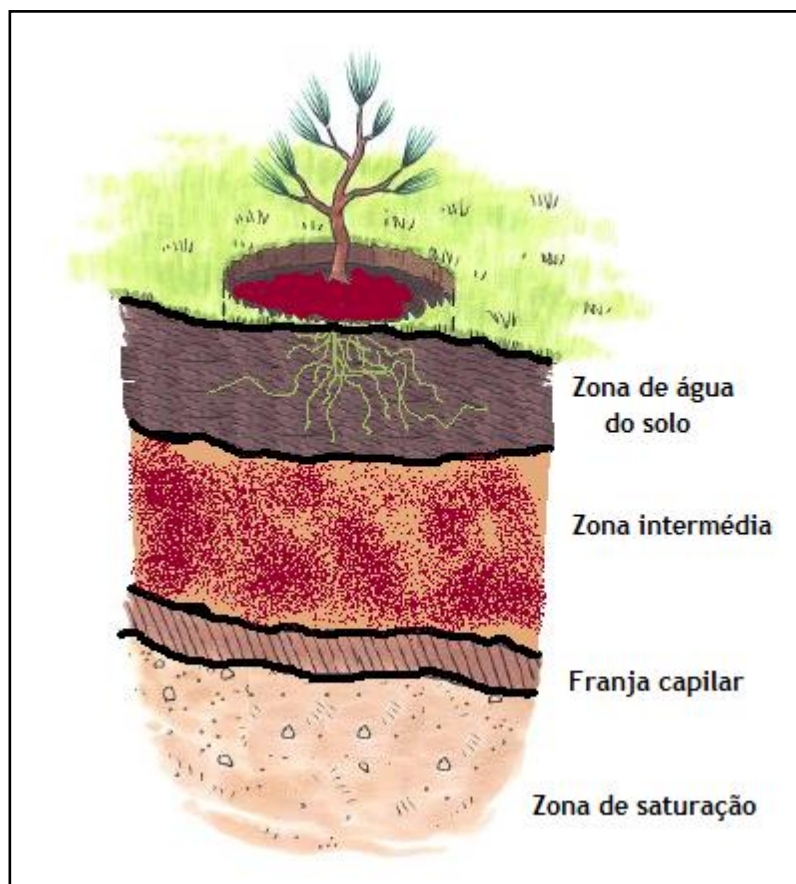


Figura 3.4 - Classificação das camadas de solo onde circula a água infiltrada (Enes, 2011).

A zona de água do solo corresponde à zona entre a superfície do solo e a profundidade máxima em que é possível a água ser evaporada ou transpirada pelas plantas. A espessura da camada depende da profundidade das raízes das plantas.

A zona intermédia pode ter algumas dezenas de metros. A quantidade de água nesta camada depende da capacidade de retenção do solo por forças de atração molecular. A quantidade de água retida nesta zona pode ser superior caso seja atravessada por água em movimento.

Na franja capilar, a água mantém-se por capilaridade, onde os vazios possuem um teor de água decrescente conforme a altitude, sendo que na base se encontram completamente preenchidos por água.

A zona de saturação é onde os vazios do solo estão preenchidos por água e onde a água infiltrada se insere na circulação subterrânea, permitindo a recarga dos aquíferos. As águas subterrâneas nesta zona de saturação podem sofrer um processo de renovação que pode atingir um período extenso, ou não, de entre 2 semanas a 10000 anos, dependendo da permeabilidade do reservatório ou da profundidade a que se encontra.

### **3.3.2 Classificação das águas subterrâneas**

As águas subterrâneas, segundo Ferreira Gomes (2011) subdividem-se em águas de nascente, águas minerais naturais e águas comuns. Todas estas vertentes de águas subterrâneas têm as suas próprias legislações. Ferreira Gomes (2011) designa as águas de nascente e as águas minerais como águas nobres, podendo estas constituir dois grandes grupos, as águas de mesa e as águas usadas em termalismo, como se pode observar na Figura 3.5.

As águas comuns poderão ter várias aplicações sendo as principais a agricultura, a indústria, consumo humano ou lazer.

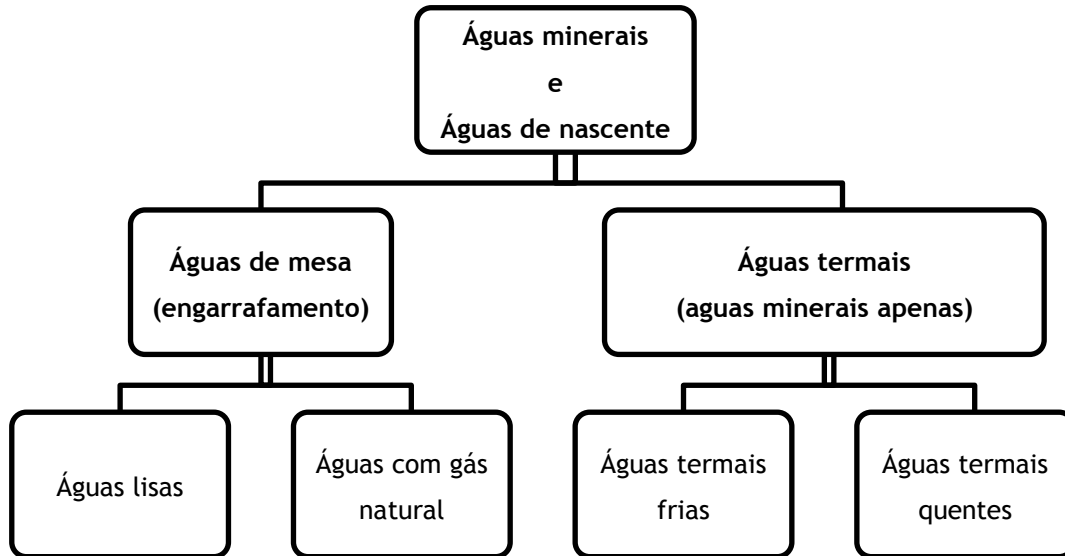


Figura 3.5 - Classificação das águas nobres (adaptado de Ferreira Gomes, 2011).

As águas minerais são do domínio público do estado português. São águas que podem ser utilizadas para engarrafamento ou termalismo, sempre dependendo das suas características físico-químicas e propriedades terapêuticas. Este tipo de águas subterrâneas traduzem-se por serem águas bacteriologicamente próprias de circulação subterrânea, com parâmetros físico-químicos estáveis na sua origem, inseridos num intervalo de flutuações naturais, dos quais podem resultar propriedades benéficas para a saúde, bem como para fins terapêuticos.

As águas de nascente são de domínio particular sendo águas de circulação subterrânea e com propriedades físico-químicas próprias para consumo humano.

### 3.3.3 Qualidade das águas subterrâneas

As águas subterrâneas, como é de todo expectável, possuem características que revelam o meio no qual circulam. Conforme as suas características, as águas têm diferentes utilidades, pelo que se torna importante saber o seu percurso nas diferentes formações geológicas, a velocidade a que percorre nessas formações geológicas, bem como a direção deste fluxo.

Dependendo dos vários tipos de litologia que as águas subterrâneas atravessam, a sua composição química vai sofrendo uma evolução, sendo o seu resultado final uma combinação de todas as características desde que se infiltra no solo. As substâncias dissolvidas na água vão aumentando conforme esta vai circulando no subsolo. A temperatura e o tempo de residência no subsolo são também fatores que influenciam a composição das águas.

À superfície, devido à fotossíntese, os sais contidos na água podem ser reduzidos e os gases que existem na atmosfera podem ser empurrados para o solo com a ação da chuva, reduzindo assim a qualidade das águas.

A concentração de determinados sais dissolvidos na água depende de diversos fatores como a existência desses mesmos sais nas rochas e solos por onde a água circula e da sequência do contato dos mesmos com a água, da solubilidade dos minerais, da capacidade de adsorção e troca iônica e a cinética destes processos e também pela ação humana, que leva a que pequenas quantidades evoluam para concentrações anormais desses sais (Melo, 2011).

Quando as águas circulam em rochas ígneas ou metamórficas, a quantidade de sais dissolvidos é em quantidades baixas, sendo as águas geralmente consideradas de boa qualidade. Para o caso de rochas sedimentares a quantidade de sais dissolvidos é mais elevada, mas as águas continuam com uma boa qualidade.

Para o caso dos arenitos e dos calcários, a quantidade de sais dissolvidos nas águas é alta, encontrando-se geralmente sódio para os arenitos e carbonatos ou magnésio para o caso dos calcários.

Para efetuar uma boa avaliação às águas subterrâneas existem as análises físico-químicas e as análises bacteriológicas. Estas são feitas a amostras de águas recolhidas dos locais onde se pensa ter havido contaminação, ou podem apenas servir para prevenção e conhecimento do estado da água.

Para este estudo serão discutidos apenas os parâmetros físico-químicos, mas deveriam ainda ser feitas análises bacteriológicas à água, fundamentais para evitar potenciais problemas para a saúde pública.

### **3.3.4 Contexto legal das águas subterrâneas**

Devido à sua importância dinamizadora de sociedades e economias ao nível planetário, as águas subterrâneas precisam de ser legisladas. O que se pretende focar neste subcapítulo são as diferentes leis nacionais a respeito da regulação e proteção das águas subterrâneas. Estas leis têm-se multiplicado ao longo dos anos conforme se foi tendo a perceção das dimensões da sua problemática.

As águas subterrâneas fazem funcionar a sociedade ao nível dos setores da indústria, agricultura, bem como para o consumo próprio do ser humano, mas nunca é demais ressaltar que são um recurso natural finito.

A Lei da Água, Decreto-Lei 58/2005 de 29 de Dezembro (DL, 2005b), veio transpor para a ordem jurídica nacional, a Diretiva Quadro da Água, Diretiva 2000/60/CE de 23 de Outubro (DQA, 2000), que tem por objetivo a criação de um plano de proteção das águas de superfície, de transição, costeiras ou subterrâneas. Esta diretiva estipula que até 2015 deverá ser alcançado o patamar de “bom estado” das águas europeias tal como assegurar a sua utilização de forma sustentável em toda a Europa.

Assim sendo, todos os instrumentos legais em vigor após DL (2005b) têm origem na Lei da Água, que estabelece o enquadramento da gestão das águas superficiais e das águas subterrâneas, no sentido de promover uma utilização sustentável dos recursos hídricos, de condicionar a degradação dos ecossistemas aquáticos e do agravamento da poluição das águas subterrâneas e de tomar medidas para contrariar estes problemas.

O Decreto-Lei 77/2006 de 30 de Março (DL, 2006<sup>a</sup>) apresenta um conjunto de normas técnicas e de carácter transitório, onde no caso específico das águas subterrâneas se refere à sua caracterização, à avaliação das pressões e do seu impacte, ao estado das massas de água subterrânea e ainda à sua monitorização.

O Decreto-Lei 208/2008 (DL, 2008b) surge para a avaliação das águas subterrâneas. Este vem transpor a Diretiva das Águas Subterrâneas, Diretiva 2006/118/CE de 12 de Dezembro (DAS, 2006), regulamentando a avaliação do estado químico das águas subterrâneas, definindo critérios e procedimentos, bem como indentificando tendências e pontos de partida para a inversão dessas mesmas tendências.

A Portaria 1115/2009 de 29 de Setembro (Portaria, 2009) regula o estado quantitativo das águas subterrâneas, sobretudo dos meios aquíferos, avaliando tanto a recarga nas massas subterrâneas como a extração.

O Decreto-Lei 382/99 de 22 de Setembro (DL, 1999b) legisla os perímetros de proteção de captações de águas subterrâneas para o abastecimento público, de forma a prevenir, reduzir e controlar a poluição das águas por infiltração de águas pluviais lixiviantes e de águas provenientes de regas e lavagens e ainda potenciar processos naturais de diluição e autodepuração das águas.

As zonas vulneráveis à poluição por nitratos de origem agrícola são mencionadas no Decreto-Lei 235/97 de 3 de Setembro (DL, 1997) e ainda no Decreto-Lei 68/99 de 11 de Março (DL, 1999a), propondo-se a redução da poluição por estes agentes químicos e ainda evitar a sua propagação.

O Decreto-Lei 166/2008 (DL, 2008a) refere as áreas de proteção e recarga dos aquíferos, no estabelecimento da reserva ecológica nacional (REN), que visa, entre outros, proteger os recursos naturais da água e salvaguardar os sistemas e processos biofísicos associados ao litoral e ao ciclo hidrológico terrestre e ainda prevenir e reduzir os efeitos da degradação da recarga de aquíferos.

O Decreto-Lei 54/2005 de 15 de Novembro (DL, 2005a) regula a titularidade dos recursos hídricos e o Decreto-Lei 226-A/2007 de 31 de Maio (DL, 2007a) estabelece o regime de utilização dos recursos hídricos, tendo este sido afastado quanto aos títulos de utilização de recursos hídricos pelo Decreto-Lei 245/2009 de 22 de Setembro (DL, 2009).

O quadro regulamentar apropriado para as águas nobres baseia-se no Decreto-Lei 90/90 (DL, 1990a) que disciplina o regime geral da revelação e aproveitamento dos recursos geológicos, incluindo as águas minerais e os recursos geotérmicos, o Decreto-Lei 84/90 (DL 1990b), que aprova o regulamento de exploração das águas de nascentes, o Decreto-Lei 86/90 (DL, 1990c) que aprova o regulamento das águas minerais, e ainda o Decreto-Lei 87/90 (DL, 1990d), que aprova o regulamento dos recursos geotérmicos.

### **3.3.5 Tipos de aquíferos e seus parâmetros físicos**

Aquíferos são formações geológicas subterrâneas que armazenam recursos hídricos possuindo permeabilidade suficiente, permitindo que a água circule neles. Um aquífero é um autêntico reservatório de água subterrâneo formado por rochas porosas e permeáveis que retêm a água das chuvas que se infiltram no solo, transmitindo-as, sob um diferencial de pressão hidrostática, abastecendo aos poucos rios e poços artesianos.

É através destes aquíferos que os cursos de águas superficiais (rios, lagos, nascentes, fontes, pântanos e afins) são mantidos estáveis e o excesso de água é evitado através da absorção da água da chuva.

Devido ao facto de este tipo de recursos poder ser uma fonte de água para consumo, os aquíferos exigem cuidados na sua preservação afim de evitar quaisquer tipos de contaminações.

Os aquíferos podem ser classificados de acordo com o seu armazenamento de água, Figura 3.6 ou classificados segundo o tipo de rocha em que armazenam a água.

Assim, de acordo com o o armazenamento de água pode-se ter (SNIRH, 2014):

- **Aquíferos livres ou freáticos** - Estes são reservatórios formados por rochas permeáveis, parcialmente saturados de água, cuja base é formada por uma camada impermeável (por

exemplo argila) ou semipermeável. O topo é limitado por uma superfície livre de água (superfície freática) que se encontra sob pressão atmosférica. O nível de água é determinado pelo regime das chuvas. É o tipo de aquífero mais comum e mais explorado, sendo por estes motivos, o mais suscetível de contaminação.

- **Aquíferos confinados ou artesianos** - Nestes reservatórios, o teto e a base são formados por extratos rochosos impermeáveis. Além disso, ele está completamente saturado de água. A água subterrânea está confinada sob uma pressão maior que a pressão atmosférica. Por este motivo, quando se perfura para efetuar extração de água (um furo artesianos), ela sobe para um nível superior, podendo até jorrar. Neste tipo de aquíferos, a contaminação, quando ocorre, é muito mais lenta e portanto, muito difícil de ser recuperada.
- **Aquíferos semiconfinados** - Nestes aquíferos, a base e o teto são formados por material não totalmente impermeável, permitindo uma circulação de água muito lenta, possibilitando a sua alimentação.

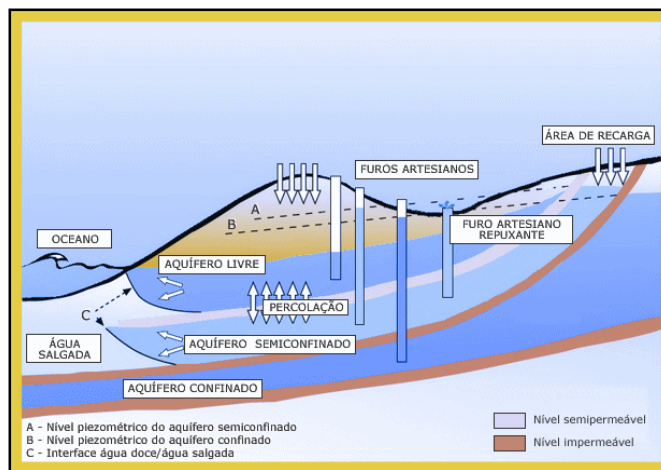


Figura 3.6 - Modelo com os vários tipos de aquífero segundo a sua classificação de acordo com o armazenamento de água (SNIRH, 2014).

Classificando os aquíferos segundo o tipo de rocha, pode-se ter (SNIRH, 2014):

- **Aquíferos porosos** - Estes tipos de aquíferos apresentam poros por onde a água circula. São comumente formados por rochas sedimentares consolidadas ou não consolidadas e solos arenosos. Representam os tipos de aquíferos mais importantes, pelo grande volume de água que armazenam, e pela sua ocorrência em grandes áreas. Ocorrem nas bacias sedimentares e em todas as várzeas onde se acumularam sedimentos arenosos.
- **Aquíferos fraturados ou fissurados** - Os aquíferos fraturados estão associados às rochas ígneas e metamórficas. A capacidade destas rochas em acumular água está relacionada

com a quantidade de fraturas, as suas aberturas e intercomunicação entre elas. Os poços que são perfurados nestas rochas fornecem poucos metros cúbicos de água por hora.

- **Aquíferos cársicos** - São formados em rochas carbonáticas como por exemplo, calcários. Este tipo de aquíferos constituem um tipo peculiar de aquífero fraturado, onde as fraturas, devido à dissolução do carbonato pela água, podem atingir aberturas muito grandes, criando, verdadeiros rios subterrâneos.

### 3.3.6 Porosidade

A porosidade total ou simplesmente a porosidade de um solo ou rocha pode ser definida (Eq. 3.1) como a relação entre o volume de vazios e o volume total:

$$\eta = \frac{V_v}{V} \quad (3.1)$$

onde:

- $\eta$ =porosidade;
- $V_v$ =volume de vazios;
- $V$ =Volume total.

A porosidade, genericamente, depende do tamanho e da densidade relativa dos grãos. Se os grãos são de tamanho variado, a porosidade tende a ser menor do que no caso de grãos uniformes, porque os grãos pequenos ocupam os espaços vazios entre os maiores.

Ao extrair-se água de um aquífero, parte do líquido é retido pelas forças moleculares e apenas parte do volume total armazenado é libertado. Desta forma, na hidrogeologia é necessário definir-se o conceito de porosidade efetiva. Este parâmetro pode ser definido como a quantidade de água fornecida por unidade volumétrica do material, ou seja a razão entre o volume de água efetivamente libertado de uma amostra do maciço poroso saturado e o volume total (Eq.2.2):

$$\eta_e = \frac{V_D}{V} \quad (3.2)$$

Onde:

- $\eta_e$ =porosidade efetiva;
- $V_D$ =volume de água drenado por gravidade;
- $V$ =Volume total.

A porosidade efetiva, da mesma forma que a porosidade total, é uma grandeza adimensional e pode ser expressa em percentagem.

Apresentam-se na tabela 3.1 valores de porosidade total e eficaz para diferentes tipos de maciços segundo Lencastre e Franco (1992).

**Tabela 3.1 - Porosidade total e eficaz para diversos materiais (Lencastre e Franco, 1992).**

Material		Porosidade, $n$ (%)					Porosidade efectiva, $n_e$ (%)			Observações
Tipo	Descrição	Média	Normal		Extraordinária		Média	Máxima	Mínima	
			Máx.	Mín.	Máx.	Mín.				
Rochas eruptivas vulcânicas	Piroclastos e tufos	30	50	10	60	5	5	20	0,0	C, E
	Escórias	25	80	10			20	50	1	C, E
	Pormitos	85	90	50			5	20	0,0	D
	Basaltos compactos	2	5	0,1			1	2	0,1	A
	Basaltos Vacuolares	12	30	5			5	10	1	C
Rochas eruptivas plutónicas	Granito	0,3	4	0,2	9	0,05	0,2	0,5	0,0	A
Rochas sedimentares consolidadas	Argilito	5	15	2	30	0,5	2	5	0,0	E
	Arenito	15	25	3	30	0,5	10	20	0,0	F
	Cré brando	20	50	10			1	5	0,2	B
	Calcário detritico	10	30	1,5			3	10	0,5	B
	Calcário compacto	8	15	0,5	20		0,5	1	0,0	B
	Dolomito	5	10	2			0,5	1	0,0	B
Rochas sedimentares soltas	Aluviões	25	40	20	45	15	15	35	5	E
	Dunas	35	40	30			20	30	10	
	Cascalheira	30	40	25	40	20	25	35	15	
	Loess	45	55	40			5	10	0,1	E
	Areias	35	45	20			25	35	10	
	Depósitos glaciares	25	35	15			15	30	5	
	Siltes	40	50	35			10	20	2	E
Arg. pouco consolidadas	45	60	40	85	30	2	10	0,0	E	
	Solos superficiais	50	60	30			10	20	1	E
Rochas metamórficas		0,5	5	0,2			0,5	2	0,0	A

A —  $n$  e  $n_e$  aumentam com a meteorização  
 B —  $n$  e  $n_e$  aumentam devido a fenómenos de dissolução  
 C —  $n$  e  $n_e$  diminuem com o tempo  
 D —  $n$  pode diminuir e  $n_e$  aumentar com o tempo  
 E —  $n$  é muito variável, dependendo das circunstâncias  
 F — variável segundo o grau de cimentação e solubilidade

### 3.3.7 Permeabilidade

A condutividade hidráulica, ou mais comumente conhecida como permeabilidade representa a capacidade de um fluido atravessar uma rocha sem que altere a sua estrutura interna.

A permeabilidade pode relacionar-se ou não com a porosidade tendo em conta: todas as rochas permeáveis podem ser porosas, mas nem todas as rochas porosas podem ser permeáveis, pois os poros podem não se encontrar interligados ou a sua dimensão reduzida não permitir a passagem do fluido.

Como se pode observar na Figura 3.7, o caso B representa uma boa permeabilidade e uma boa porosidade, enquanto que no caso C se observa exatamente o inverso.

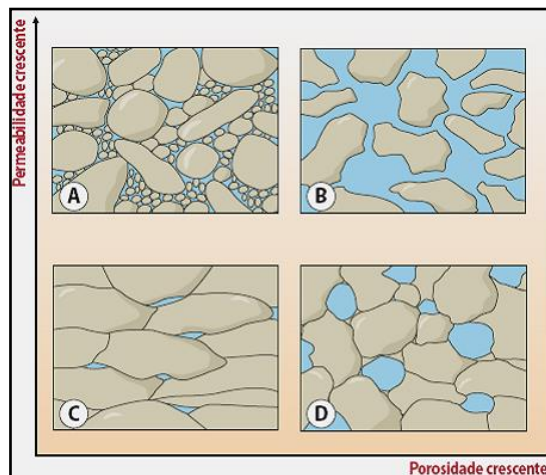


Figura 3.7 - Relação entre a porosidade e a permeabilidade (INETI, 2011).

A permeabilidade depende assim da porosidade, do tamanho, distribuição da forma e do arranjo das partículas, mas também das propriedades do fluido como a viscosidade e o seu peso específico.

Esta, corresponde ao coeficiente de proporcionalidade  $K$ , que se encontra na Lei de Darcy. Este pode ser calculado através de várias formas, seja por equações empíricas, por métodos laboratoriais ou ainda através de ensaio de campo.

$K$  (m/s) representa então a razão entre o caudal e o produto da secção atravessada pelo gradiente hidráulico, sendo dada pela seguinte expressão (Enes, 2011):

$$K = \frac{Q}{A \times i} \quad (3.3)$$

Em que:

- Q - Caudal
- A - Secção atravessada
- i - Gradiente hidráulico

Os materiais soltos são os que na generalidade apresentam melhor permeabilidade, comparados com os materiais consolidados. Isto deve-se à presença de cimentos diminuindo assim a dimensão dos poros, podendo até impedir a comunicação entre eles (INETI, 2011).

Na Tabela 3.2 podem observar-se a classificação das formações hidrogeológicas que tem por base a capacidade de transmissão de água conforme a permeabilidade.

**Tabela 3.2 - Classificação das formações hidrogeológicas em função do coeficiente de permeabilidade (Medeiros, 2004).**

Permeabilidade - k (m/dia)	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	1	$10^1$	$10^3$	$10^4$	$10^6$
Classificação das formações hidrogeológicas	Impermeável		Semipermeável			Pouco permeável		Permeável		Muito permeável	
	Aquicludo		Aquitardo			Aquífero pobre		Aquífero regular a bom		Aquífero excelente	
Tipo de materiais	Argila compacta Xisto Granito		Silte arenoso Silte Argila			Areia fina Areia siltosa Calcário Fracturado		Areia limpa Seixo		Seixo limpo	

### 3.3.8 Redes de fluxo

As redes de fluxo são instrumentos muito úteis porque permitem avaliar a quantidade de água que percola no meio subterrâneo.

Uma rede de fluxo é um gráfico que contém duas famílias de curvas que se interseccionam. Uma família consiste nas linhas de fluxo ( $\Psi$ ) que correspondem aos locais do caminho por onde as partículas de água percolam. A outra família são as linhas equipotenciais ( $\Phi$ ), que passam por pontos em que a pressão de água é a mesma.

Para um aquífero isotrópico o valor da permeabilidade da formação geológica é igual em todas as direções. Neste tipo de aquíferos, o fluxo de líquido é perpendicular às linhas equipotenciais.

Caso o aquífero seja anisotrópico, o fluxo dá-se numa direção oblíqua às linhas equipotenciais, cruzando-as, mas nunca sendo paralelo a estas.

O desenho de uma rede de fluxo é realizado por um processo iterativo. A definição das alturas do fluxo deve ser cuidadosamente desenhado à escala e as linhas de fluxo devem começar e acabar em linhas equipotenciais. Posteriormente devem-se desenhar as restantes linhas equipotenciais, estas sempre fazendo o máximo possível de ângulos retos com as linhas de fluxo e a forma geométrica definida por 2 linhas de fluxo e por 2 linhas equipotenciais consecuintes deve ser um quadrado. Nos locais de fronteira da rede estas formas geométricas, formadas pelas linhas equipotenciais e pelas linhas de fluxo, podem ter 3 ou 5 lados. Na figura 3.8 estão representadas esquematicamente as linhas de fluxo e as linhas equipotenciais geradas de um modo genérico e na Figura 3.9 dá-se a mesma situação mas com a implantação de uma barragem num maciço confinado.

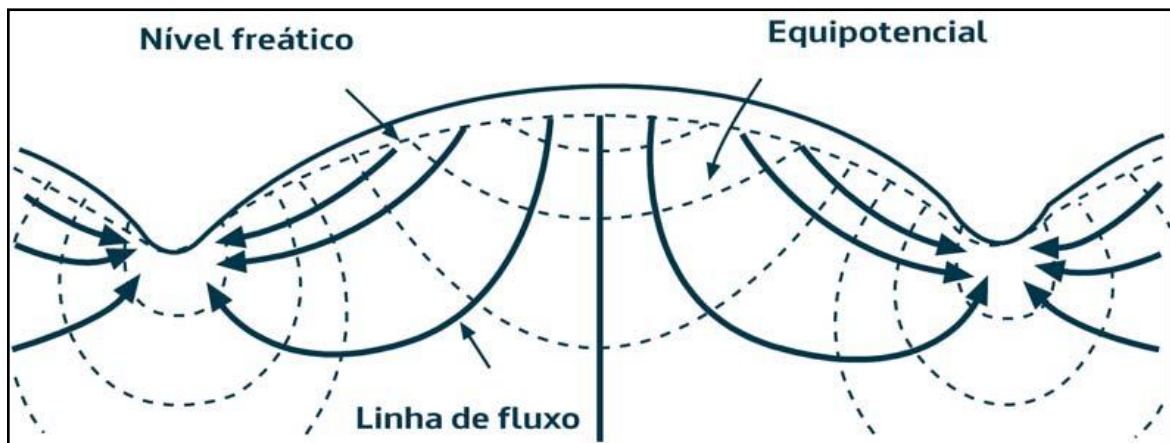


Figura 3.8 - Esquema de linhas de fluxo e equipotenciais em situações de topografia com relativa simetria em meios isotrópicos - linhas de igual carga hidráulica (Ferreira Gomes *et al.* 2012).

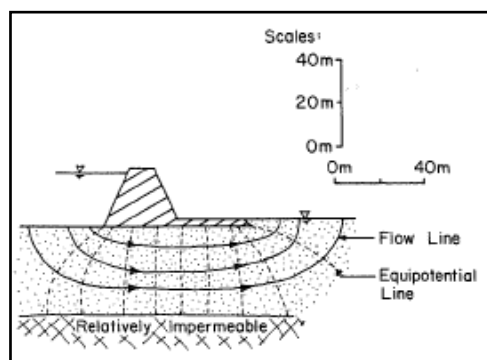


Figura 3.9 - Esquema de linhas de fluxo e equipotenciais geradas após a implantação de uma barragem (Rahn, 1986).

Se o rácio profundidade-largura da bacia aumentar, podem-se desenvolver ainda outros sistemas de fluxo, Figura 3.10. Os sistemas de fluxo regionais, Fetter (1980), têm a zona de recarga na zona de divisão da bacia, e têm como zona de descarga o fundo de um vale.

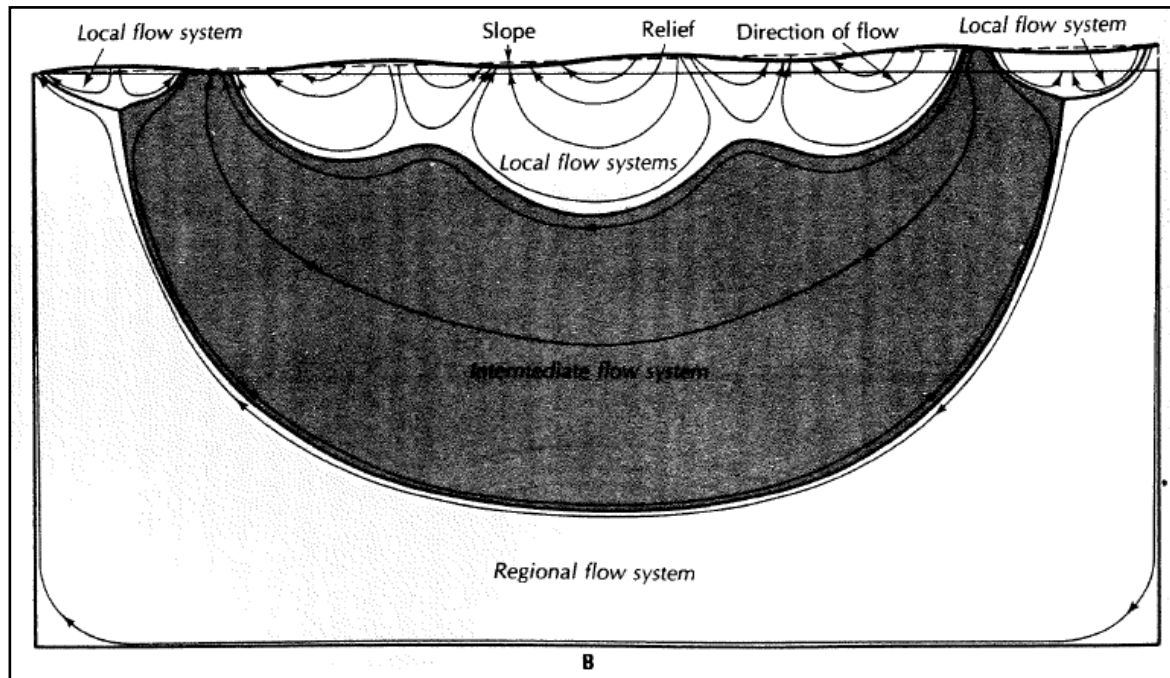


Figura 3.10 - Efeito do aumento da profundidade numa rede de fluxo. Águas superficiais só contêm redes de fluxo locais e águas em profundidade podem conter redes de fluxo locais, intermédias e regionais (Fetter, 1980).

Uma das características de um sistema de fluxo complexo, é o facto de haverem pontos de estagnação. Nestes pontos a intensidade dos vetores da linha de fluxo é a mesma, mas com direções opostas que se anulam uma à outra. A Figura 3.11 ilustra a linha de fluxo após haver um ponto de estagnação. Estes, podem existir em qualquer tipo de maciços, podem eles ainda ser isotrópicos e homogéneos.

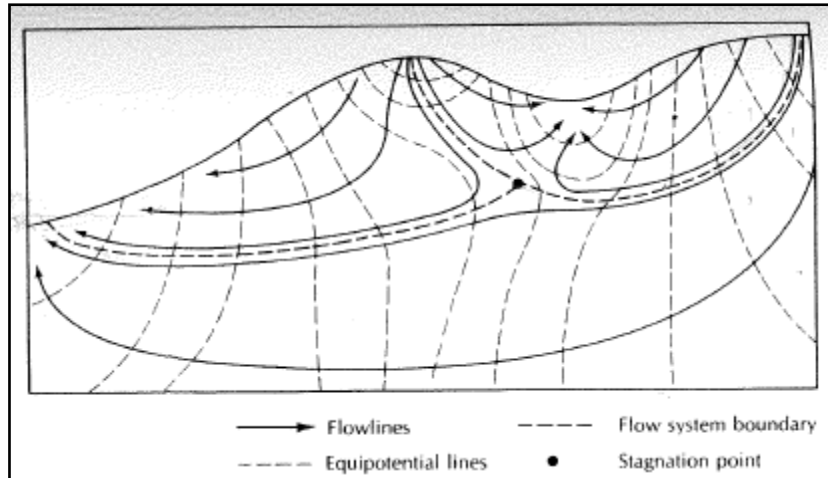


Figura 3.11 - Caminho seguido por uma linha de fluxo num ponto de estagnação (Fetter, 1980).

Assim, uma rede de fluxo completa pode determinar a quantidade de água que flui num dado maciço através da seguinte fórmula (a partir de Rahn, 1986):

$$Q = k \times \emptyset \times H \times L \quad (3.4)$$

em que:

- Q - volume total de fluxo;
- k - Permeabilidade;
- $\emptyset$  -  $n_f/n_p$
- H - diferença de altura total da água no comprimento total das linhas de fluxo.

### 3.4. Estudos Sobre a Temática em Análise de Outras Regiões

Em Portugal, as águas subterrâneas assumem um papel de grande importância no âmbito sócio-económico, fazendo mover os mais variados e importantes setores tais como o abastecimento da população (seja ele através de uma rede de distribuição pública ou por captações privadas), o setor agrícola e o setor industrial.

O território nacional tem um vasto número de cursos de água e é composto por diferentes tipos de formações geológicas, que permitem o armazenamento e a circulação de água subterrânea.

As ações geológicas que ao longo de milhares de anos moldaram o território português estão diretamente ligadas com a distribuição dos recursos hídricos subterrâneos em Portugal Continental. Nas bacias meso-cenozóicas encontram-se aquíferos mais produtivos e com recursos

mais abundantes. Isto deve-se ao facto deste tipo de bacias serem essencialmente formadas por rochas detríticas ou carbonatadas que não foram demasiado afetadas por fenómenos de metamorfismo. O Maciço Antigo que é constituído essencialmente por rochas eruptivas e metassedimentares, dispõe em geral, de poucos recursos, à exceção de algumas partes onde estejam presentes maciços calcários.

A correspondência entre os sistemas de aquíferos (distribuição e características) e as unidades geológicas é a base para o estabelecimento, pelo INAG, de quatro unidades hidrogeológicas, que por sua vez correspondem às quatro unidades morfo-estruturais em que Portugal se encontra dividido. Assim, de acordo com a Figura 3.12 cedida pelo SNIRH (2014) tem-se:

- **Maciço Antigo**, ainda designado também por Maciço Ibérico ou Maciço Hespérico;
- **Orla Mesocenozóica Ocidental** ou Orla Ocidental;
- **Orla Mesocenozóica Meridional** ou Orla Meridional;
- **Bacia Terciária do Tejo-Sado** ou Bacia Tejo-Sado.

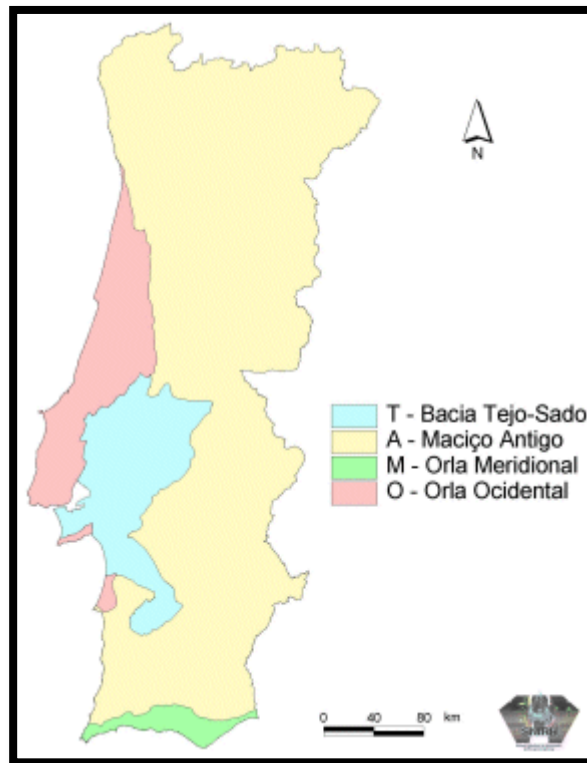


Figura 3.12 - Unidades morfo-estruturais hidrogeológicas que constituem o território nacional (SNIRH, 2014).

No site do SNIRH (2014) pode-se recolher informações importantes sobre as águas comuns, inclusivé o registo de pontos de água subterrânea oficiais (devidamente licenciados). A

informação no site encontra-se sistematizada por ARH/Concelho ou Unidade Hidrogeológica/Sistema de Aquífero. A nível apenas exemplificativo, existem 2 registos para o Concelho da Covilhã patentes na Figura 3.13, Paúl e Verdelhos. Poderiam existir mais pontos de água como se depreende com este trabalho.

The screenshot displays the SNIRH website interface for groundwater data. The main navigation bar includes 'Home > Dados Sintetizados > Recursos Hídricos > Águas Subterrâneas'. The current view is for 'Águas Subterrâneas > Centro > COVILHÃ'. The interface is divided into a map area on the left and a data table on the right. The map shows the geographical context of the water points, with a legend for 'Concelhos', 'Linhas de Água', and 'Pontos de Água'. The data table provides the following information:

Localização	Hidrogeologia	Características	Dados
N.º de Inventário:	245/C51		
Designação:			
Foto:	n/d		
Coordenada M (m):	242 245		
Coordenada P (m):	359 813		
Cota (m):			
Distrito:	CASTELO BRANCO		
Concelho:	COVILHÃ		
Freguesia:	PAUL		
Local:			
ARH:	ARH-TEJO		
Bacia Hidrográfica:	TEJO		
Unidade Hidrogeológica:	MACIÇO ANTIGO		
Sistema Aquífero:	A0 - MACIÇO ANTIGO INDIFFERENCIADO		
Tipo de Ponto de Água:	POÇO		

Below the table, there is a button 'Trocar para o mapa do Sistema Aquífero' and a list of 'Concelhos da ARH Centro': AGUIAR DA BEIRA, ALBERGARIA-A-VELHA, ALMEIDA, ALVAIÁZERE, ANADIA, ANSIÃO. At the bottom left, there is a filter for 'Pontos de Água' with options like 'Abastecimento Público', 'Rede Quantidade', 'Rede Operacional', 'Com Informação', 'Rede Qualidade', and 'Validados'. The current view shows 2 points: 224/C36 (Poço) and 245/C51 (Poço).

Figura 3.13 - Elementos dos pontos de água comum inventariados no site do SNIRH para o Concelho da Covilhã (a partir de SNIRH, 2014).

Toda esta informação está associada às subunidades hidrogeológicas do país, sendo importante mencionar os vários agrupamentos atuais dos diferentes sistemas de aquíferos no âmbito das 4 unidades morfo-estruturais hidrogeológicas que constituem o território português. Nestas unidades estão identificados 58 sistemas de aquíferos de 3 tipos: poroso, fissurado e cársico, que condicionam o armazenamento e a transmissão da água subterrânea. Os referidos sistemas de aquíferos considerados de águas comuns apresentam-se nas Figuras 3.14 a 3.17.

Relativamente ao Maciço Antigo, o site do SNIRH individualiza 10 sistemas de aquíferos, Figura 3.14, no qual o suporte litológico é constituído essencialmente por calcários metamorfizados, quartzitos e gabros paleozóicos, depósitos de idade terciária, terraços e cascalheiras que ocupam depressões instaladas no soco antigo.

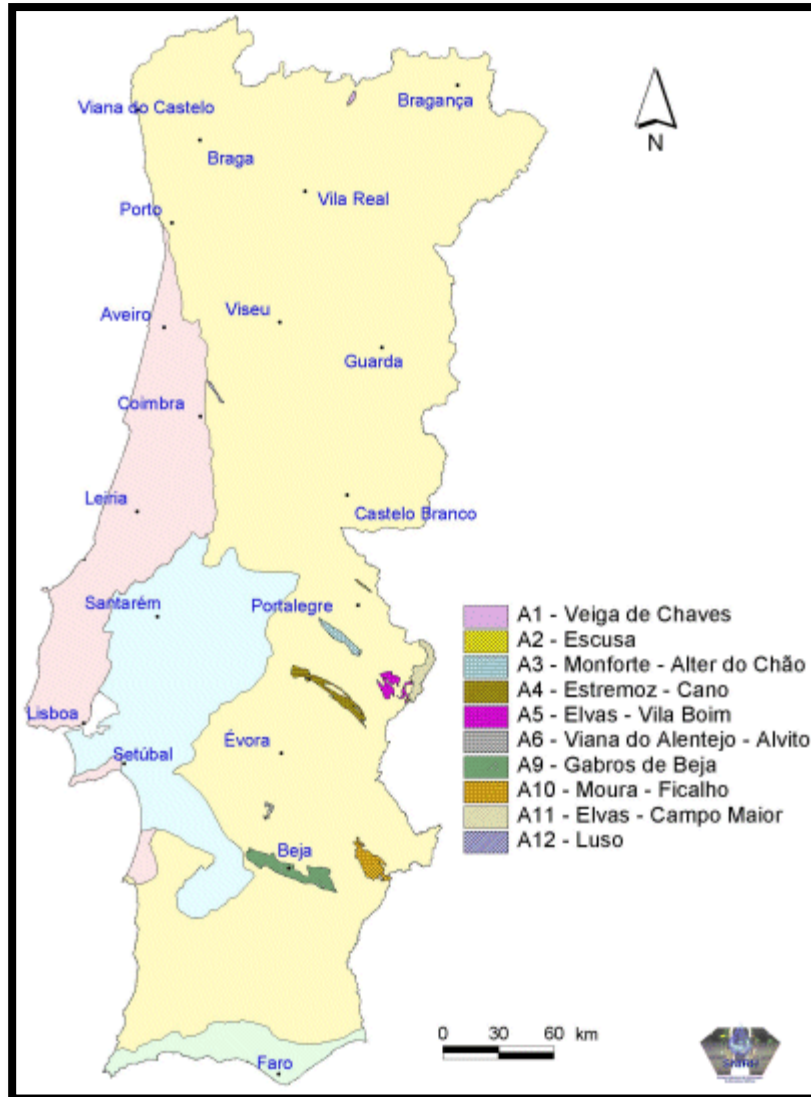


Figura 3.14 - Sistemas de aquíferos de águas comuns identificados no Maciço Antigo (SNIRH, 2014).

Na Orla Ocidental existem 27 diferentes sistemas de aquíferos, Figura 3.15, em que as principais formações são constituídas por rochas detríticas terciárias e quaternárias (areias, areias de duna, terraços, aluviões, etc.), arenitos, calcários cretácicos e calcários do Jurássico.

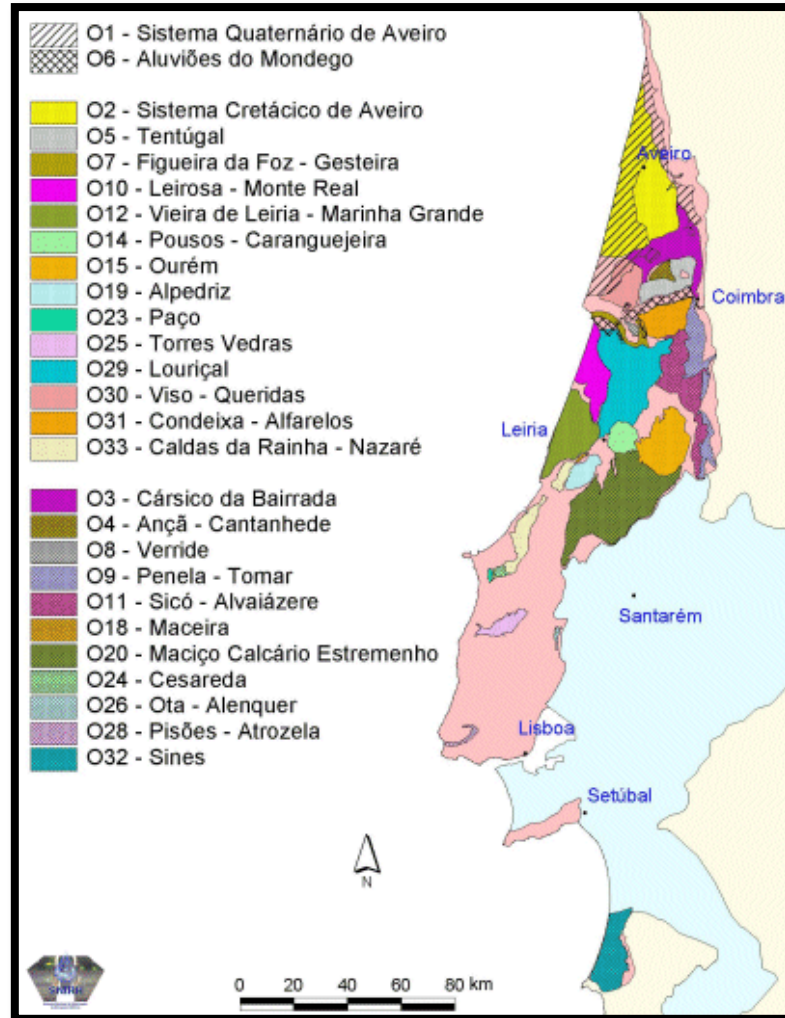


Figura 3.15 - Sistemas de aquíferos de águas comuns identificadas na Orla Ocidental (SNIRH, 2014).

Na Orla Meridional, existem 17 sistemas de aquíferos, Figura 3.16 sendo constituídos principalmente por formações plioquaternárias (areias e cascalheiras continentais, areias de duna, etc.), formações miocénicas, formações detríticas e carbonatadas cretácicas e, por último, formações calcárias e dolomíticas do Jurássico.

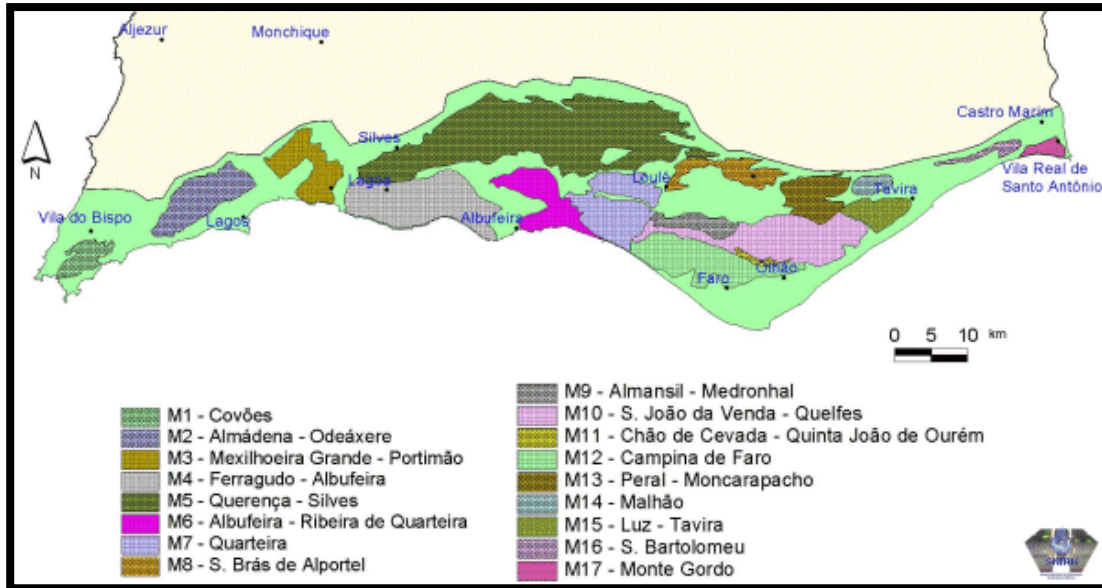


Figura 3.16 - Sistemas de aquíferos de águas comuns identificadas na Orla Meridional (SNIRH, 2014).

Por fim, na Bacia do Tejo-Sado, os sistemas de aquíferos definidos são 4, Figura 3.17, e as formações mais produtivas e que constituem o suporte destes sistemas são em formações quaternárias (aluviões e terraços) e formações terciárias sendo estas fundamentalmente pliocénicas e miocénicas (Grés de Ota, Calcários de Almoster, Série greso-calcária), entre outras.

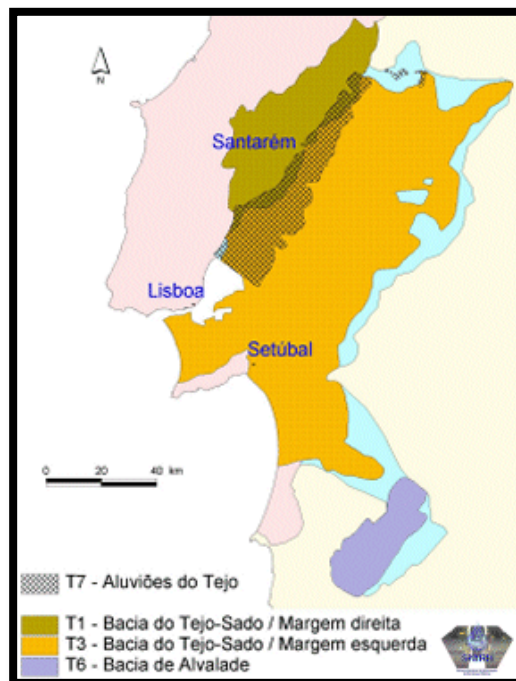


Figura 3.17 - Sistemas de aquíferos de águas comuns identificadas nas Bacias Terciárias do Tejo e do Sado (SNIRH, 2014).

Denota-se ainda que os aquíferos porosos são os mais representativos e mais produtivos a nível geográfico com caudais médios de 13,3 L/s. Estes têm uma área total de cerca de 18 mil km<sup>2</sup>. Metade destes sistemas de aquíferos dispõem-se em mono-camadas, em regime livre ou confinado e a outra metade funciona em sistema de multi-camadas, com algumas conexões hidráulicas entre as camadas (Medeiros, 2004).

Para demonstrar a importância das águas subterrâneas para consumo humano, refere-se que segundo o inquérito realizado em 2001/2002 pela Associação Portuguesa de Drenagem e Distribuidores de Água (APDA) a componente de água subterrânea que foi utilizada para abastecimento corresponde a 44% do total de água consumida (Ribeiro, 2004).

Nas Figuras 3.18 e 3.19 demonstra-se os consumos de água subterrânea por concelho e por distrito, respetivamente, em Portugal Continental. Na sua maioria esta água é aproveitada para abastecimento público nos distritos de Setúbal, Leiria, Santarém, Coimbra e Aveiro. Nestas regiões os aquíferos têm uma grande produtividade, casos de aquíferos integrantes das Unidades Hidrogeológicas da Bacia do Tejo e do Sado e a Orla Ocidental.

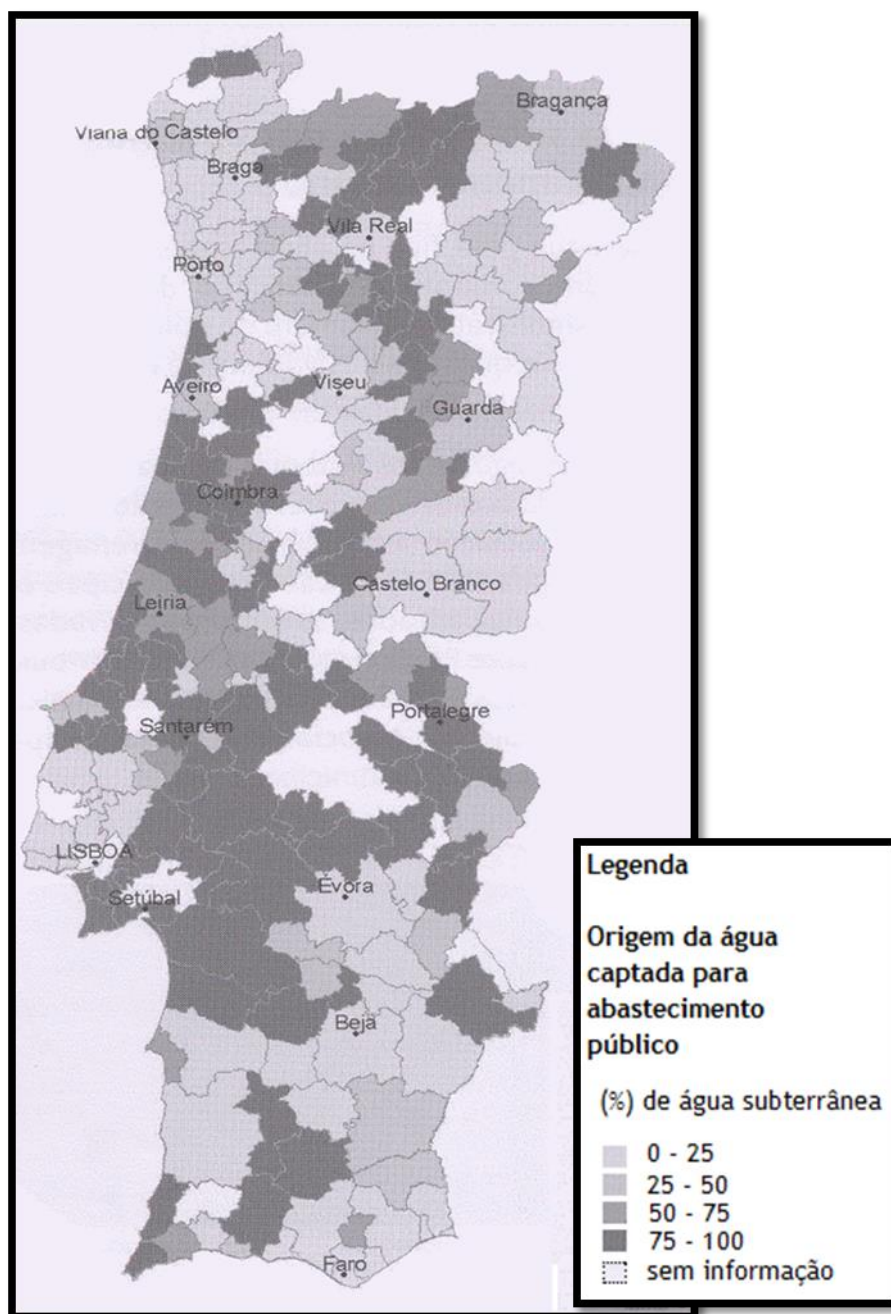


Figura 3.18 - Consumo de água subterrânea por concelho, em Portugal Continental (APDA, 2002).

Existem ainda alguns concelhos do interior, que apesar de se encontrarem no Maciço Antigo (caracterizado pela ocorrência reduzida de sistemas de aquíferos), apresentam um consumo superior a 50% de água subterrânea. São os casos de Vila Real, Évora, Viseu e Portalegre.

Há também casos interessantes como é o caso da Veiga de Chaves que abastece na sua íntegra a cidade de Chaves e o sistema de aquífero de Escusa que é a principal fonte de abastecimento de Castelo de Vide, Portalegre e Marvão.

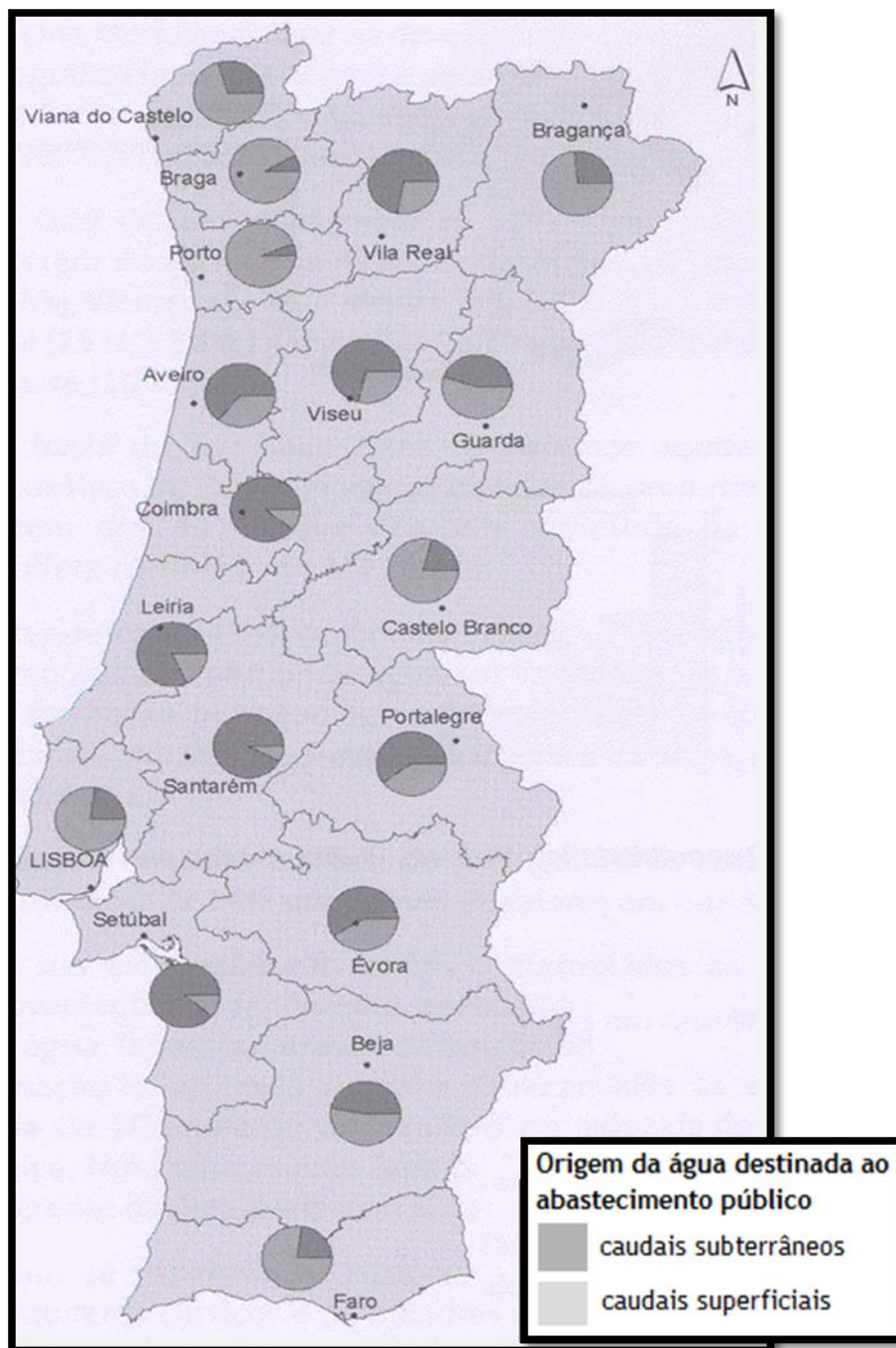


Figura 3.19 - Consumos de água subterrânea por distrito, em Portugal Continental (APDA, 2002).

### 3.5. Estudos da Serra da Estrela

Ao longo dos últimos anos têm-se realizado alguns estudos acerca da qualidade e quantidade das águas superficiais e subterrâneas na zona da Serra da Estrela, bem como a ocorrência destas no maciço granítico. Era bom que existissem mais trabalhos e publicações devido à importância deste recurso vital para os mais variados setores da sociedade. Alguns destes trabalhos merecem referência devido ao seu enquadramento com o presente documento. Assim, Ferreira Gomes *et al.* (1997) conclui que as águas termais da Serra da Estrela, mais propriamente em Unhais da Serra, têm grandes presenças de bicarbonato, sódio, carbonatos flúor e sulfato. Ferreira Gomes *et al.* (2011) apresenta alguns elementos que orientam uma pesquisa geotérmica, de modo a implantar várias sondagens mecânicas na zona da Nave de Santo António, afirmando ainda que águas termais neste local viriam potenciar e fazer afirmar o turismo da Serra da Estrela.

Espinha Marques *et al.* (2006) caracteriza a composição e o trajeto do escoamento das águas geotermais existentes na zona de Manteigas-Nave de Santo António-Torre, usando informação geomorfológica, geológica, climática, hidroquímica, estrutural e isotópica para desenvolver um modelo conceptual de circulação do sistema geotermal. Neste trabalho descreve ainda a origem dos fluidos, os locais de potencial recarga e a circulação da água nos reservatórios de granito fraturado.

Marques *et al.* (2008) descreve que as águas mais comuns na Serra da Estrela são compostas por NaCl e por  $\text{HCO}_3\text{Na}$ , tendo um baixo valor de TDS, e considerando-as boas águas para as recargas. Conclui ainda que o NaCl existente nestas águas se deve principalmente ao uso de sal para limpar a neve das estradas durante o inverno.

Em maior detalhe foi analisado Mendes (2006) que refere a importância das águas subterrâneas, a sua recarga e capacidade de armazenamento da Serra da Estrela para o abastecimento às populações a jusante, bem como os fatores que podem afetar as suas qualidades. Realizou ainda estudos para estimar as recargas de água natural nestas formações geológicas. Recolheu também dados químicos das águas das chuvas e das águas subterrâneas. Mendes (2006) é de todo importante para a elaboração desta dissertação devido à grande semelhança entre as metodologias utilizadas bem como os parâmetros encontrados, localizações bem próximas, sendo a geologia dos locais também a mesma, bem como as águas das chuvas terem as mesmas características. No trabalho daquele autor foi esboçado um corte hidrogeológico da região, Figura 3.20, mostrando que a água infiltrada tende a ressurgir em locais relativamente próximos, mas é de notar que parte do fluxo subterrâneo pode evoluir para grandes profundidades ao longo de extensas falhas, recarregando aquíferos profundos. Os resultados do balanço hidrológico sequencial mensal obtidos neste trabalho estão ainda expressos graficamente na Figura 3.21. A

nível de resultados deste balanço hidrológico, foi obtido um superavit em período húmido de 1148 mm.

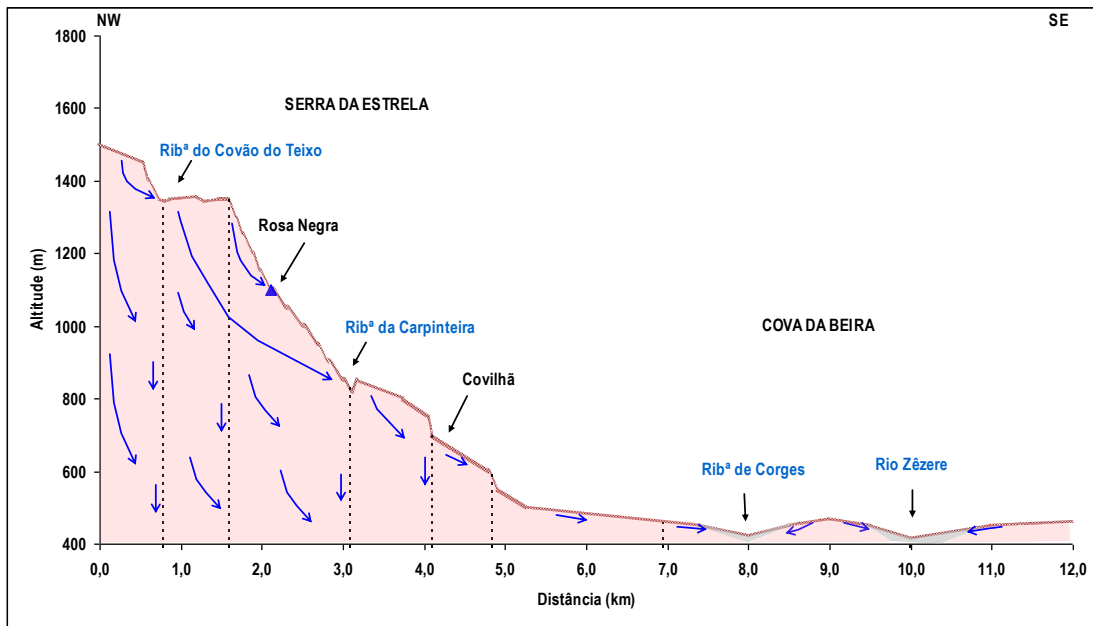


Figura 3.20 - Esboço hidrogeológico em corte da região em estudo da zona das captações de água subterrânea da cidade da Covilhã (Mendes, 2006).

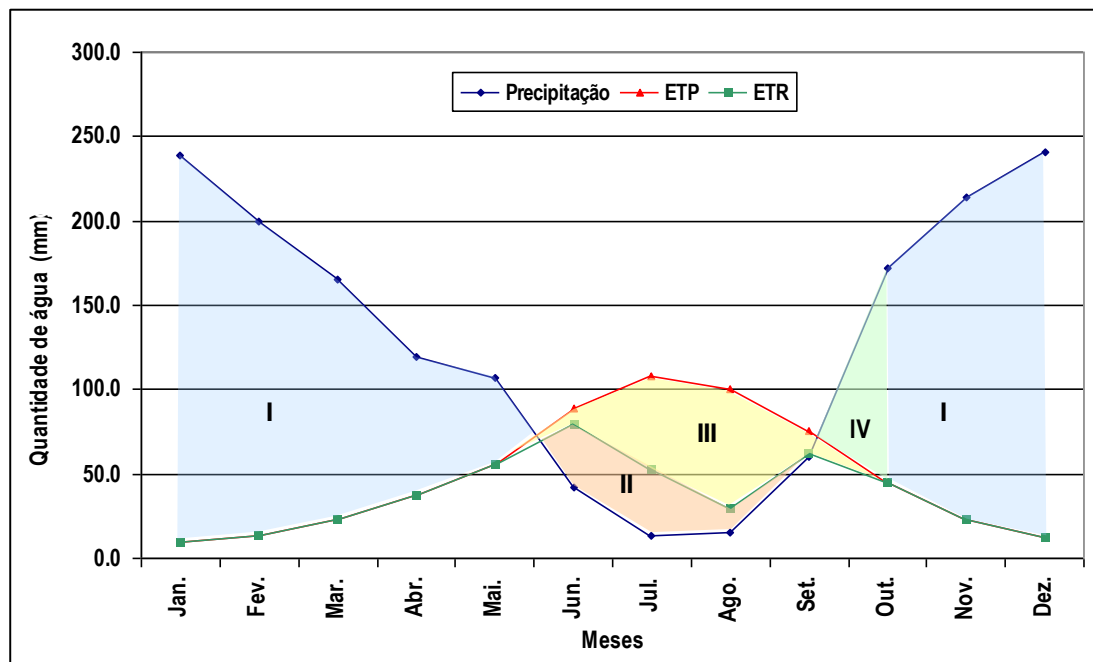


Figura 3.21 - Expressão gráfica do balanço hidrológico para a zona em estudo. I-Excedentes; II-Consumo das reservas; III-Défice hídrico; IV-Restituição das reservas (Mendes, 2006).

Mendes (2006) fez ainda um trabalho exaustivo de inventário de pontos de água e respetivos registos de parâmetros físico-químicos ao longo de 12 meses seguidos, merecendo referência os resultados principais apresentados nas Figuras 3.22 a 3.25, organizados por setores devido ao número considerável de pontos de água e a sua organização administrativa, pois constituem um grupo de 74 captações pertencentes ao sistema de abastecimento da empresa municipal Águas da Covilhã. Daqueles resultados salienta-se que os caudais genericamente são maiores em Abril/maio e Dezembro/Janeiro (Figura 3.22), e isso é mais patente quando se observa a situação da evolução do somatório dos caudais de todos os pontos, ao longo do ano. Os valores de maiores caudais são uma consequência das maiores precipitações que genericamente ocorrem em maior quantidade em Abril e Dezembro.

Relativamente à condutividade elétrica, Figura 3.23, denota-se um pico no mês de Abril em muitas das captações. Os valores deste parâmetro físico-químico variam durante todo o ano entre os 10 e os 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , excetuando-se uma captação no Teixoso que regista valores entre os 120 e os 150  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . O autor despreza esta última ocorrência, concluindo assim que as águas são muito pouco mineralizadas.

Já para os valores de pH, estes tendem a variar entre 4 e 7, não se verificando nenhuma tendência significativa. O carácter ácido destas águas pode indicar a interação que advém da interação com o maciço granítico.

O Potencial Redox (Eh) varia maioritariamente entre 0 e 100 mV, concluindo ainda que não se verificam grandes tendências significativas ao longo do ano.

Por fim, é de todo importante referir que o Instituto Geológico e Mineiro, (IGM 1998), aborda as principais características das termas de Manteigas e de Unhais da Serra de entre as 52 ocorrências registadas. Dos dados fornecidos salientam-se as temperaturas destas termas de 48°C e 37°C, respetivamente, devido ao facto de serem aquíferos muito profundos. A Serra da Estrela tem pontualmente águas muito diferentes, sendo estas 2 termas bons casos disso. Segundo o IGM o pH nas termas de Manteigas ronda os 9,20 e nas termas de Unhais da Serra tem valores próximos de 8,70. A condutividade elétrica para estas águas tem os valores de 232  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para Manteigas e de 302  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para Unhais da Serra.

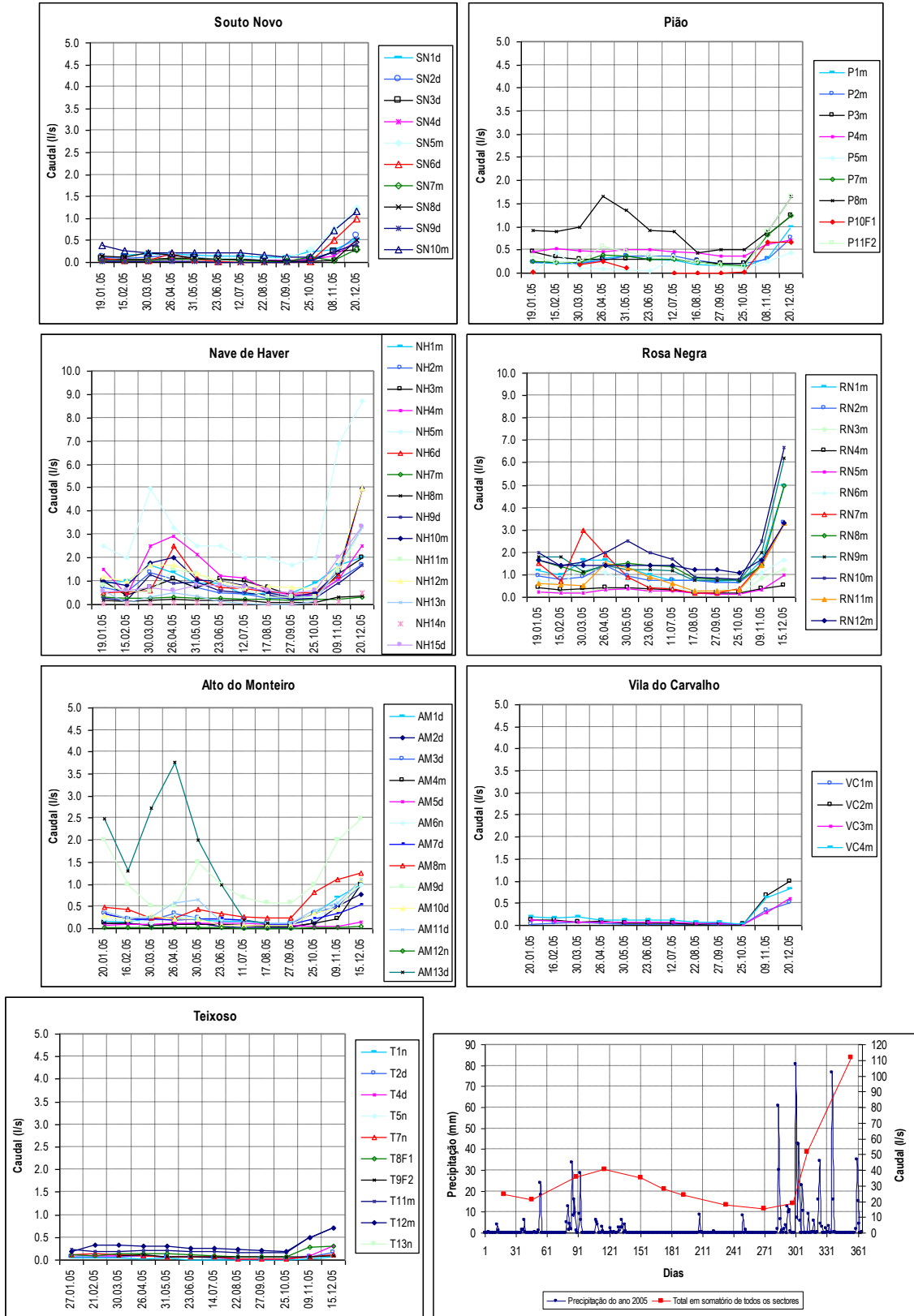


Figura 3.22 - Variação ao longo do ano de 2005 dos valores de caudal das captações e do somatório do caudal monitorizado dos vários sectores em estudo - ADC, Covilhã (Mendes, 2006).

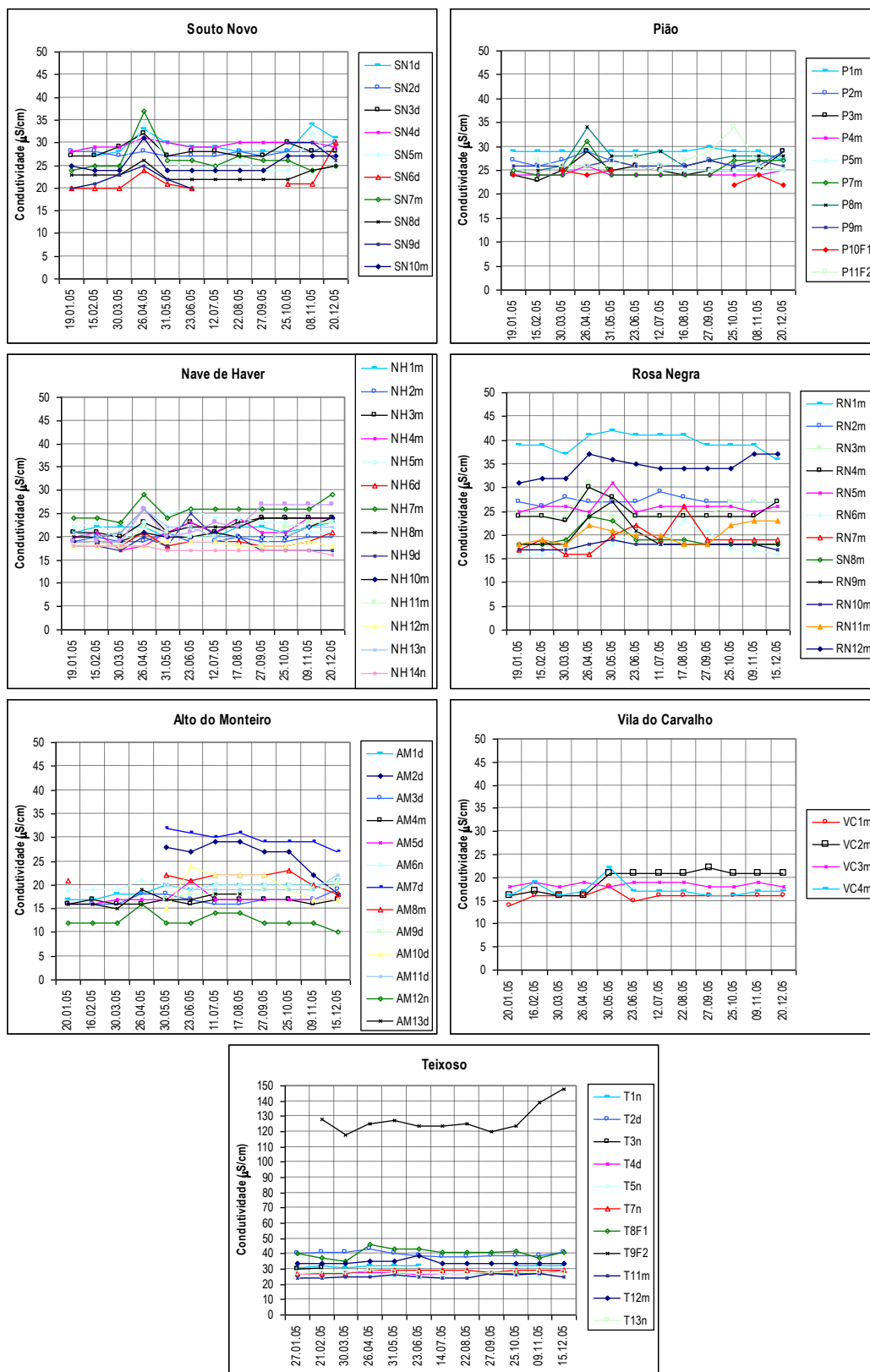


Figura 3.23 - Variação ao longo do ano de 2005 dos valores de condutividade elétrica da água das captações dos vários setores em estudo - ADC, Covilhã (Mendes, 2006).

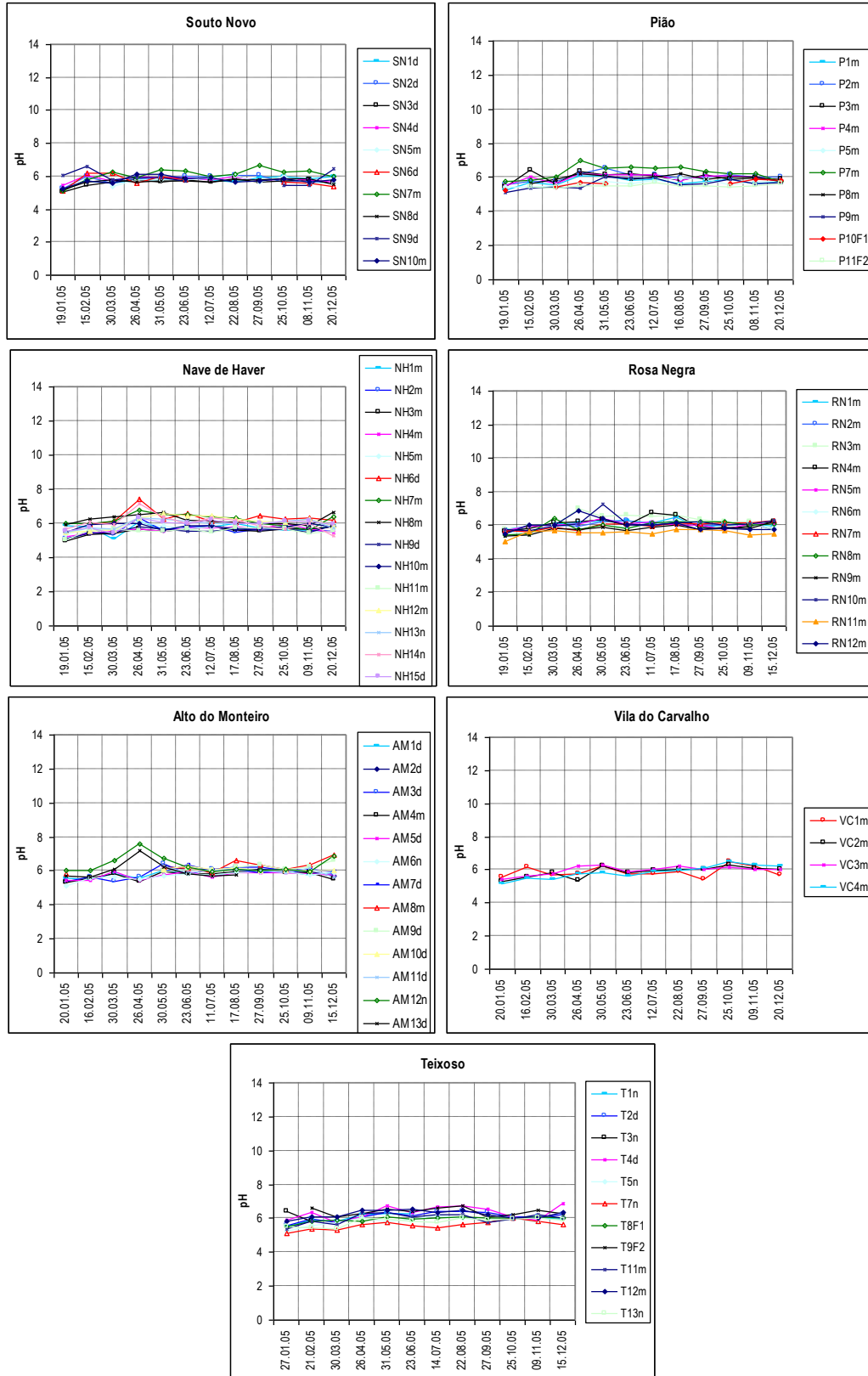


Figura 3.24 - Variação ao longo do ano de 2005 dos valores de pH da água das captações dos vários setores em estudo - ADC, Covilhã (Mendes, 2006).



Figura 3.25 - Variação ao longo do ano de 2005 dos valores de Eh da água das captações dos vários setores em estudo - ADC, Covilhã (Mendes, 2006).

# Capítulo 4

## CASO DE ESTUDO - RIBEIRA DAS CORTES

### 4.1. Enquadramento Geográfico

A zona em estudo está situada na vertente oriental da Serra da Estrela, ocupando uma área de cerca de 25 km<sup>2</sup>. A Ribeira das Cortes é um afluente do Rio Zêzere e insere-se no Concelho da Covilhã, distrito de Castelo Branco, região da Beira Baixa, figura 4.1. A bacia envolve ainda a freguesia de Cortes do Meio no Concelho da Covilhã, Figura 4.2.



Figura 4.1 - Localização da zona de estudo no Concelho da Covilhã.

O Concelho da Covilhã é limitado a norte pelos municípios de Manteigas e Seia, a nordeste pela Guarda, a este por Belmonte, a sul pelo Fundão e a oeste por Arganil e Pampilhosa da Serra. O concelho tem 560 km<sup>2</sup> e 50 mil habitantes em período letivo universitário.

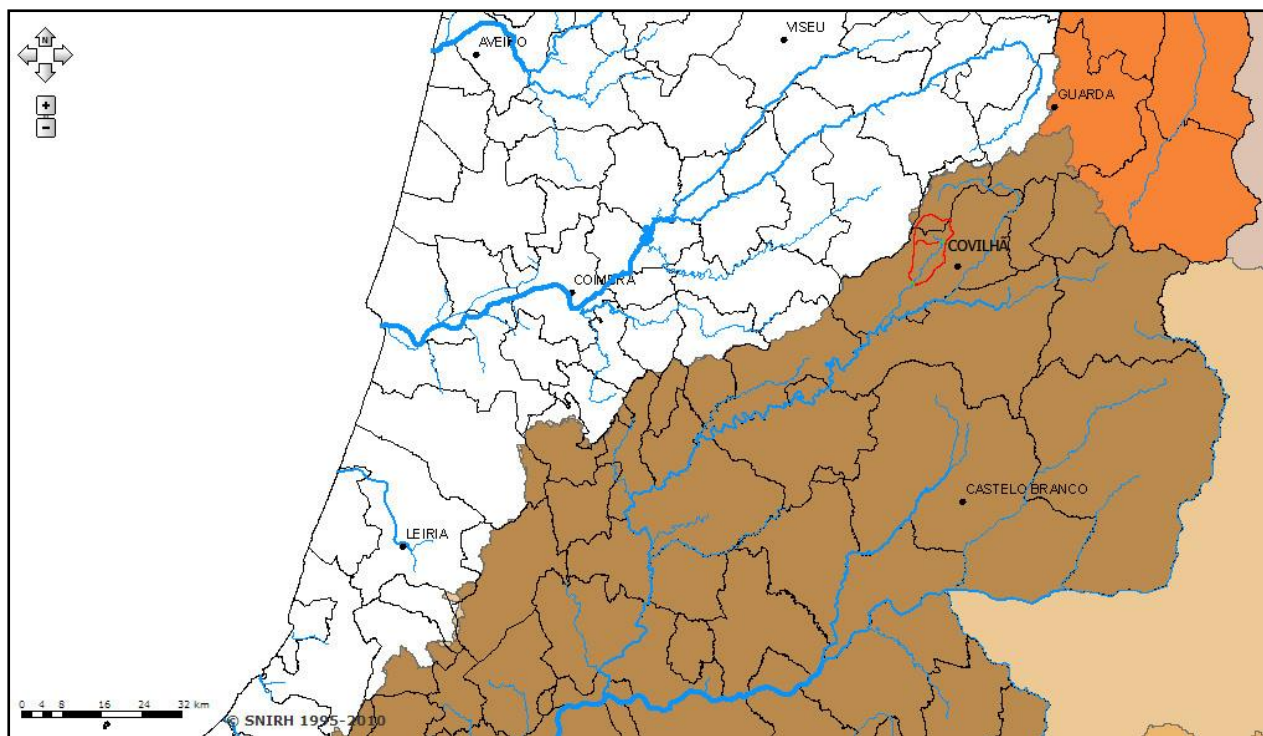


Figura 4.2 - Localização geográfica da área em estudo (adaptado de SNIRH, 2014).

## 4.2. Elementos Geomorfológicos

A Serra da Estrela encontra-se na Zona Centro Ibérica (ZCI) do Maciço Hespérico (Ribeiro *et al.*, 1979), integrando a Cordilheira Central Ibérica, constituindo o setor mais oriental do alinhamento montanhoso de direção SW-NE existente entre a Guarda e a Serra da Lousã ao longo de cerca de 115 km.

Nesta região existem 2 unidades geomorfológicas importantes (Figura 4.3 e 4.4), sendo elas a Serra da Estrela com cotas elevadas que chegam a atingir os 1993 metros e a Cova da Beira sendo esta última um fundo aplanado com altitudes entre os 400 e os 500 metros.

Esta vertente, segundo Cavaleiro (2001), apresenta-se em patamares tectónicos até se atingir a altitude de 1993 metros no Planalto da Torre, sendo o primeiro patamar entre 950 e 1000 metros (Patamar da Vila do Carvalho), o segundo a cerca de 1450 metros (Patamar do Picoto) e o terceiro a 1650 metros (Patamar do Cural do Vento) de forma triangular e localizado no setor Oriental da Serra da Estrela.

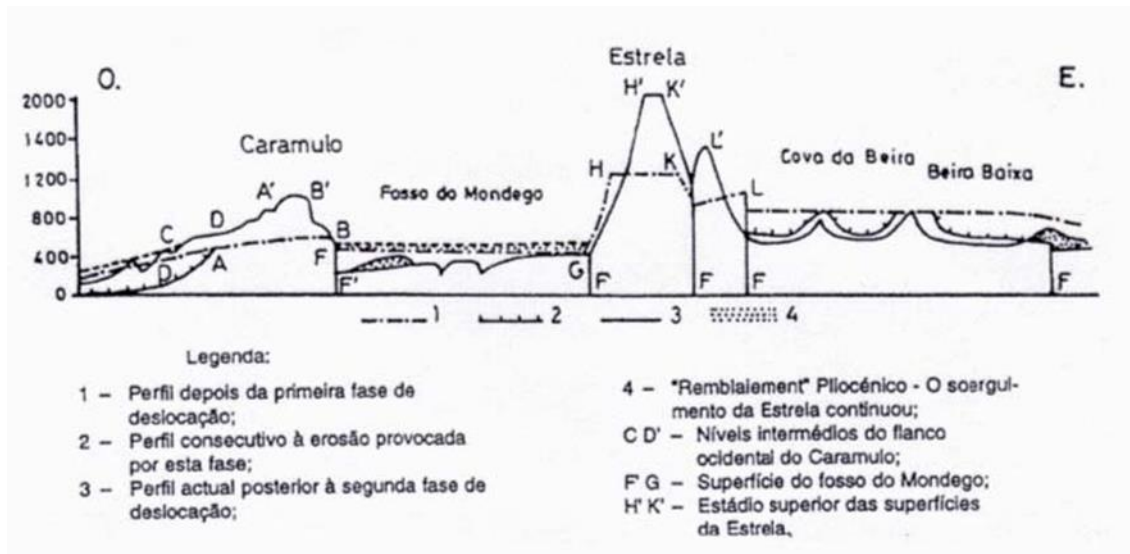


Figura 4.3 - Perfis dos relevos entre a flexura atlântica e a fronteira espanhola (Birot, 1949 in Cavaleiro, 2001).

A topografia da região é uma consequência das ações tectónicas que levantaram a zona da montanha. A atividade tectónica não se extinguiu de todo, o que é constatado pela atividade sísmica na zona da falha da Vilariça (falha muito extensa e profunda orientando as nascentes termais quentes em Unhais da Serra e Manteigas).

Em termos geomorfológicos, a região em estudo caracteriza-se por um relevo vigoroso, por vezes com taludes relativamente íngremes e vales bem marcados. O local de implantação da futura Barragem da Ribeira das Cortes insere-se numa área caracterizada morfológicamente pela ocorrência de uma plataforma mais elevada onde ficam as Penhas da Saúde, a qual se encontra separada do degrau inferior pelo brusco desnível de 150 metros do Curral do Vento, desenvolvendo-se nesta depressão a Ribeira das Cortes.

A par desta atividade tectónica, há que referir também as grandes glaciações, tendo a serra sido atingida pela última grande glaciação à cerca de 20 mil anos, e tendo a sua parte mais alta ficado coberta por glaciares. Provas desta grande glaciação são os vales glaciares do Rio Zêzere e da Ribeira da Alforfa.



**Figura 4.4 - Aspectos geomorfológicos da região da Covilhã onde é evidenciada a Serra da Estrela e a depressão da Cova da Beira.**

O Rio Zêzere, o Rio Mondego e o Rio Alva são rios de cariz importante para a rede hidrográfica nacional sendo estes inteiramente portugueses e que nascem na Serra da Estrela. Os seus cursos fluviais apresentam na generalidade um traçado com grandes troços retilíneos, resultante da sua adaptação à fraturação regional, Figura 4.4. Foi ainda aplicado o método de Stralher para ordenar a rede de drenagem, Figura 4.5.

Relativamente à cobertura vegetal da região em estudo, predominam essencialmente a cobertura silvestre de giestas e algumas manchas de pinheiro bravo.

### **4.3. Elementos Geológicos**

Foi na fase da orogenia Varisca que a Península Ibérica, principalmente a Zona Centro-Ibérica, sofreu grandes ações tectónicas, gerando em áreas litologicamente contrastantes uma deformação fortemente heterogénea. Desta forma foi produzida uma estrutura arqueada com desenvolvimento até à Bretanha, formando o Arco Ibéro-armoricano (Teixeira *et al.*, 1974).

O zonamento transversal deste ramo da Cadeia Varisca é conhecido desde Lotz (1945). As zonas foram, desde então, definidas com base em critérios múltiplos de índole litológica, estratigráfica e estrutural, magmática e metamórficamente, dominantes.

Atualmente, na Península Ibérica, considera-se a existência de cinco zonas principais: Cantábrica, Astúrico-Occidental-Leonesa, Centro Ibérica, Ossa Morena e Sul Portuguesa (Figura 4.7).

Na zona de estudo afloram sobretudo rochas graníticas com cerca de 280 a 340 milhões de anos, bem como rochas do complexo Xistograuváquico com cerca de 500 a 650 milhões de anos.

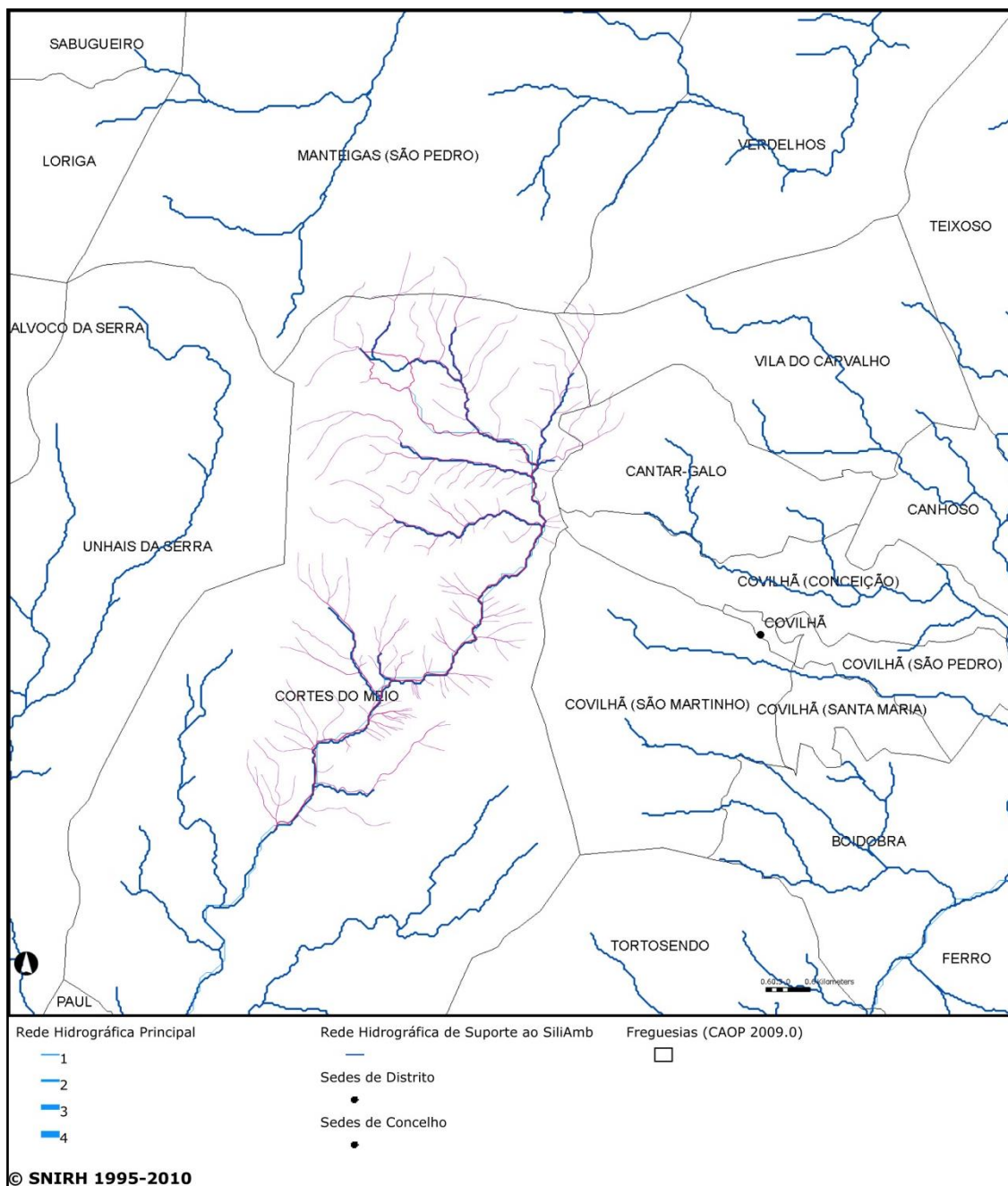


Figura 4.5 - Mapa da rede de drenagem (adaptado de SNIRH, 2014).



Figura 4.6 - Mapa da rede de drenagem segundo o Método de Stralher.

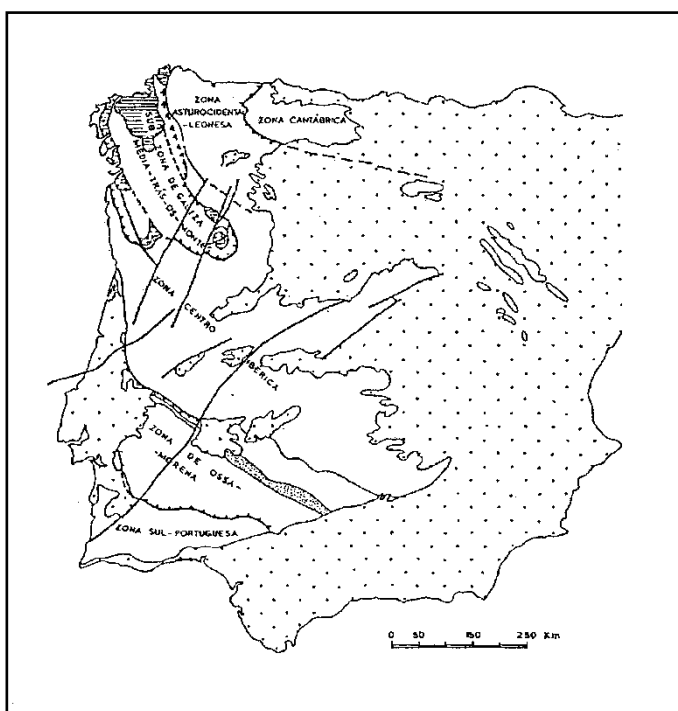


Figura 4.7 - Enquadramento da zona de estudo no mapa de unidades paleogeográficas da Península Ibérica (adaptado de Ribeiro *et al.*, 1979).



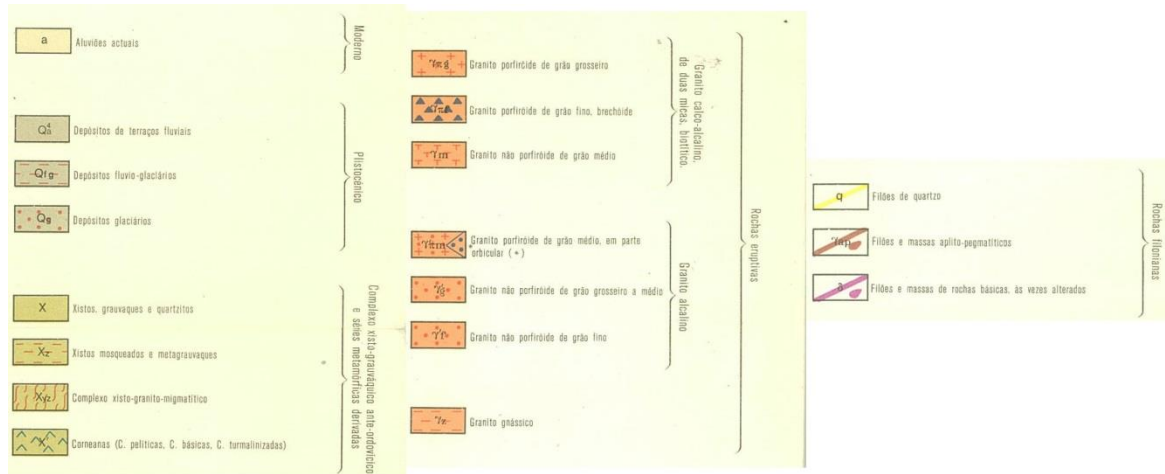


Figura 4.8 (b) - Legenda relativa à Carta Geológica de Portugal da página anterior.

## 4.4. Caracterização Climática

No traçado das bacias hidrográficas foram utilizadas as Cartas Militares 223, 224, 234 e 235 à escala 1:25000. A bacia da Ribeira das Cortes tem uma área de 24,66 km<sup>2</sup>.

No presente capítulo pretende-se estudar os elementos climáticos que influenciam a bacia hidrográfica bem como a recarga das águas subterrâneas em estudo. Estes elementos são imprescindíveis para o cálculo de recarga de aquíferos e da consequente avaliação dos recursos hídricos existentes. Vão-se analisar elementos tais como precipitação, temperatura, humidade relativa e evaporação. Um ponto que é totalmente necessário ressaltar é a falta de registos de alguns elementos, portanto serão utilizados apenas os mais importantes tais como a precipitação e a temperatura.

Para a análise dos elementos citados, foram recolhidos os registos das estações meteorológicas das estações da Covilhã (Anexo I) e Penhas Douradas para a precipitação e para a temperatura, respetivamente. De referir que a estação da Covilhã e a estação das Penhas Douradas se situam muito próximas da bacia hidrográfica e os valores são assim muito fiáveis.

Para o caso da precipitação, outras estações com dados suficientes para se proceder à sua análise, foram encontradas mas já se encontravam demasiado longe, não tendo qualquer efeito sobre a bacia em estudo, segundo o Método dos Polígonos de Thiessen.

### 4.4.1. Temperatura

Relativamente ao estudo da temperatura foram usados os registos da estação das Penhas Douradas, descritos na Tabela 4.1, devido à sua proximidade e aos longos registos, estação essa que se enquadra perfeitamente na Serra da Estrela.

Os dados usados relativos à temperatura estão de acordo com o mapa de temperaturas, Figura 4.9, retirado do site do SNIRH. Pode dizer-se que as temperaturas no local em estudo variam na maior parte dos meses do ano entre 0°C e 10°C.

**Tabela 4.1 - Dados climatológicos dos anos 1931 a 1960 da estação das Penhas da Douradas (Ferreira, 1970).**

Mês	Temperatura (Mensal)			Humidade Relativa do ar (%)			Insolação		Evaporação (mm)
	Min.	Máx.	Méd.	9h	15h	21h	Total (h)	Percent. (%)	
Janeiro	-0,4	5,1	2,4	80	81	83	121,4	41	43,5
Fevereiro	-0,1	6,0	3,0	76	74	79	150,3	50	51,9
Março	1,6	7,8	4,7	76	74	80	171,1	46	70,0
Abril	3,1	10,3	6,7	72	66	76	223,0	56	91,6
Maio	5,5	12,9	9,2	72	67	77	247,1	55	104,3
Junho	9,8	18,0	13,9	64	59	71	320,0	71	145,3
Julho	12,6	21,7	17,2	55	49	60	375,1	82	215,6
Agosto	12,6	21,5	17,0	55	49	60	336,6	79	213,6
Setembro	10,4	18,2	14,3	65	59	70	243,1	63	144,2
Outubro	6,5	12,8	9,6	74	72	78	189,6	55	84,9
Novembro	2,9	8,4	5,6	79	79	82	141,4	47	60,2
Dezembro	0,4	6,0	3,2	80	80	82	124,0	43	44,6

Estação meteorológica das Penhas Douradas (Latitude: 40°25'N; Longitude: 7°33'W; Altitude: 1383m)

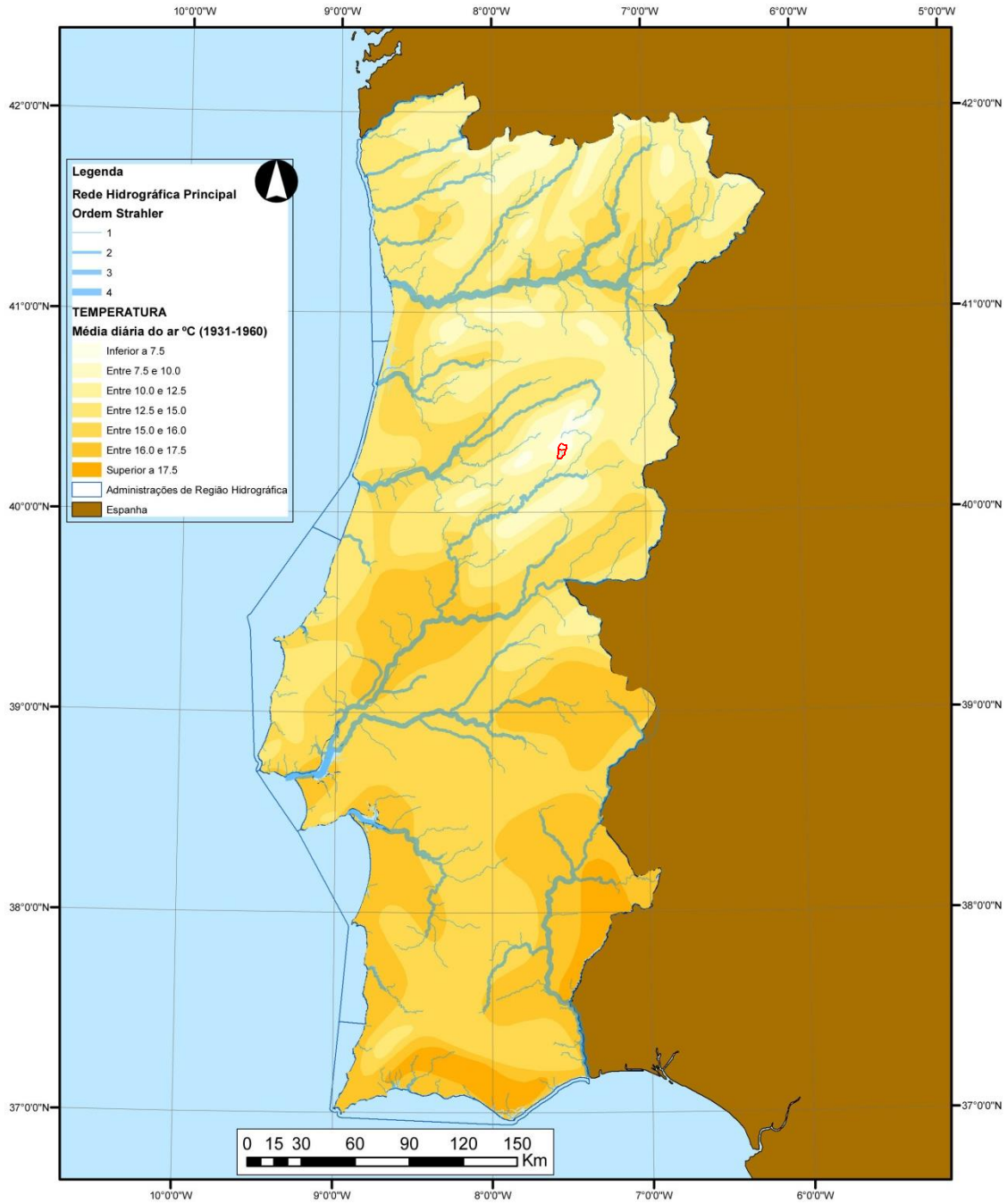


Figura 4.9 - Mapa de Temperatura média para Portugal Continental (adaptado de SNIRH, 2014)

#### 4.4.2. Precipitações

Para o estudo da precipitação usaram-se os elementos descritos na Tabela 4.2 que dizem respeito à estação meteorológica da Covilhã. Esta estação situa-se instalada na vertente oriental da Serra da Estrela, bem próxima do local em estudo.

Tabela 4.2 - Estatística dos valores de precipitação dos anos hidrológicos 1939/1940 a 2009/2010 da estação meteorológica 12L/03-Covilhã (SNIRH, 2014).

Precipitação Mensal (mm)				
	Min.	Máx.	Méd.	Nº valores
Outubro	0,0	555,6	170,7	70
Novembro	0,4	738,8	213,9	69
Dezembro	5,7	891,5	235,8	69
Janeiro	0,0	863,5	233,3	70
Fevereiro	0,0	721,2	196,4	71
Março	0,0	450,1	159,8	71
Abril	3,8	387,2	119,8	71
Maio	2,3	383,1	104,7	70
Junho	0,0	255,8	42,1	70
Julho	0,0	56,4	12,8	71
Agosto	0,0	88,5	15,2	70
Setembro	0,0	301,0	61,6	68
Estação meteorológica 12L/03-Covilhã do SNIRH (Latitude:40°29'N; Longitude:7°51'W; Altitude:745m).				

Os dados usados relativos à precipitação estão de acordo com o mapa de precipitação média anual, Figura 4.10, retirado do site do SNIRH. Pode-se dizer que a precipitação no local em estudo varia entre 1600 e 2000 mm.

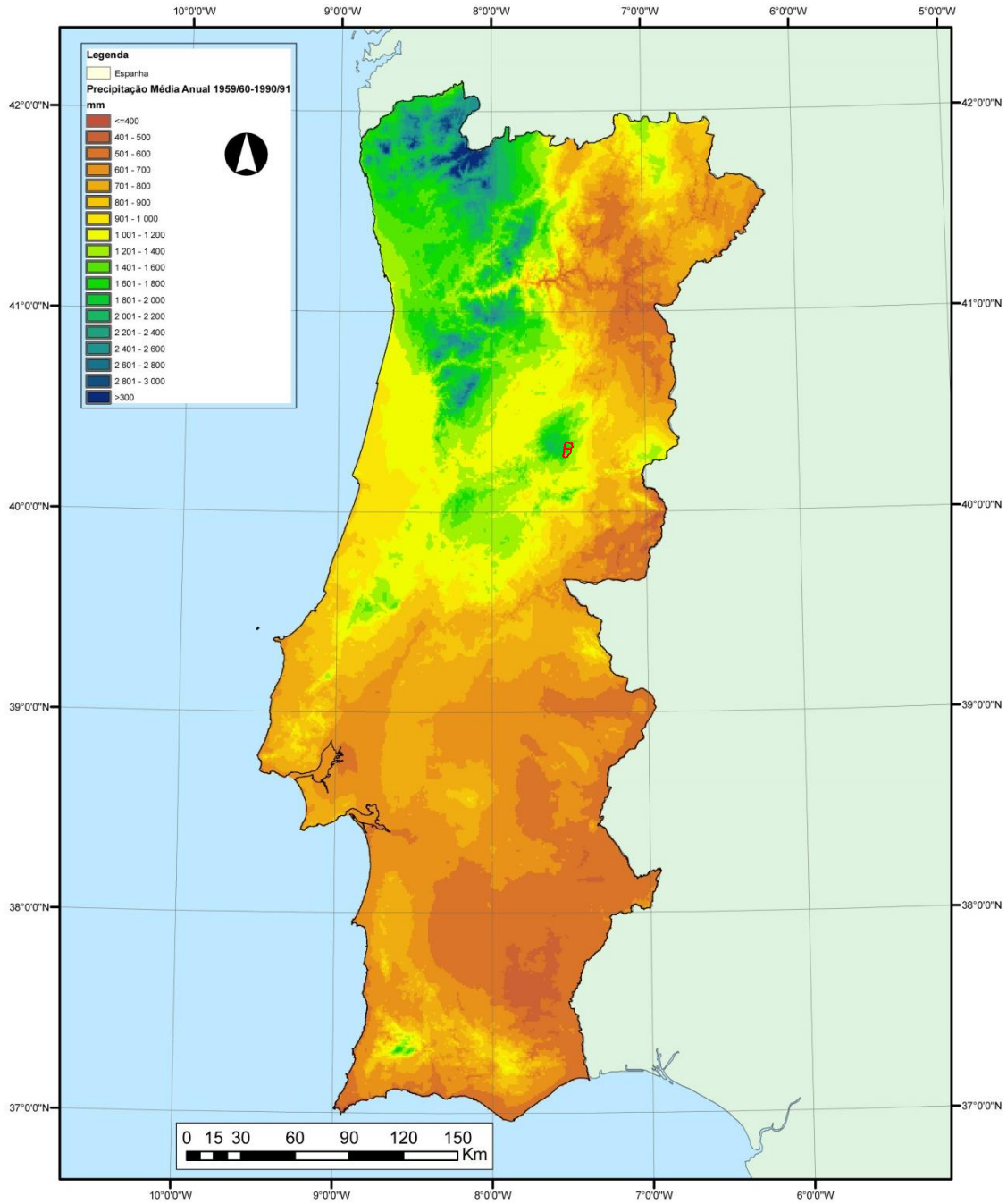


Figura 4.10 - Mapa de Precipitação média anual para Portugal Continental (adaptado de SNIRH, 2014).

#### 4.4.3. Balanço hidrológico

Para se efetuar o cálculo do balanço hidrológico sequencial mensal, seguiu-se a proposta de Thornthwaite e Mather (*in* Lencastre e Franco, 1992) dada pela seguinte expressão:

$$P - (ETR + VS_{so}) = R + VS_s + G + VS_{sso} \quad (4.1)$$

Onde cada parâmetro representa o seguinte:

- P - Precipitação
- ETR - Evapotranspiração real
- R e G - Escoamentos superficiais e subterrâneos, respetivamente
- VS<sub>s</sub>, VS<sub>so</sub> e VS<sub>sso</sub> - Variações do armazenamento de água, à superfície, no solo arável e no subsolo, respetivamente.

O cálculo da evapotranspiração potencial (EPT) segundo o mesmo autor efetua-se a partir da seguinte equação:

$$ETP = K \times ETP_o \text{ (mm/mês)} \quad (4.2)$$

Em que:

- ETP<sub>o</sub> - Evapotranspiração potencial média para meses teóricos de 30 dias e 12 horas de luz sola por dia, num local do equador de latitude zero, sendo:

$$ETP_o = 16 (10 \times t/I)^a \text{ (mm/mês)} \quad (4.3)$$

Em que:

- t - Temperatura média diária do mês (°C)
- a - Parâmetro dado pela seguinte equação:

$$a = (675 \times 10^{-9} \times I^3) - (771 \times 10^{-7} \times I^2) + (179 \times 10^{-4} \times I) + 0,49 \quad (4.4)$$

- I - Índice de calor mensal, dado pela seguinte equação:

$$i = (t/5)^{1,5} \text{ (t em } ^\circ\text{C)} \quad (4.5)$$

- K - Fator corretivo. É um parâmetro que depende do número de horas de luz solar do dia, função da latitude do lugar, sendo determinado de acordo com valores tabelados em Quintela (1996).

Os resultados dos cálculos para a determinação do ETP apresentam-se na Tabela 4.3.

**Tabela 4.3 - Resultados da evapotranspiração potencial mensal na Ribeira das Cortes.**

Parâmetros	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Pponderada (mm)	233,3	196,4	159,8	119,8	104,7	42,1	12,8	15,2	61,6	170,7	213,9	235,8
T (°C)	2,4	3,0	4,7	6,7	9,2	13,9	17,2	17,0	14,3	9,6	5,6	3,2
I (°C) <sup>1,5</sup>	0,33	0,46	0,91	1,55	2,50	4,64	6,38	6,27	4,84	2,66	1,19	0,51
ETP0 (mm/mês)	11,9	14,9	23,4	33,5	46,1	70,0	86,7	85,7	72,0	48,1	27,9	15,9
K	0,80	0,89	0,99	1,10	1,20	1,25	1,23	1,15	1,04	0,93	0,83	0,78
ETP (mm/mês)	9,5	13,2	23,2	36,8	55,3	87,4	106,7	98,6	74,9	44,8	23,2	12,4

Os resultados do balanço hidrológico apresentam-se de uma forma numérica e gráfica na Tabela 4.4 e na Figura 4.11, respetivamente. Os diversos termos apresentados na referida tabela definem-se de acordo com o seguinte:

- P - Precipitação média mensal
- ETP - Evapotranspiração potencial
- L - Perda potencial de água, em cada intervalo de tempo do período seco (em que  $P < ETP$ ), sendo:

$$L(i) = \sum_{j=1}^i (P - ETP)_j \quad , \quad (L < 0) \quad (4.6)$$

- i - Número da sequência do intervalo (coluna) em causa, desde o início do período seco
- j - Número de qualquer intervalo do mesmo período seco

- Sso - Armazenamento de água que fica no solo de capacidade utilizável pelas plantas ( $n_u$ ), e calcula-se pelas 2 expressões abaixo. A expressão 4.8 serve para período seco ( $P - ETP < 0$ ) e a expressão 4.9 serve para o período húmido até completar a capacidade utilizável pelas plantas, considerando-se  $n_u=100$  mm.

$$(Sso)_i = (n_u \times e^{L/n_u})_i \quad (4.7)$$

$$(Sso)_i = (P - ETP)_i + (Sso)_{i-1}, \text{ se } Sso < n_u \quad (4.8)$$

- $Vsso_i$  - Variação do armazenamento de água em cada intervalo de tempo:

$$Vsso_i = Sso_i - Sso_{i-1} \quad (4.9)$$

- $ETR_i$  - Evapotranspiração real que ocorre em cada intervalo de tempo  $i$ :

$$ETR_i = ETP_i, (Vsso \geq 0) \quad (4.10)$$

$$ETR_i = (P - Vsso)_i, (Vsso < 0) \quad (4.11)$$

- $DH_i$  - Défices hídricos nos sucessivos intervalos de tempo  $i$ , em que  $P < ETP$ :

$$(DH)_i = (ETP - ETR)_i = (ETP + Vsso - P)_i, (Vsso < 0) \quad (4.12)$$

- $SH_i$  - Resultados do superavit hídrico, dos sucessivos intervalos de tempo  $i$ , em que  $P \geq EPT$ :

$$(SH)_i = [P - (ETP + Vsso)]_i, (Vsso \geq 0) \quad (4.13)$$

Pelos resultados do balanço hídrico, pode-se concluir que existe um período seco e um período húmido. O período seco é traduzido pelos défices hídricos, DH, que decorrem entre Junho e Setembro, com o valor máximo a ocorrer no mês de Agosto. O período húmido é traduzido pelo superavit hídrico, SH, que decorre entre Outubro e Maio, atingindo um excesso máximo de água em Dezembro, sendo de enfatizar o valor global anual de 1125,4 mm que à partida orienta para uma situação de boa recarga aquífera.

Tabela 4.4 - Resultados do balanço hidrológico (L/m<sup>2</sup>) sequencial mensal para a Ribeira das Cortes - Covilhã.

Termo	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano
P	233,3	196,4	159,8	119,8	104,7	42,1	12,8	15,2	61,6	170,7	213,9	235,8	1566,1
ETP	9,5	13,2	23,2	36,8	55,3	87,4	106,7	98,6	74,9	44,8	23,2	12,4	586,1
P-ETP	223,8	183,2	136,6	83,0	49,4	-	-93,9	-83,4	-13,3	125,9	190,7	223,4	980,0
L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-235,9
Sso	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	63,5	24,8	10,8	9,5	100,0	100,0	100,0	-
Vsso	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-38,7	-14,1	-1,3	90,5	0,0	0,0	-
ETR	9,5	13,2	23,2	36,8	55,3	78,6	51,5	29,3	62,9	44,8	23,2	12,4	440,7
DH	-	-	-	-	-	8,9	55,2	69,3	11,9	-	-	-	145,3
SH	223,8	183,2	136,6	83,0	49,4	-	-	-	-	35,4	190,7	223,4	1125,4

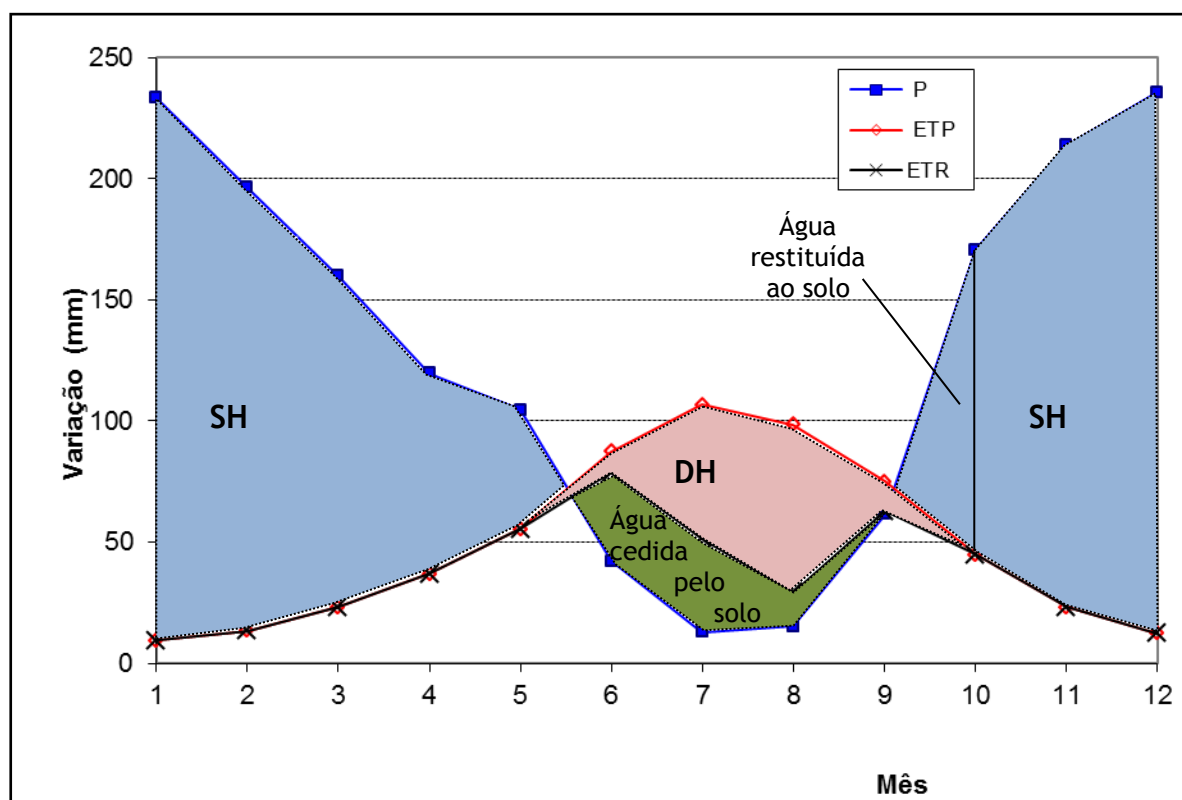


Figura 4.11 - Diagrama do balanço hidrológico sequencial mensal para a zona em estudo.

## 4.5. Pontos de Água

### 4.5.1. Inventário e sua caracterização

De modo a compreender melhor a hidrologia do local, procedeu-se ao levantamento de pontos de água existentes na Bacia da Ribeira das Cortes, exceptuando alguns que eram fisicamente inacessíveis. No total levantaram-se 30 pontos de água dos quais foi possível recolher amostras para análise. Estes pontos de água eram essencialmente nascentes (15), minas (4) e furos (3) (Tabela 4.5). Foram ainda recolhidas amostras de água da Ribeira das Cortes para efeitos de comparação de resultados. Na Figura 4.12 é possível observar os locais de todos os pontos de água em que se efetuaram medições dos parâmetros físico-químicos dentro dos limites da Bacia hidrográfica. No Anexo II apresentam-se todos os resultados dos registos efetuados. A cada ponto foi atribuído um nome do local, as suas coordenadas geográficas, a altitude, o tipo de ponto de água, a sua litologia, os seus parâmetros físico-químicos (temperatura, pH, Eh, condutividade, resistividade e TDS) e o caudal. Salienta-se que o ponto de água considerado mais importante foi o designado por “Fonte dos Calções” na localidade da Bouça. Este além de ter um excelente caudal, constitui num excelente fontanário de 3 bocas. O curioso nome de “Fonte dos Calções”, segundo os habitantes deste lugar, deve-se ao facto desta nascente ter sido descoberta por um alfaiate. Este decidiu então por iniciativa própria, contruir o dito fontanário, que segundo os habitantes tem a forma de uns calções.

Tabela 4.5 -Total de medições efetuadas em cada tipo de captação.

Nascentes	15
Minas	4
Furos	3
Ribeiras	7
Barragem	1

Sobre os furos salienta-se que são um tipo de captação para extração de água, pouco frequente no local de estudo.

As captações do tipo minas correspondem a galerias subterrâneas naturais ou artificiais, horizontais, as quais geralmente possuem várias dezenas de metros de desenvolvimento, sendo que uma das minas registadas tinha mais de 100 metros de comprimento. Normalmente as minas naturais têm acessos extremamente difíceis, tendo sido muito complicado retirar amostras de água destas. Em alguns casos só é possível observar a circulação da água quando esta chega ao seu destino final em fontes ou em tanques, pois a boca da mina encontra-se inacessível. Minas artificiais geralmente são bastante estreitas tendo como secção típica 1.8 x 0.6 metros. As águas

provenientes deste tipo de captações eram conduzidas maioritariamente através de tubagens para rega ou uso doméstico.

As nascentes equivalem a locais da superfície topográfica onde emerge a água subterrânea, correspondendo assim a uma descarga natural do aquífero, ou seja, corresponde à interceção da superfície freática com a superfície topográfica.

#### **4.5.2. Controlo de caudais**

Relativamente aos caudais dos pontos de água inventariados, estes variam em grande escala sendo o menor de 0,1 L/s e o maior de 50 L/s, correspondendo a nascente e a uma linha de água respetivamente. A “Fonte dos Calções” na localidade da Bouça, o principal ponto de colheita desta dissertação, registou um caudal total de 4,2 L/s a 14 de Março de 2014.

Salienta-se que o ponto de água 1.1 que se refere a uma mina, o seu caudal é transferido por tubagens para um grande tanque, sendo a água posteriormente tratada; esta mina é também um dos principais pontos de abastecimento à localidade das Cortes do Meio.

#### **4.5.3. Qualidade da água**

Os resultados obtidos nos vários pontos de água apresentam-se detalhadamente tabelados em Anexo II.

A partir dos dados dos parâmetros físico-químicos recolhidos no campo, foi possível sintetizar toda a informação e obter uma abordagem estatística da mesma, com a qual se construiu a Tabela 4.6. Os valores de cada parâmetro variam bastante entre si, o que leva a concluir que apesar da zona em estudo ser relativamente pequena, esta é constituída por elementos que atribuem diferentes propriedades às águas conforme o local em causa.

De modo a efetuar uma análise mais detalhada dos resultados obtidos às recolhas de água em cada ponto, efetuaram-se os histogramas individuais das várias variáveis dos parâmetros físico-químicos, sendo apresentados nas Figuras 4.13 a 4.18. No sentido de entender melhor os resultados, os principais parâmetros apresentam-se em gráficos individualizados, função da altitude, na Figura 4.19. De todos, apenas a temperatura apresenta alguma ligeira tendência, no sentido de quanto maior a altitude, menor é a temperatura da água subterrânea.

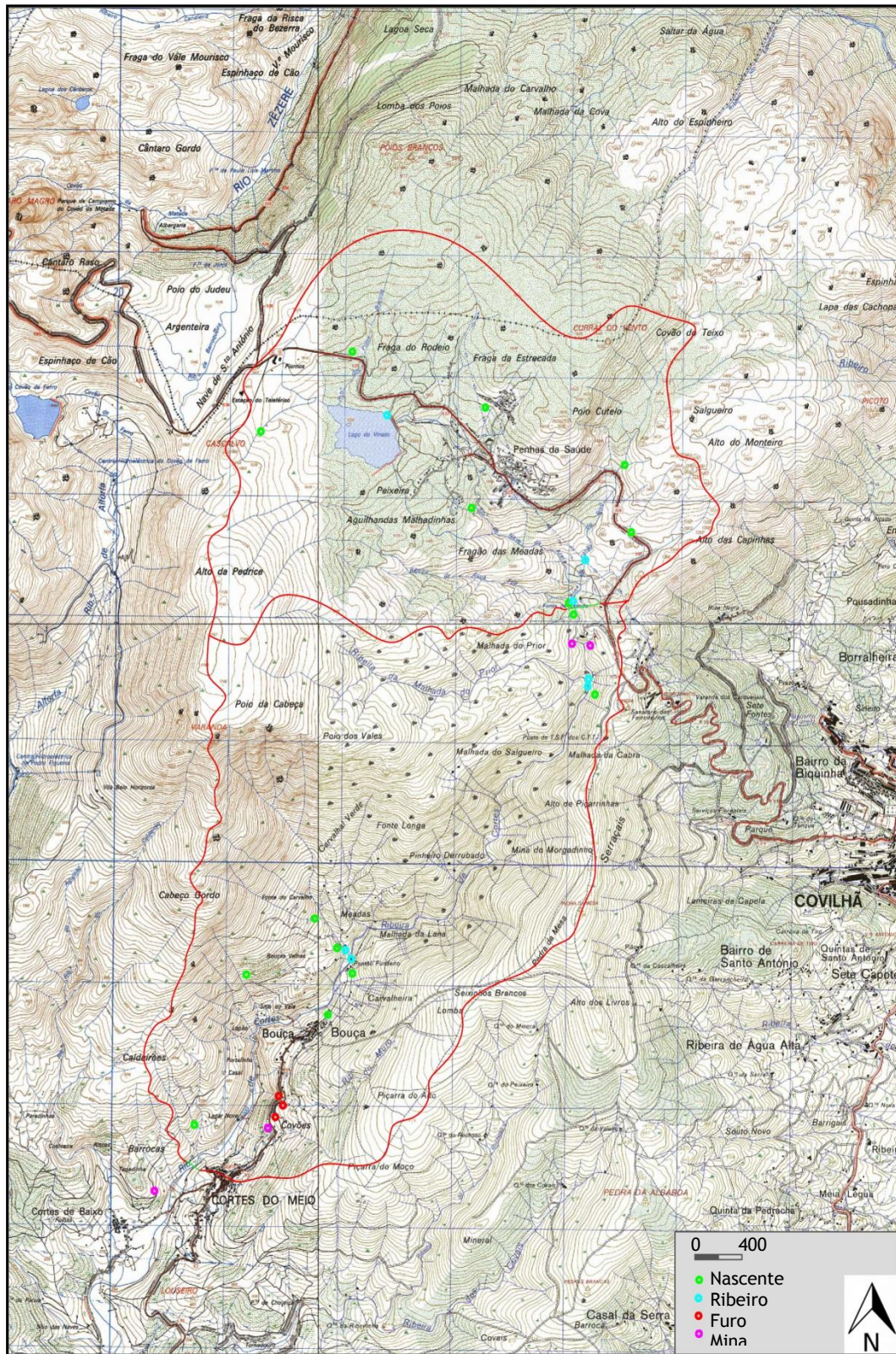


Figura 4.12 - Localização dos pontos de água para a zona em estudo com os limites da Bacia da Ribeira das Cortes.

**Tabela 4.6 - Resultados estatísticos dos parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas recolhidas em campo na zona em estudo.**

	Condutividade c ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Temperatura T ( $^{\circ}\text{C}$ )	Total de Sólidos Dissolvidos TDS (mg/L)	Resistividade $\rho$ ( $\text{k}\Omega$ )	pH	Potencial Redox Eh (mV)
<b>Nº de ensaios</b>	32	32	32	32	32	32
<b>Valor mínimo</b>	7,37	3,3	6,79	3,5	4,43	-9,1
<b>Valor médio</b>	36,08	11,4	33,22	27,16	5,50	25,20
<b>Valor máximo</b>	154,4	16,8	141,9	73,67	6,13	72,5

A condutividade elétrica varia de 7,37 a 154,4  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , com um valor médio de 36,08  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Uma análise detalhada do gráfico relativo à condutividade, Figura 4.13 permite referir que a maior gama de valores (25 dos pontos de água selecionados) se situa entre os intervalos [0;25] e [25-50]. Situação similar obteve Mendes (2006) para as águas da zona da Covilhã, com a globalidade dos dados inferiores a 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , concluindo que se tratam de águas muito pouco mineralizadas. É de todo importante referir que esta amostra com o valor 154,4  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , refere-se a uma nascente na qual a água estava praticamente estagnada, sendo propícia a ocorrência de alguma poluição tanto a nível de micro-organismos que se vão acumulando nas águas, como a presença de substâncias nocivas devido aos incêndios ocorridos no ano anterior.

A temperatura nos pontos de água selecionados varia entre 3,3 $^{\circ}\text{C}$  e 16,8 $^{\circ}\text{C}$  tendo uma média de 11,4 $^{\circ}\text{C}$ . Analisando mais detalhadamente o gráfico da Figura 4.14, pode-se observar que o maior número de registos (25 pontos de água) se situam no intervalo de valores [9-11] a [13-15]  $^{\circ}\text{C}$ . Conclui-se assim que as águas têm na sua maioria os valores esperados para águas maioritariamente de nascentes. De referir um registo de 3,3 $^{\circ}\text{C}$ . Esta temperatura em especial fica demasiado fora dos intervalos médios, tendo apenas como justificação ser um ponto de água que seria originada pelo derretimento de neve, que ainda se encontrava na serra na altura das colheitas.

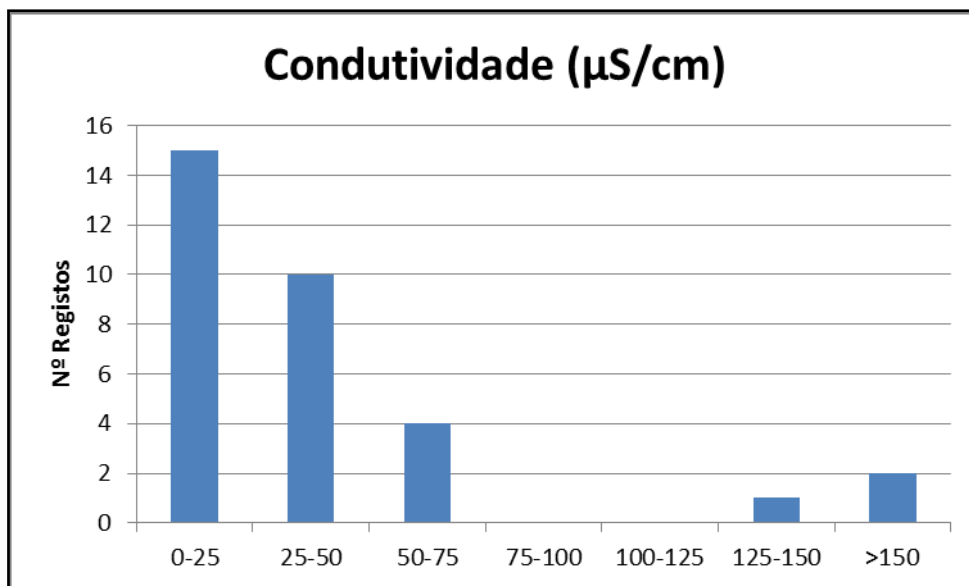


Figura 4.13 - Histograma dos registos dos parâmetros físico-químicos da Condutividade nos pontos de água seleccionados.

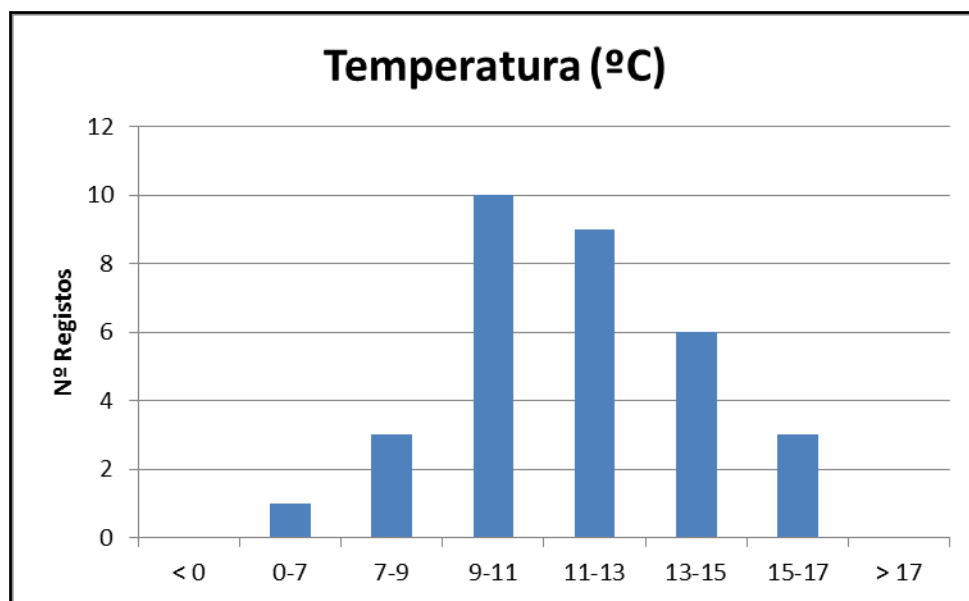


Figura 4.14 - Histograma dos registos dos parâmetros físico-químicos da Temperatura nos pontos de água seleccionados.

No que concerne aos registos do pH, para os pontos de água selecionados, este varia entre 4,43 e 6,13, tendo um valor médio de 5,50. Analisando detalhadamente o gráfico da Figura 4.15 pode-se concluir que 19 dos pontos de água selecionados (a maioria) se situa no intervalo de valores [5-6]. Os presentes resultados também são consistentes com os de Mendes (2006), que obteve valores entre 4 e 7, evidenciando um carácter ácido destas águas, que resulta da interação com o maciço granítico.

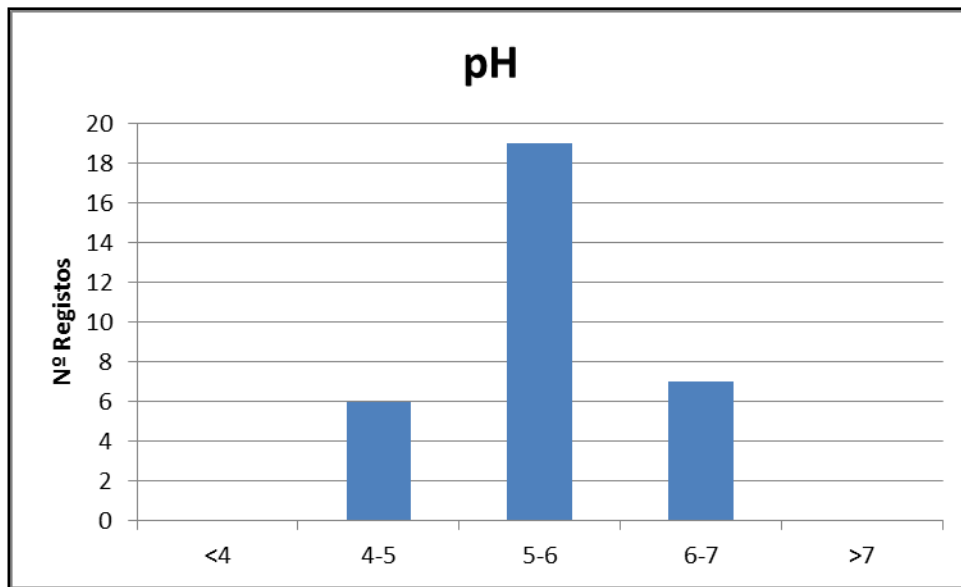


Figura 4.15 - Histograma dos registos dos parâmetros físico-químicos do pH nos pontos de água selecionados.

O potencial redox dos registos varia entre -9,1 mV e 72,5 mV obtendo ainda um valor médio de 25,20 mV. Analisando o seu gráfico na Figura 4.16, pode-se concluir que normalmente os maiores valores relativos ao Eh dos pontos de água, estão associados a valores mais baixos de condutividade e de TDS. Os valores de Eh inferiores a 0 mV e superiores a 95 mV entendem-se como potencial ponto de água contaminado a partir de origem orgânica e associado às fezes do gado caprino que é muito frequente no local. Com a análise gráfica, podemos ver que 7 dos 32 pontos podem estar nesta situação de contaminação. Salienta-se que Mendes (2006) não obteve nenhum valor de Eh negativo para a zona da Covilhã.

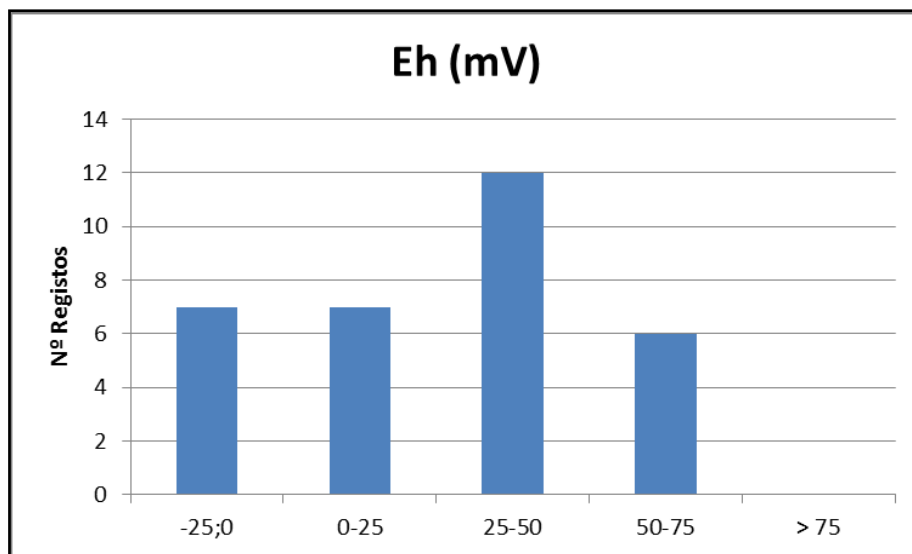


Figura 4.16 - Histograma dos registos dos parâmetros físico-químicos do Potencial Redox nos pontos de água selecionados.

O total de sólidos dissolvidos 6,79 mg/L e 141,9 mg/L, com um valor médio de 33,22 mg/L. Observando o gráfico da Figura 4.17, pode-se observar que 28 dos pontos de água, no que refere a este parâmetro físico-químico se situam no intervalo de valores [0-50] mg/L. Dois dos valores mais altos do TDS estão associados a uma mina e ao ponto de água estagnada mencionado na análise da condutividade. Mais um fator que nos permite concluir a falta de qualidade da água neste ponto em específico.

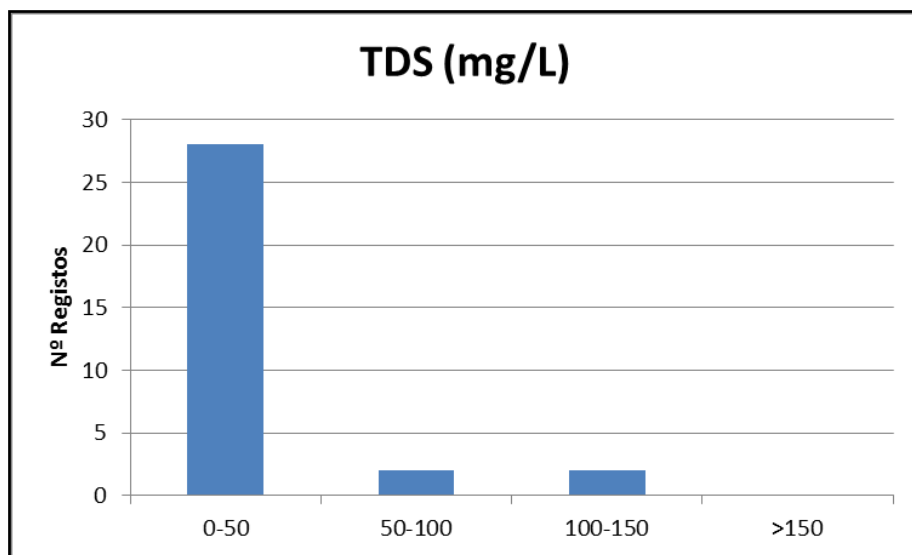


Figura 4.17 - Histograma dos registos dos parâmetros físico-químicos do Total de Sólidos Dissolvidos nos pontos de água selecionados.

Por fim, a resistividade varia entre 3,5 kΩ.cm e 73,67 kΩ.cm, tendo um valor médio de 27,16 kΩ.cm. Analisando detalhadamente o gráfico da Figura 4.18 pode-se ver que 28 dos pontos selecionados contêm resistividade inferior a 40 kΩ.cm.

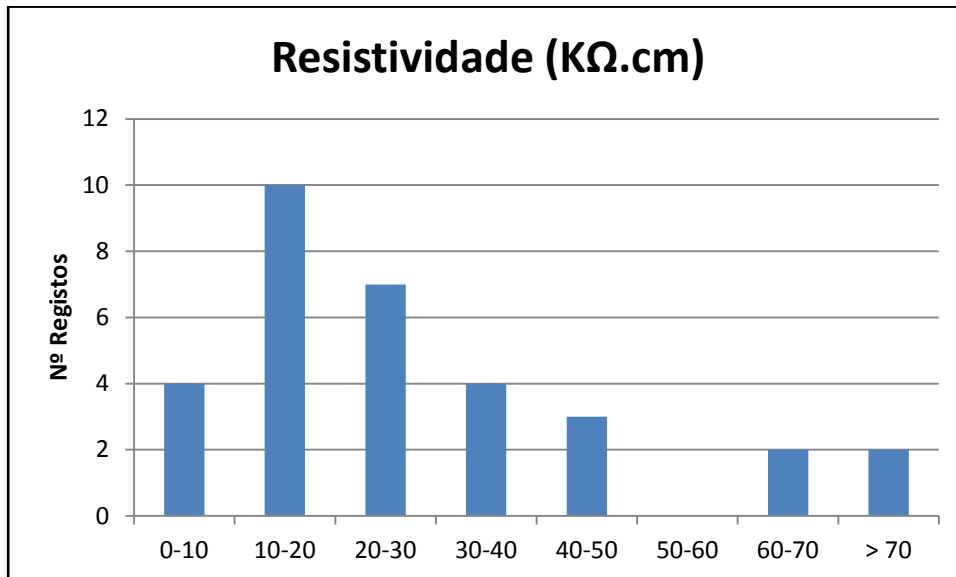


Figura 4.18 - Histograma dos registos dos parâmetros físico-químicos da Resistividade nos pontos de água selecionados.

De qualquer modo a análise dos resultados poderia ser mais consistente, se se fizesse um estudo mais apurado, do que o presente, com o controlo rigoroso da extracção de caudais em todos os pontos de água, e ao longo do ano, situação que não se verificou devido às contingências do presente trabalho, que é apenas académico e sem meios materiais e económicos adequados a tal situação, além da limitação temporal, pois integra-se no âmbito de um mestrado a concluir em poucos meses.

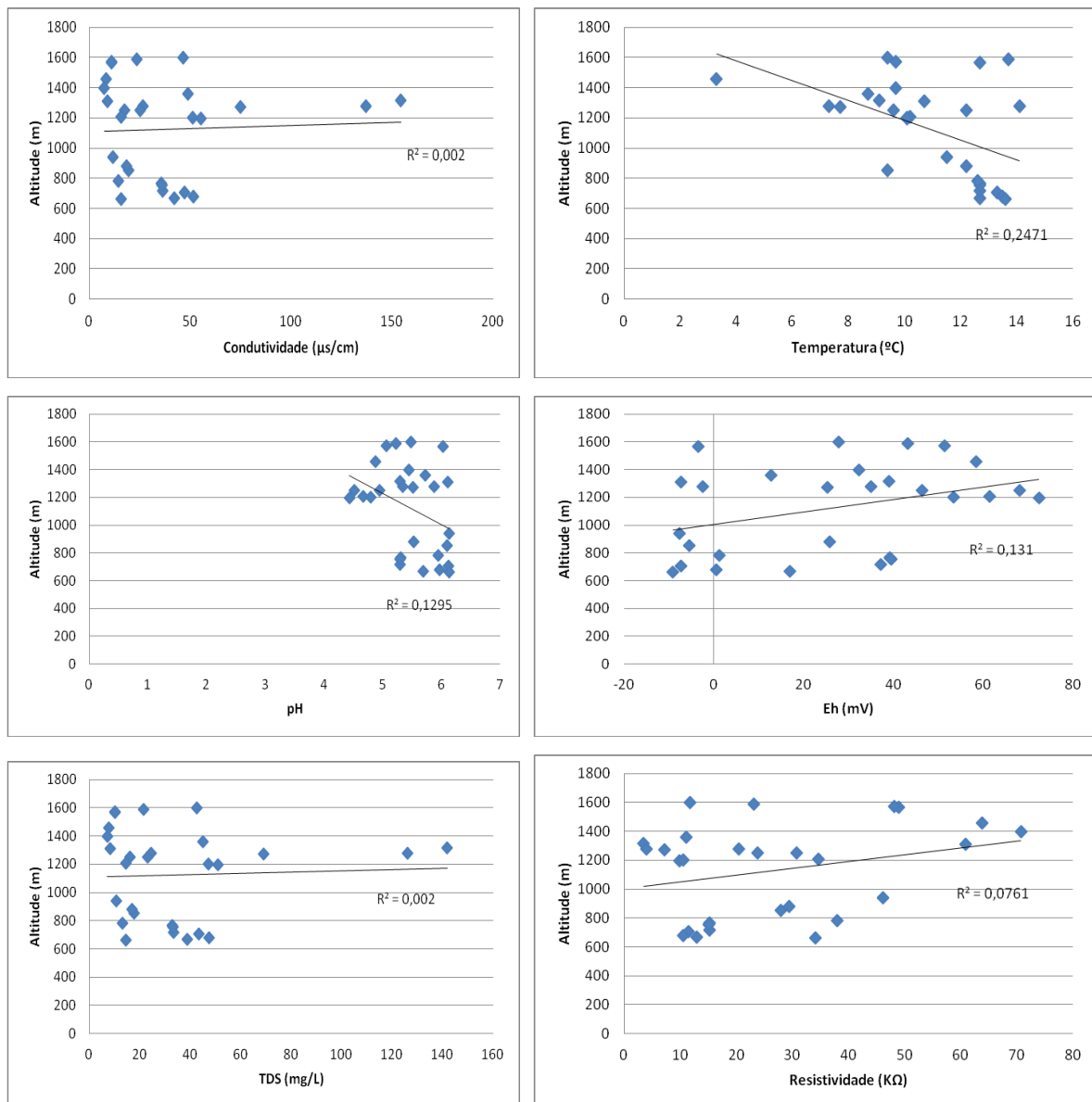


Figura 4.19 - Resultados dos vários parâmetros em função da altitude.

Enfatizam-se os resultados da água da Fonte dos Calções. Esta nascente é sem dúvida o mais produtivo de todos os pontos de água deste tipo da bacia. Tem 3 “goelas” por onde brota água sem parar. Foram realizados os registos dos parâmetros físico-químicos a cada uma destas 3 bocas do fontanário obtendo-se os resultados da Tabela 4.7. Os resultados desta tabela, orientam que as 3 bocas têm a mesma origem, e por isso se considerou como um único ponto de água, sendo de salientar que o caudal mencionado de registo é o somatório do resultado nas três componentes.

Tabela 4.7 - Resultados estatísticos dos parâmetros físico-químicos relativos à “Fonte dos Calções” na localidade da Bouça.

	Caudal (L/s)	Condutividade c ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Temperatura T ( $^{\circ}\text{C}$ )	Total de Sólidos Dissolvidos TDS (mg/L)	Resistividade $\rho$ ( $\text{k}\Omega\cdot\text{cm}$ )	pH	Potencial Redox Eh (mV)
Boca 1	0,9	36,23	12,7	33,42	15,19	5,30	37,2
Boca 2	0,9	35,77	12,7	32,88	15,21	5,31	39,3
Boca 3	2,4	36,08	12,7	33,15	15,08	5,29	39,6
Total/ Média	4,2	36,03	12,7	33,15	15,16	5,30	38,7

Através da análise gráfica já feita anteriormente conjuntamente com a Tabela 4.7, pode-se concluir que este ponto de água apresenta o recurso com as características típicas do que é comum na zona da Serra da Estrela, de uma água pouco mineralizada, ácida, e sem contaminação. É uma água similar ao que Mendes (2006) encontrou como mais comum, e típico para a zona da Covilhã.

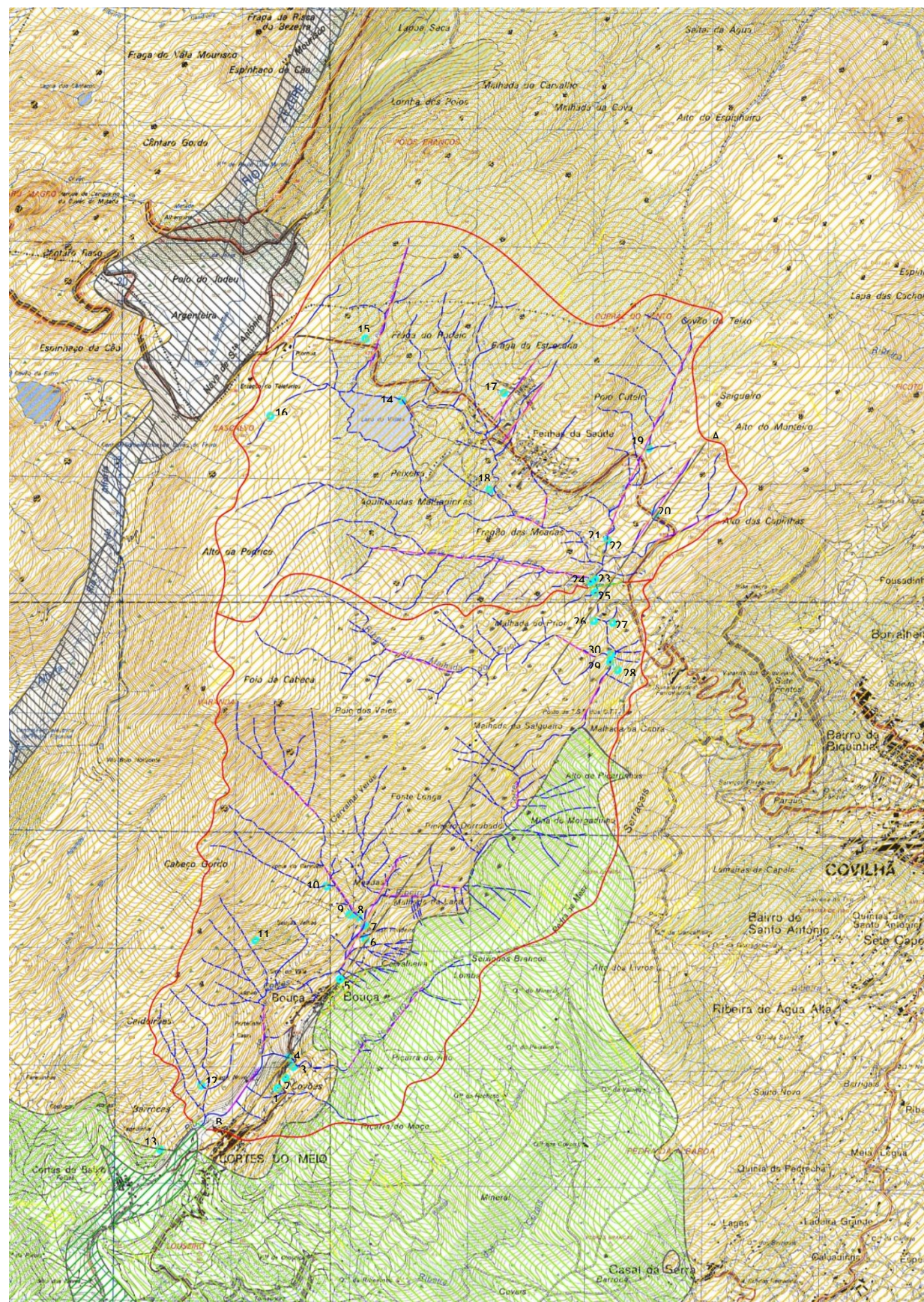
#### 4.6. Caracterização Hidrogeológica

Tendo em consideração os elementos apresentados nos itens anteriores, nomeadamente os geológicos e os dados dos vários pontos de água, para a zona em estudo consideram-se, em termos hidrogeológicos, as seguintes unidades (Figura 4.20):

- Unidade A - *Granitóides*, de permeabilidade geralmente do tipo *fissural* e pontualmente *intersticial*; apresentam em termos médios uma *permeabilidade baixa a média*. Esta unidade constitui um aquífero livre com permeabilidade (k), que em termos médios, se considera  $1,85 \times 10^{-6} \text{m/s}$ ; considera-se este valor, porque foi o obtido por Mendes (2006) para a zona dos granitos da Covilhã a partir de um ensaio de caudal.
- Unidade B - *Rochas xistentas*, do CXG, de permeabilidade do tipo *fissural*, geralmente muito reduzida. Funciona como barreira impermeável, facilitando a emergência da água subterrânea.
- Unidade C - Depósitos Fluvio-glaciários, de permeabilidade do tipo intersticial, geralmente alta a elevada. Esta unidade é visível no mapa da Figura 4.20, no entanto não ocorre no interior da bacia em estudo.

Os fluxos são infiltrados nas áreas de terrenos graníticos essencialmente acima da altitude de 700m, que se escoam em profundidade, de modo a contribuir localmente para os caudais da linha de água mais próxima, em especial no período húmido, e recarregam as reservas do maciço granítico, ou seja da Unidade A. Entretanto, o fluxo descendente na Unidade A, encontra a Unidade B, rochas xistentas, e ressurge nas proximidades do seu contacto, pois estas rochas apresentam-se com uma permeabilidade muito inferior à dos granitos, funcionando como uma barragem aos fluxos que descem a serra nas áreas dos granitóides. Na bacia em estudo, esta situação verifica-se particularmente na zona da Bouça, gerando o melhor ponto de água inventariado, que é a “Fonte dos Calções”. No sentido de esclarecer melhor os aspetos acabados de referir, apresenta-se a Figura 4.21 que corresponde ao modelo geohidraulico conceptual para a zona em estudo, com a inclusão da rede de fluxo que se entende mais provável, para apoio na estimativa dos caudais dos pontos de água.





0 400m

- Formações Graníticas (Aquífero freático, frequentemente do tipo fissural e de permeabilidade geralmente média)
- Aluviões atuais
- Formações Metamórficas (Aquífero freático, do tipo fissural, de permeabilidade geralmente reduzida)
- Depósitos fluvio-glaciares (Aquífero livre do tipo intersticial, de permeabilidade geralmente alta)
- Pontos de água
- Falha da Vilarça
- Linhas de água
- Bacia da Ribeira das Cortes
- Local de Barragem
- Filões de quartzo
- Possíveis falhas

Figura 4.20 - Carta hidrogeológica para a região em estudo (Bacia da Ribeira das Cortes).



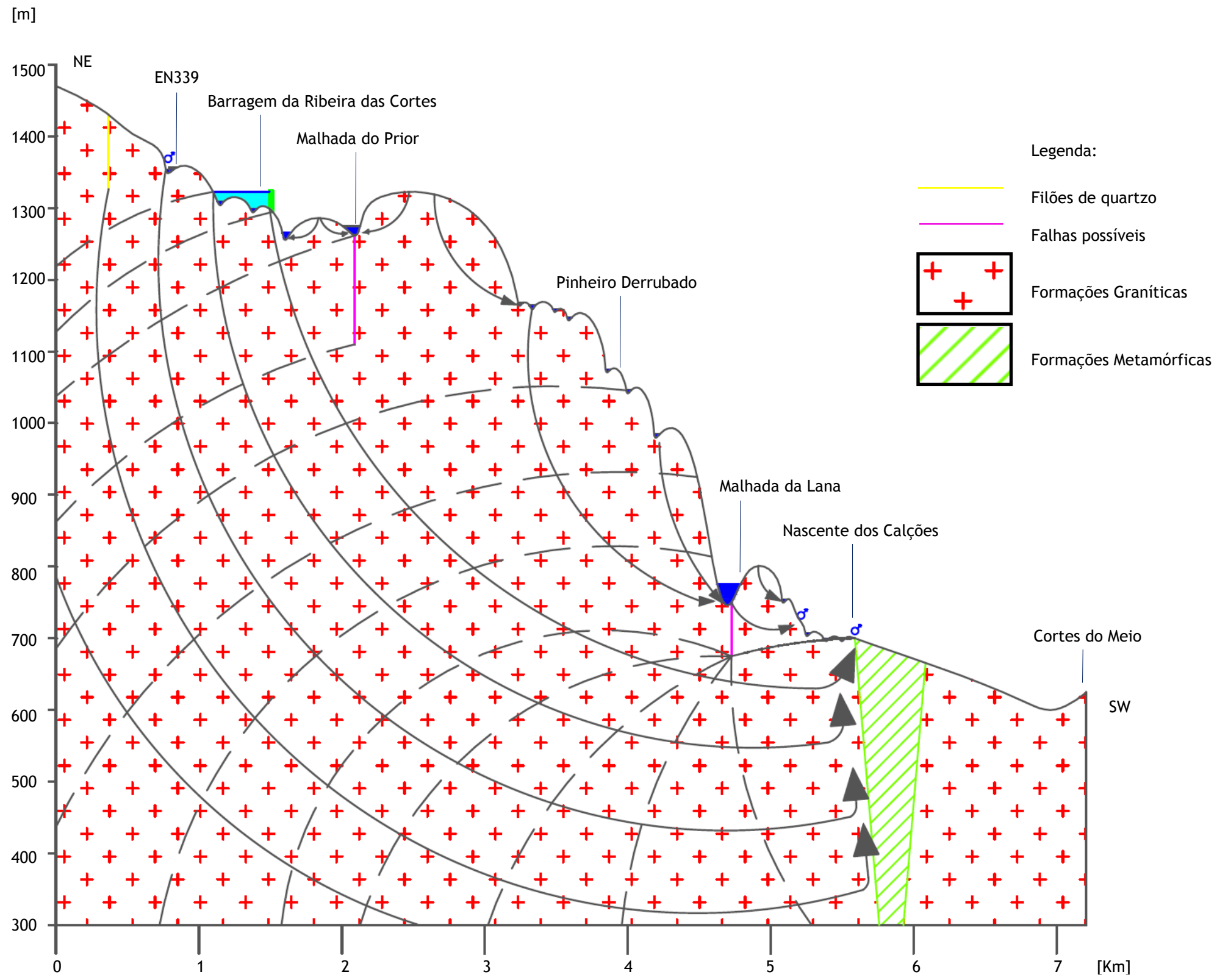


Figura 4.21 - Modelo geohidráulico conceptual para a zona em estudo (Bacia da Ribeira das Cortes).



## 4.7. Reservas Disponíveis e Cenários Futuros

Existem fatores que facilitam a infiltração e conseqüentemente a recarga, nomeadamente o facto de os maciços graníticos estarem por vezes muito alterados e geralmente muito fraturados, acrescido do facto de haver uma cobertura vegetal significativa, promovendo assim o processo de infiltração. Os excedentes anuais de 1125,4 mm obtidos no presente estudo (Tabela 4.4) sugerem à partida uma recarga aquífera com algum significado. Deste total existe uma parcela que se refere ao escoamento superficial (R) e outra que se refere ao escoamento subterrâneo (G), ou seja:

$$SH = R + G = 1125,4 \text{ mm}$$

É usual admitir-se uma relação G/SH de 35%, para outras regiões graníticas, tal como fez Enes (2011), para a região de Barcelos, no entanto no presente caso como se está perante uma região com declives muito elevados, situação que favorece o escoamento superficial e minimiza o escoamento subterrâneo, considera-se para aquele rácio (G/SH) o valor de 20%; obtém-se uma taxa de infiltração de recarga para as reservas aquíferas de 225,1 mm/ano, ou seja  $G = 225,1 \text{ L/m}^2$  por ano.

Considerando o valor total anual de precipitação obtido para o presente caso de  $1566,1 \text{ L/m}^2$  (Tabela 4.4), aquele valor de G corresponde a uma taxa de 14,4% relativamente à precipitação total anual, sendo de salientar que é similar ao valor que Enes (2011) obteve para a região de granitos de Barcelos, que foi de 14,8%, bem como também é similar ao que Mendes (2006) obteve para a zona da Covilhã, que foi da ordem dos 15%.

Assim, neste estudo, será considerada uma taxa de infiltração de 14,4% da precipitação total para recarga. Tendo em conta a área total da bacia hidrográfica da Ribeira das Cortes ( $24,7 \text{ km}^2$ ), determina-se uma recarga anual média de  $5,55 \times 10^9 \text{ m}^3$ .

Caso existisse apenas um único ponto de escoamento para a bacia da Ribeira das Cortes, seria possível extrair um caudal virtual de 176,0 L/s continuamente durante um ano de 365 dias. No entanto, dado que existem muitos pontos de água ao longo da área em estudo, e que a partir destes é extraída água de forma contínua ou intermitente, acredita-se que a ordem de grandeza deste valor ocorrerá na realidade, pois, por exemplo, ao se considerar o número de pontos de água de 40 (ligeiramente superior ao registado, 32, pois admite-se que não se registaram todos) para a globalidade da bacia da Ribeira das Cortes, resulta um caudal médio, em contínuo, de 4,4 L/s, valor que é perfeitamente aceitável para a zona em estudo no seio da Serra da Estrela.

O fluxo subterrâneo cria-se a partir da precipitação que se infiltra em meios porosos e permeáveis. Em meios isotrópicos, sendo função da geometria e da topografia do local onde acontece, resultam as linhas de fluxo e superfícies equipotenciais.

Em maciços homogêneos pode ocorrer uma situação parecida à Figura 4.22, onde existe claramente uma recarga que contribui para ressurgir localmente e outra parte que evolui mais profundamente e recarrega os sistemas de aquíferos de grande profundidade, percorrendo grandes extensões de fluxos subterrâneos.

Em zonas de grande atividade do fluxo de águas subterrâneas, a água move-se através dos poros ou fissuras sob a influência do fluido potencial. Este é um fenómeno tri-dimensional, apesar de comumente se representar a duas dimensões.

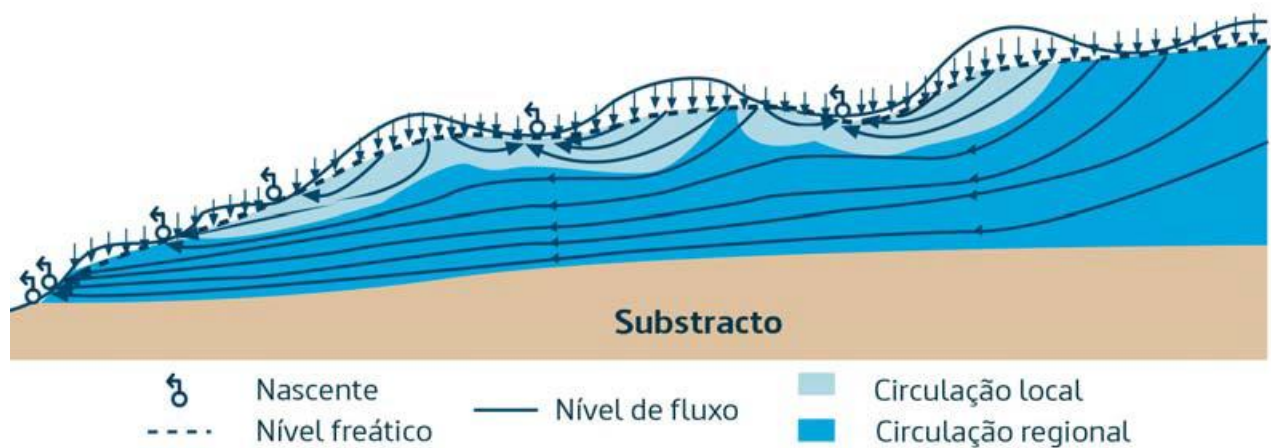


Figura 4.22 - Esquema genérico de modelo geohidráulico em situações de topografia particular de um maciço superficial homogêneo sobre um substrato impermeável (Ferreira Gomes *et al.* 2012).

A nível de quantificar as reservas disponíveis no maciço granítico da Serra da Estrela é de todo importante saber a rede de fluxo das águas a partir do momento em que estas penetram no maciço. O estudo do fluxo é facilitado pela representação gráfica dos caminhos percorridos pela água e da correspondente dissipação da carga. Para se analisarem as recargas dos aquíferos foi efetuado um corte da zona em estudo, como já se referiu no item anterior, Figura 4.21. Pode verificar-se que há a infiltração de um fluxo que evolui em termos subterrâneos e tende a ressurgir em nascentes logo a seguir em cotas mais baixas em relação à cota de recarga. A evolução do fluxo subterrâneo para grandes profundidades, tende a acontecer mais favoravelmente quando, por vezes, surgem filões e falhas semi-verticais, que favorecem a recarga para grandes profundidades e possivelmente ao longo de grandes distâncias.

Em aquíferos livres algumas das características são comuns com as áreas de recarga, e as suas áreas de descarga têm muitos denominadores comuns. Áreas de recarga são normalmente em

zonas topograficamente mais altas, sendo as zonas de descarga normalmente mais baixas a nível topográfico. As linhas de fluxo em zonas de recarga tendem a convergir para zonas de descarga. Esta convergência não acontece caso a zona de descarga seja grande, tal como nas zonas costeiras.

No campo, a vegetação e o aparecimento de água à superfície, ou mesmo o solo húmido são muitas vezes usadas para localizar estas zonas de descarga. Por vezes existem outras manifestações de zonas de descarga, caso sejam detetadas nascentes, lagos ou minas.

Relativamente ao caso específico da implantação da Barragem da Ribeira das Cortes e analisando a Figura 4.20, pode-se reparar nas 2 (das inúmeras possíveis) linhas de fluxo que irão sair desta zona específica e que se desenvolvem até possivelmente à Nascente dos Calções na Bouça, atravessando 12 linhas equipotenciais. Estas linhas de fluxo percorrem todo o maciço granítico até à zona xistosa da Bouça, onde é obrigada a subir devido à impermeabilidade do xisto, emergindo na Nascente dos Calções. Todas as outras linhas de fluxo, para cálculos comparativos de caudais com origem na zona da barragem, são desprezáveis, pois não contém a carga hidráulica proporcionada pela Barragem da Ribeira das Cortes, bem como a sua largura à superfície de 400 metros. A albufeira vai permitir significativas infiltrações no sub-solo resultando conseqüentemente um ligeiro aumento da quantidade de água na dita nascente dos Calções.

Assim, considerando o modelo geohidráulico em associação à rede de fluxo para a zona em estudo, considerando as recargas na zona da Barragem e as descargas na zona da Nascente dos Calções, usando a equação nº 3.4 obtêm-se os resultados apresentados nas Tabelas 4.8 e 4.9.

Nos vários resultados, com os vários cenários, consideram-se três situações de valores de  $k$  para o maciço; o valor que à partida se considera como mais representante do maciço, como foi apresentado no item anterior, com base em estudos de Mendes (2006), ou seja  $k=1,85 \times 10^{-6}$  m/s, e ainda mais duas situações, uma de valor menor e outra de valor maior, no sentido de se verificar a influência deste parâmetro nos resultados finais.

Assim, da Tabela 4.8 merece salientar o seguinte:

- i) a situação da barragem permitirá incrementar os caudais subterrâneos em cerca de 8 a 11% em relação à situação dela não existir;
- ii) a variação dos valores do coeficiente de permeabilidade ( $k$ ), apesar de serem todos da mesma ordem de grandeza ( $10^{-6}$  m/s), levam a diferentes situações de caudais, resultando valores 3 a 5 vezes superiores ao usar  $k$  de maior valor; ora esta situação mostra bem a importância de se considerar um adequado valor de  $k$  no modelo geohidráulico num todo.

Os caudais obtidos na Tabela 4.8, não são comparáveis com o valor real que se obteve na Nascente dos Calções (4,2 L/s), pois são avaliados para espessuras unitárias (por metro de maciço). Assim, o ideal para tal comparação seria necessário saber qual é a espessura equivalente correta, mas não é fácil, pois os elementos disponíveis não são muitos, além de não haver ferramentas ainda precisas para esse tipo de cálculos principalmente quando se lida com meios rochosos naturais, fissurais e muito heterogénios. Assim, no sentido de se adquirir alguma sensibilidade sobre o assunto, considerem-se vários cenários de acordo com o apresentado na Tabela 4.9.

Entretanto, surge outra dificuldade para efeito de tais comparações entre os caudais obtidos e o medido na realidade, ou seja, como seria fundamental ter a certeza que o caudal medido na Nascente dos Calções será o valor certo que passa naquela secção da bacia da Ribeira das Cortes. Provavelmente na mesma zona, há mais pontos de água que nem sequer são visíveis, pois pode ressurgir água nas aluviões da zona da ribeira (ou ressurgir com certeza), e isso não se consegue saber com rigor devido à realidade da situação. Assim, de acordo, com a sensibilidade existente, admite-se que o caudal que passará naquela zona, será cerca de 3 vezes o medido na Nascente dos Calções (equivalente a 3 pontos de água - um na Nascente dos Calções, outro no fundo da linha de água, e ainda o terceiro na outra vertente oposta à da Nascente dos Calções), resultando um valor de descarga de água subterrânea de cerca de 13 L/s.

Aquele cenário seria equivalente ao que se considera o maciço com  $K = 1,85 \cdot 10^{-6}$  m/s, para uma espessura equivalente de cerca de 25 m. Aquele valor será muito convergente com a situação dos caudais obtidos a partir do balanço hidrológico, se nesta zona da Bouça se considerassem de facto três pontos de água com o caudal médio que se obteve por ponto de água (4,4 L/s) resultando o valor global de 13,2 L/s.

Por fim, salienta-se que independentemente destes cenários, o valor que se obteve para a recarga de água subterrânea global, a partir dos superhávirs hídricos, será muito próximo da realidade, desde que o clima continue similar ao que se verificou na região nas últimas décadas que serviram de base aos registos dos elementos climatológicos considerados de base nesses cálculos, e que resultou a reserva anual de:  $5,55 \times 10^9$  m<sup>3</sup>.

Aquele valor, com a Barragem da Ribeira das Cortes, de acordo com os cenários apresentados, acredita-se que poderá ser acrescido de cerca de 10%.

**Tabela 4.8 - Cenários sobre caudais estimados para a zona da Nascente dos Calções considerando o maciço da zona em estudo em diferentes situações de permeabilidade, sem e com a potencial barragem das Cortes para situações unitárias (considerando a percolação num metro virtual do maciço).**

Parametro	k [m/s]	Sem a Barragem	Com a Barragem	Incremento de caudal com a barragem (%)
$n_f$	$1 * 10^{-6}$	6	6	11
$n_p$		12	12	
$\phi = n_f/n_p$		0,5	0,5	
$H_{m\acute{a}x}$ (m)		1260	1310	
$H_{m\acute{i}n}$ (m)		700	700	
$H = H_{m\acute{a}x} - H_{m\acute{i}n}$		560	610	
Q ( L/s)/m		0,28	0,31	
$n_f$		$1,85 * 10^{-6}$	6	
$n_p$	12		12	
$\phi = n_f/n_p$	0,5		0,5	
$H_{m\acute{a}x}$ (m)	1260		1310	
$H_{m\acute{i}n}$ (m)	700		700	
$H = H_{m\acute{a}x} - H_{m\acute{i}n}$	560		610	
Q ( L/s)/m	0,52		0,56	
$n_f$	$5 * 10^{-6}$		6	6
$n_p$		12	12	
$\phi = n_f/n_p$		0,5	0,5	
$H_{m\acute{a}x}$ (m)		1260	1310	
$H_{m\acute{i}n}$ (m)		700	700	
$H = H_{m\acute{a}x} - H_{m\acute{i}n}$		560	610	
Q ( L/s)/m		1,40	1,52	

**Tabela 4.9 - Cenários sobre caudais estimados para a zona da Nascente dos Calções considerando o maciço da zona em estudo em diferentes situações de permeabilidade, sem e com a potencial barragem das Cortes, para diferentes espessuras virtuais de maciço em recarga .**

Espessura (m)	1	10	20	50	m
$K = 1 * 10^{-6}$ m/s	0,28	2,8	5,6	14,0	Sem a barragem
$K = 1,85 * 10^{-6}$ m/s	0,52	5,2	10,4	25,9	
$K = 5 * 10^{-6}$ m/s	1,4	14,0	28,0	70,0	
$K = 1 * 10^{-6}$ m/s	0,31	3,1	6,2	15,3	Com a barragem
$K = 1,85 * 10^{-6}$ m/s	0,56	5,6	11,3	28,2	
$K = 5 * 10^{-6}$ m/s	1,53	15,3	30,6	76,3	



# Capítulo 5

## Conclusões

A Barragem da Ribeira das Cortes é parte integrante do “Projeto de Abastecimento de Água em Alta ao Concelho da Covilhã” realizado pela COBA - Consultores de Engenharia Lda. à ICOVI - Infra-estruturas e Concessões da Covilhã, EEM. e à Câmara Municipal da Covilhã, sendo uma ambição do Concelho da Covilhã que já data desde 1992. A Ribeira das Cortes é um afluente do Rio Zêzere e a sua barragem ficaria a cerca de 4 km da Cidade da Covilhã e 3 km abaixo da atual Barragem da Cova do Viriato. Inserida na vertente oriental da Serra da Estrela, a Ribeira das Cortes desenvolve-se entre a plataforma das Penhas da Saúde e a depressão do Curral do Vento.

A Bacia criada pela Ribeira das Cortes tem uma área de 24,7 km<sup>2</sup> e geometricamente tem uma forma elíptica. Esta, na sua maioria está envolvida litologicamente por granitos com cerca de 280 a 340 milhões de anos.

Em termos de clima e a zona em estudo caracteriza-se por, na maior parte do ano ter temperaturas médias entre os 0°C e os 10°C e em relação à precipitação, as médias costumam rondar entre os 1600 mm e os 2000mm.

A partir do balanço hidrológico obteve-se um superavit hídrico anual, SH, de 1125,4 mm. Daqueles considerou-se para o escoamento subterrâneo, G, o valor de 225,1 mm por ano, valor este que corresponde a uma taxa de infiltração de 14,4% para a recarga de água subterrânea, em relação à precipitação.

A nível dos caudais que foram medidos, pode parecer uma enorme discrepância entre o mínimo de 0,1 L/s e o máximo de 50 L/s. Esta grande discrepância deve-se aos caudais medidos em nascentes e na própria Ribeira das Cortes. As nascentes na sua maioria tinham caudais relativamente baixos devido a serem quase todas inventariadas na sua origem.

Quanto à qualidade da água nos pontos seleccionados, pode dizer-se que no geral não parece haver situações muito graves, no entanto, pontualmente, alguns pontos de água (os que apresentam Eh negativo) entende-se terem contaminação orgânica, de origem nas fezes do gado caprino, que é abundante na região.

No ponto de água mais importante deste estudo, “Fonte dos Calções”, o caudal total aferido foi de 4,2L/s. Os registos físico-químicas feitos à boca da captação permitiram obter em

termos médios condutividade de 36,03  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , temperatura de 12,7°C, resistividade de 15,16  $\text{k}\Omega.\text{cm}$ , pH de 5,30, TDS de 33,15  $\text{mg}/\text{L}$ , e por fim Eh de 38,7 mV. Esta água, considera-se representativa das situações mais frequentes da bacia, e salienta-se ser hipossalina, devido a apresentar mineralização muito baixa.

Em termos hidrogeológicos, a bacia propriamente dita da Ribeira das Cortes evidencia 2 unidades: Granitóides e Rochas xistentas. Os fluxos são infiltrados nas áreas de terrenos graníticos essencialmente acima da altitude de 700m, recarregando assim esta unidade. Quando o fluxo encontra as rochas xistentas, tende a ressurgir na zona de contacto, nomeadamente, no melhor ponto de água inventariado, que é a “Fonte dos Calções” (ver modelo geohidráulico, na Figura 4.21).

Relativamente à recarga das reservas aquíferas disponíveis, considerando  $G = 225,1 \text{ L}/\text{m}^2$ , que alargado à área total da bacia hidrográfica da Ribeira das Cortes (24,7  $\text{km}^2$ ), obtém-se uma recarga anual média de  $5,55 \times 10^9 \text{ m}^3$ . Considerando o número de pontos de água admitidos para toda a bacia da Ribeira das Cortes, resulta um caudal médio, em contínuo, de 4,4 L/s.

A partir de alguns cenários construídos em torno do modelo geohidráulico da bacia, considerando vários coeficientes de permeabilidade (k), e admitindo situações sem a barragem e com a barragem, salienta-se o seguinte:

- i) o surgimento da barragem permitirá incrementar caudais subterrâneos em cerca de 8 a 11% em relação à situação dela não existir;
- ii) há muita sensibilidade a mudanças de k, obtendo-se caudais 3 a 5 vezes superiores ao usar valores de  $1,85 \times 10^{-6}$ , e  $5 \times 10^{-6} \text{ m}/\text{s}$ , respetivamente em relação a apenas  $1 \times 10^{-6} \text{ m}/\text{s}$ ;
- iii) o caudal obtido através da rede de fluxo construída de propósito para o presente estudo, de entre vários cenários, entende-se que o mais adequado é aquele que considera o maciço com  $K = 1,85 \times 10^{-6} \text{ m}/\text{s}$ , para uma espessura equivalente de cerca de 25 m. Aquele cenário será adequado, admitindo que na secção da bacia na zona da Nascente dos Calções haja o caudal de cerca de 13,0 L/s no total, correspondente à soma do caudal de 3 pontos de água, o da própria Nascente dos Calções, outro no fundo da linha de água sob a corrente da Ribeira das Cortes, e um outro na vertente oposta à da Nascente dos Calções. Aquele valor será muito convergente com a situação dos caudais obtidos a partir do balanço hidrológico, se nesta zona da Bouça se considerassem de facto três pontos de água com o caudal médio que se obteve por ponto de água (4,4 L/s) resultando o valor global de 13,2 L/s.

Por fim, apesar de haver muitas dificuldades no rigor dos vários resultados, salienta-se que independentemente dos vários cenários associados à rede de fluxo, o valor que se obteve para a recarga de água subterrânea global, a partir dos superavit hídrico, será muito próximo da

realidade, e que se considera como uma reserva anual provável com o valor  $5,55 \times 10^9 \text{ m}^3$  por ano.

Aquele valor, com a Barragem, de acordo com os cenários apresentados, acredita-se que poderá ser acrescido de cerca de 10 por cento.

Sobre trabalhos futuros salienta-se que seria de todo importante aprofundar-se o conhecimento com rigor do coeficiente de permeabilidade, aferir o modelo geohidráulico e respetiva rede de fluxo, além de haver vantagem em modelar toda a bacia a partir de softwares de elementos finitos de modo a facilitar a criação de vários cenários e assim com alguma rapidez aferir sobre as reservas de água subterrânea na bacia da Ribeira das Cortes.



# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADNA (2014) - Águas do Norte Alentejano, site: [www.adna.com.pt](http://www.adna.com.pt)
- Almeida, L.; Silveira, P.; Abreu, R.; Costa, R.; Rodrigues, V.; Rebelo, V.; Silva, A. P.; Soares, S.; Almeida, R.; Costa, C. S.; Gusmão, L.; Farinha, B.; Godinho, J.; Varela, P.; Netp, J.; Vale, J.; Salgado, R.; Oliveira, L.; Neves, C. (2009) - “Projecto de Abastecimento de Água em Alta ao Concelho da Covilhã - Projecto de Execução”, Volume I - Memória Descritiva e Justificativa, Coba - Consultores de Engenharia Lda., 335 pp.
- APDA (2002) - “Quem é Quem No Sector das Águas de Portugal”, Edição da Associação Portuguesa de Drenagem e Distribuidores de Água, 154 pp.
- Carvalho, A. H.; Almeida, J. D.; Reis, E. M. (1961) - “Guia de Análise Química das Águas Potáveis, Minerais e Para a Indústria”, Rádio Renascença, Lisboa, 162 pp.
- Cavaleiro, V. (2001) - “Condicionantes geotécnicos à expansão do núcleo urbano da Covilhã”, Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 291 pp.
- Costa Brito, F. (2011) - “Modelação do Escoamento Subterrâneo do Sector do Ribeiro Frio do Sistema Aquífero da Água da Fonte da Fraga”, dissertação de mestrado apresentada à Universidade da Beira Interior, Covilhã, 171 pp.
- Custódio, E.; Llamas, M. R. (1996) - “Hidrologia Subterrânea”, 2ª ed., Tomo I e II, Ediciones Omega, Barcelona, 2350 pp.
- DAS (2006) - Directiva das Águas Subterrâneas, Directiva 2006/118/CE de 12 de Dezembro, “Protecção das águas subterrâneas contra a poluição e deterioração”, Parlamento Europeu e do Conselho, Jornal Oficial da União Europeia, nº372/19, 13 pp.
- DGEG (2014) - Direcção Geral de Energia e Geologia, site: [www.dgeg.pt](http://www.dgeg.pt)
- DL (1990<sup>a</sup>) - Decreto-Lei 90/90 de 16 de Março, “Disciplina o regime geral de revelação e aproveitamento dos recursos geológicos”, Diário da República nº63/90, série I-A, 9 pp.
- DL (1990b) - Decreto-Lei 84/90 de 16 de Março, “Aprova o regulamento de exploração das águas de nascente”, Diário da República nº63/90, série I-A, 3 pp.
- DL (1990c) - Decreto-Lei 86/90 de 16 de Março, “Aprova o regulamento das águas minerais”, Diário da República nº63/90, série I-A, 11 pp.
- DL (1990d) - Decreto-Lei 87/90 de 16 de Março, “Aprova o regulamento dos recursos geotérmicos”, Diário da República nº63/90, série I-A, 11 pp.
- DL (1997) - Decreto-Lei 235/97 de 3 de Setembro, “Regula a protecção das águas contra a poluição causada por nitratos de origem agrícola”, Diário da República, nº 203, série I-A, 5 pp.
- DL (1999<sup>a</sup>) - Decreto-Lei 68/99 de 11 de Março, “Regula a protecção das águas contra poluição causada por nitratos de origem agrícola”, Diário da República, nº 59, série I-A, 2 pp.

- DL (1999b) - Decreto-Lei 382/99 de 22 de Setembro, “Estabelece perímetros de protecção para captações de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público”, Diário da República, nº 222, série IA, 5 pp.
- DL (2005a) - Decreto-Lei 54/2005 de 15 de Novembro, “Estabelece a titularidade dos recursos hídricos”, Diário da República, nº219, série I-A, 6 pp.
- DL (2005b) - Lei da Água, Lei 58/2005 de 29 de Dezembro, “Estabelece as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas”, Diário da República, nº 249, série I-A, 44 pp.
- DL (2006a) - Decreto-Lei 77/2006 de 30 de Março, “Estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da política da água”, Diário da República, nº 64, série I-A, 24 pp.
- DL (2007a) - Decreto-Lei 226-A/2007 de 31 de Maio, “Regula os títulos de utilização dos recursos hídricos”, Diário da República, nº105, série I, 26 pp.
- DL (2008a) - Decreto-Lei 166/2008 de 22 de Agosto, “Estabelece o regime jurídico da Reserva Ecológica Nacional”, Diário da Republica, nº 162, série I, 20 pp.
- DL (2008b) - Decreto-Lei 208/2008 de 28 de Outubro, “Estabelece o regime de protecção das águas subterrâneas contra a poluição e deterioração”, Diário da República, nº 209, serie I, 7 pp.
- DL (2009) - Decreto-Lei 245/2009 de 22 de Setembro, “Actualiza os regimes de utilização dos recursos hídricos”, Diário da República, nº 148, série I-A, 2 pp.
- DQA (2000) - Directiva Quadro da Água, Directiva 2000/60/CE de 23 de Junho, “Estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da política da água”, Parlamento Europeu e do Conselho, Jornal Oficial das Comunidades Europeias, nº 327/1, 72 pp.
- Enes, P.S. (2011) - “Contribuição para o conhecimento hidrogeológico da freguesia de Creixomil no Concelho de Barcelos”, dissertação de mestrado apresentada à Universidade da Beira Interior, Covilhã, 156 pp.
- Espinha Marques, J.; Marques, J. M.; Chaminé, H. I.; Carreira, P. M.; Fonseca, P. E.; Samper, J.; Vieira, G. T.; Mora, C.; Teixeira, J.; Martins Carvalho, J.; Sodr e Borges, F.; Rocha, F. T. (2006) - “Hydrogeochemical Model of a Low Temperature Geothermal System in a Mountainous Terrain, Serra da Estrela, Central Portugal”, GRC Transactions, 7 pp.
- Ferreira, H. A. (1970) - “O clima de Portugal, normas climatológicas do continente, Açores e Madeira correspondentes a 1931-1960”, Serviços Meteorológico Nacional, Lisboa, 207 pp.
- Ferreira Gomes, L. M. (1995) - “Perímetro de protec o das termas de Unhais da Serra - Câmara Municipal da Covilhã”. Relatório técnico-científico, Departamento de Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 15 pp.
- Ferreira Gomes, L. M.; Machado Saraiva, C. M. A. (1997) - “Protection areas of the Unhais da Serra Spa, Portugal”, Marinos, P. G.; Koukis, G. C.; Tsiambaos, G. C.; Stournaras, G.C., 8 pp.
- Ferreira Gomes, L. M. (2001) - “Estudo hidrogeológico para enquadramento legal das termas

- de Longroiva - Câmara Municipal da Mêda”. Relatório técnico-científico, Departamento de Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 47 pp.
- Ferreira Gomes, L. M.; Albuquerque, F. J. A.; Fresco, H. (2001) - “Protection areas of S. Pedro do Sul Spa, Portugal”. Elsevier, Engineering Geology, Vol. 60 - Nos.1-4 pp483-490.
- Ferreira Gomes, L. M. (2006) - “Licenciamento de nova captação. Fonte da Fraga 9 - FdF9 (Captação nº9) das Águas de S. Vicente da Beira. Beira Vicente, Exploração e Comercialização de Águas de Mesa, Lda.”. Relatório técnico-científico, Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 37 pp.
- Ferreira Gomes, L. M.; Almeida, P. G. B.; Andrade Pais, L. J.; Mendes, E. (2011) - “Potencial de água subterrânea quente a partir de captações muito profundas na zona da Nave de Santo António - Serra da Estrela”, International Conference on Engineering UBI2011, 12 pp.
- Fetter, C. W. (1980) - “Applied Hidrogeology”, Charles E. Merrill Publishing Co., A Bell & Howell Company, 488 pp.
- IGM (1998) - “Recursos geotérmicos em Portugal Continental”, Baixa Entalpia, Ed. de IGM, DSGRG e DRHG, Lisboa, 23 pp.
- INETI (2011) - Glossário de Termos Hidrogeológicos, Laboratório Nacional de Energia e Geologia.
- Lencastre, A.; Franco, F. M. (1992) - “Lições de Hidrologia”, 2ª ed, Universidade Nova de Lisboa, 453 pp.
- Lobo Ferreira, J. P.; Oliveira, M. M.; Ciabati, P. (1995) - “Desenvolvimento de um inventário das águas subterrâneas em Portugal”, LNEC, volume I, 525 pp.
- Lotz (1945) - “Zur gliedrung der varisciden der iberiechien meseta”, Goteckt forsh 6, pp 78-92.
- Marques, J. M.; Carreira, P. M.; Espinha Marques, J.; Chaminé, H. I.; Fonseca, P. E.; Almeida, P. G.; Gomes, A.; Teixeira, J. (2008) - “About the impact of snowmelt as a source of hydromineral resources at a high mountain area (Serra da Estrela, Central Portugal), EU Groundwater Policy Developments Conference, 1 pp.
- Medeiros, A. (2004) - “Prospecção, Pesquisa e Dimensionamento de Captações de Água Subterrânea”, Manual de Engenharia das Águas Subterrâneas, Grundfos, 36 pp.
- Mendes, E. (2006) - “Perímetros de Protecção de Captações de Água Subterrânea Para Consumo Humano em Zonas de Montanha. Caso de Estudo da Cidade da Covilhã”, dissertação de mestrado apresentada à Universidade da Beira Interior, Covilhã, 122 pp.
- Mendes, E.; Ferreira Gomes, L. M.; Condesso de Melo, M. T. (2008) - “Contributo Para a Caracterização Hidrogeológica das Águas Subterrâneas do Maciço Granítico da Serra da Estrela”, Comunicações Geológicas, INETI, Tomo 95, Lisboa, pp. 61-71.
- Mendes, E. (2010) - “Modelos Geohidráulicos em Meios Fracturados de Rochas Graníticas - Caso de Estudo do Aquífero da Fonte da Fraga - Serra da Gardunha”, tese de doutoramento apresentada à Universidade da Beira Interior, Covilhã, 203 pp.

- Pereira, A. J.; Silva, A.; Lourenço, C.; Rodrigues, C.; Gomes, C. S.; Lourenço, C.; Rodrigues, F. J.; Teixeira, F.; Chaminé, H. I.; Silva, J. B.; Guedes, J. F.; Cortez, J. A.; Marques, J. M.; Carvalho, J. M.; Teixeira, J.; Aires-Barros, L.; Ferreira Gomes, L. M.; Canto, M. J.; Costa, M. S.; Morais, P. V. (2012) - “Águas Minerais Naturais e de Nascente da Região Centro”, Mare Liberum, 25pp.
- Portaria (2009) - Portaria 1115/2009 de 29 de Setembro, “Avalia e monitoriza o estado quantitativo das massas de água subterrâneas”, Diário da República, nº 189, série I, 3 pp.
- Quintela, A. (1996) - “Hidrologia e recursos hídricos”, Associação dos Estudantes do Instituto Superior Técnico, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Rahn, P. H. (1986) - “Engineering Geology”, Elsevier Science Publishing Co., 539 pp.
- Ribeiro, A.; Antunes T.; Ferreira, M. P.; Rocha, R.; Soares, F.; Zbyszewski, J.; Almeida, M.; Carvalho, D.; Monteiro, J. (1979) - “Introduction à la géologie générale du Portugal”, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Ribeiro, L. (2004) - “Águas Subterrâneas em Portugal Continental”, Manual de Engenharia das Águas Subterrâneas, Grundfos, 13 pp.
- Santos, P. (2014) - “Relatório Final de Estágio - Abastecimento de Água em Alta ao Concelho da Covilhã”, Icovi - Infra-estruturas e Concessões da Covilhã, EEM., 12 pp.
- SCE (1989) - Serviços Cartográficos do Exército, Carta Militar de Portugal à escala 1:25000, Folhas 223, 224, 234 e 235.
- Serrão, L. (2003) - “O Livro da Água”, Coleções Unibanco, Editora Barbara Palla e Carmo. Amadora, 206 pp.
- SGP (1992) - Serviços Geológicos de Portugal, Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000, Lisboa.
- SNIRH (2014) - Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, site: [www.snirh.pt](http://www.snirh.pt)
- Teixeira, C.; Santos J.P.; Carvalho H. F.; Fernandes A. P.; Vairinho, M. M. (1974) - “Notícia explicativa da folha 20-B (Covilhã)”, Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 52 pp.
- Wikipédia (2014) - site: [pt.wikipedia.org](http://pt.wikipedia.org).

# Anexos