

Universidade do Minho
Escola de Ciências

Proposta de um modelo hidrogeológico para a área das
Termas de Eirogo (Barcelos, Portugal)

Nuno Miguel Alves Ferreira

Proposta de um modelo hidrogeológico
para a área das Termas de Eirogo
(Barcelos, Portugal)

Nuno Miguel Alves Ferreira

UMinho | 2019

outubro de 2019



Universidade do Minho
Escola de Ciências

Nuno Miguel Alves Ferreira

Proposta de um modelo hidrogeológico para a
área das Termas de Eirogo (Barcelos,
Portugal)

Dissertação de Mestrado
Geociências
Valorização de recursos geológicos

Trabalho efetuado sob a orientação do(a)
**Professora Doutora Isabel Margarida Horta
Ribeiro Antunes**
Engenheiro Joaquim Ferreira Guedes

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos. Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada. Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.



Atribuição-NãoComercial-SemDerivações
CC BY-NC-ND

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Agradecimentos

Acima de todos, gostaria de agradecer aos meus pais por todo o apoio que me deram toda a minha vida e por sempre acreditarem em mim. Por sempre terem estado ao meu lado em todas as etapas, fossem elas fáceis ou difíceis. Por me terem ajudado a superar os obstáculos e por me levantarem após cada queda. Muito obrigado pelo esforço, paciência e dedicação que me tornaram na pessoa que hoje sou.

Agradeço também ao resto da minha família, especialmente aos meus avós. À minha avó Odete por todo o carinho e apoio constante, e à minha avó Teresa, que apesar de já não estar entre nós, me continua a dar forças para atingir os meus objetivos.

Passo a agradecer aos meus orientadores. À Professora Doutora Margarida, pela sua ajuda e paciência, durante todo o ano, e sobretudo na fase de escrita, pela correção dos inúmeros erros de distração. Sem a sua orientação, esta dissertação não seria possível. Agradeço também a coorientação do Engenheiro Joaquim Guedes e a disponibilização de uma grande quantidade de informação sem a qual seria quase impossível atingir o resultado final da dissertação. Muito obrigado aos dois pela ajuda imprescindível.

Ao Professor Doutor Jorge Pamplona, devo a ajuda na realização do corte geológico e apoio na parte geológica estrutural. Agradeço também as suas dicas e sugestões para a melhoria na qualidade das imagens realizadas.

À Doutora Acacia Naves, da Universidade da Corunha, agradeço toda a ajuda e sugestões na parte do modelo concetual e na disponibilidade de alguma bibliografia que acrescentou informação essencial em falta.

Por último agradeço a todos os meus amigos e colegas, sobretudo aos que passaram os dias na biblioteca comigo. As ideias e sugestões que surgiram das pequenas discussões casuais que ocorriam diariamente serviram para a melhoria de pequenos pormenores que juntos fizeram a diferença na qualidade da dissertação.

Não teria conseguido atingir este patamar sem o vosso apoio. A todos vocês, muito obrigado.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração. Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Resumo

As águas minerais são um recurso com uma importância crescente em Portugal Continental, sobretudo no ramo terapêutico e qualidade de vida. Com este interesse crescente surge também a necessidade para um maior conhecimento do recurso com o intuito de garantir a preservação da sua qualidade durante todo o ciclo de exploração. A criação de um modelo hidrogeológico concetual disponibiliza a informação necessária e apresenta-a de maneira a que a sua interpretação seja facilitada. Isto torna-se vantajoso, quer para investigações futuras, quer para decisões de cariz técnico, como a abertura de um furo novo.

A exploração das Termas de Eirogo, localizadas perto da cidade de Barcelos (Portugal), é de grande interesse para a região. A sua exploração está atualmente suspensa, mas há planos para retomar e reconstruir as instalações, o que motivou um estudo preliminar hidrogeológico e geoquímico da área termal. O interesse provém da fácies sulfuretada da água que a tornam ideal para uso no tratamento de doenças respiratórias, doenças músculo-esqueléticas, doenças de pele e até doenças ginecológicas.

A área de estudo, que é a bacia hidrográfica de Ribeira de Pontes, é dominada por rochas graníticas intrudidas em rochas metassedimentares. Na área ocorrem, também, depósitos de idade Quaternária e uma camada regolítica com poucos metros de espessura, através da qual a água infiltrada circula superficialmente, sendo depois descarregada nos cursos de água. O fluxo de água subterrânea ocorre somente através de fraturas e falhas em profundidades mais elevadas seguindo caminhos de fluxo de médio e longo prazo.

Após a realização deste estudo, concluiu-se que a área de recarga preferencial da água mineral Eirogo está localizada na zona NE da bacia hidrográfica de Ribeira de Pontes, a uma altitude de cerca de 300 m. A água flui principalmente através de uma falha extensa, com orientação NE-SW, que atravessa a bacia hidrográfica e passa próximo da área termal. A água mineral atinge profundidades de cerca de 3260 m e atingindo uma temperatura aproximada de 123°C. Em seguida, volta à superfície através de uma área densamente fraturada, na qual a captação atual de água termal está localizada.

Palavras chave: Termas de Eirogo, Modelo Hidrogeológico, Norte de Portugal, Águas minerais

Abstract

Thermal waters are a resource with increasing importance in mainland Portugal, especially in the therapeutic field and quality of life. With this growing interest also arises the need for greater knowledge of the resource in order to ensure the preservation of its quality throughout the exploration cycle. The creation of a conceptual hydrogeological model provides the necessary information and presents it so that its interpretation is facilitated. This is advantageous for future investigations and technical decisions such as drilling a new hole.

The exploration of the Eirogo Hot Springs, located near the city of Barcelos (Portugal), is of great interest to the region. Its exploration is currently suspended, but there are plans to retake and rebuild the facilities, which prompted a preliminary hydrogeological and geochemical study of the thermal area. The interest comes from the sulphide facies of water that make it ideal for use in the treatment of respiratory, musculoskeletal, skin and even gynecological diseases.

The study area, which is the Ribeira de Pontes watershed, is dominated by intruded granitic rocks in metasedimentary rocks. In the area there are also deposits of Quaternary age and a regolithic layer with a few meters of thickness, through which the infiltrated water circulates superficially, being discharged in the watercourses. Groundwater flow occurs only through fractures and faults at higher depths following medium and long term flow paths.

Following this study, it was concluded that the preferred recharge area of Eirogo thermal water is located in the NE area of the Ribeira de Pontes watershed, at an altitude of about 300 m. Water flows mainly through an extensive NE-SW oriented fault that runs through the watershed and passes near the thermal area. The thermal water reaches depths of about 3260 m, and an approximate temperature of 123°C. Then returns to the surface through a densely fractured area in which the current thermal water abstraction is located.

Key words: Termas de Eirogo, Hydrogeological Model, Northern Portugal, Mineral waters.

Conteúdo

| | |
|---|----|
| 1. Introdução | 1 |
| 2. Águas minerais | 4 |
| 2.1- Enquadramento Legal..... | 4 |
| 2.2- Classificação das águas minerais | 4 |
| 2.3- Caraterização Hidrogeoquímica | 5 |
| 3. Caraterização da Zona de Estudo | 8 |
| 3.1- Enquadramento geográfico | 8 |
| 3.2- Geomorfologia e Geologia..... | 9 |
| 3.3- Hidrologia e Hidrogeologia | 13 |
| 3.4- Clima | 16 |
| 3.5- Uso e Ocupação do Solo | 18 |
| 4. Termas de Eirogo..... | 21 |
| 4.1. História das Termas de Eirogo | 21 |
| 4.2. Hidroquímica..... | 24 |
| 5. Hidrogeoquímica | 31 |
| 5.1- Espécies reduzidas de Enxofre..... | 31 |
| 5.2- Espécies oxidadas de Enxofre | 32 |
| 5.3- Fluoreto | 32 |
| 5.4- Amónio..... | 33 |
| 5.5- Cloreto | 34 |
| 5.6- Carbono Inorgânico Dissolvido | 34 |
| 5.7- Sódio | 34 |
| 6. Modelo hidrogeológico concetual | 36 |
| 6.1- Metodologia | 36 |
| 6.1.1- Isótopos Ambientais..... | 36 |
| 6.1.2- Geotermometria..... | 37 |
| 6.2- Proposta do modelo concetual para as Termas de Eirogo..... | 39 |
| 7. Conclusão | 42 |
| Bibliografia | 43 |
| Webgrafia..... | 45 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1: Distribuição das temperaturas das ocorrências termais em Portugal Continental (LNEG, 2010). | 5 |
| Figura 2: Distribuição do quimismo das diferentes ocorrências termais em Portugal continental (LNEG, 2010)..... | 6 |
| Figura 3: Localização geográfica da bacia hidrográfica da Ribeira de Pontes (adaptado de CAOP, 2018) (Realizado em QGIS 2.18)..... | 8 |
| Figura 4: Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica da Ribeira de Pontes (Realizado em QGIS 2.18)..... | 9 |
| Figura 5: Esboço geológico da bacia hidrográfica da Ribeira de Pontes. Detalhe adaptado da carta geológica 1:50000 5-C (Barcelos) e nomenclatura adaptada da carta geológica 1:200000 Folha 1 (Realizado em QGIS 2.18)..... | 11 |
| Figura 6: Corte geológico realizado ao longo da falha de orientação NE-SW..... | 12 |
| Figura 7: Falhas detetadas pelos trabalhos geofísicos realizados na zona das termas de Eirogo (Realizado em QGIS 2.18)..... | 12 |
| Figura 8: Rede hidrográfica da bacia hidrográfica da Ribeira de Pontes (Realizado em QGIS 2.18)..... | 13 |
| Figura 9: Enquadramento hidrogeológico da área de estudo (Adaptado de SNIRH, 2001) (Realizado em QGIS 2.18)..... | 15 |
| Figura 10: Classificação climática de Koppen para Portugal Continental (IPMA, 2019) | 16 |
| Figura 11: Climograma para a região de Barcelos (dados obtidos do SNIRH, 1987/88 até 2017/18) | 17 |
| Figura 12: Carta de Uso e Ocupação do solo da bacia hidrográfica da Ribeira de Pontes (adaptado de Corine Land Cover, 2018) (Realizado em QGIS 2.18)..... | 18 |
| | 18 |
| Figura 13: Entrada principal das Termas de Eirogo (Wikipédia, 2019) | 21 |
| Figura 14: Furo “Castanheirinhos” | 22 |
| Figura 15: Furo “Quinta do Eirogo” | 22 |
| Figura 16: Localização dos pontos de amostragem “Mosqueiro”, “Quinta do Eirogo”, “Castanheiros” e “Castanheirinhos” | 27 |
| Figura 17: Composição média das águas minerais das Termas de Eirogo. | 30 |
| Figura 18: Projeção da espécie dominante de enxofre nas águas do Eirogo (Diagrama Eh-pH retirado de Lima, 2011) | 31 |
| Figura 20: Mapa hipsométrico e estrutura geológica de maior dimensão da bacia hidrográfica da Ribeira de Pontes. Encontram-se presentes algumas possíveis áreas de recarga. (Realizado em QGIS 2.18)..... | 40 |
| Figura 21: Modelo hidrogeológico concetual para a área das Termas de Eirogo..... | 41 |

Índice de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Número e comprimento das linhas de água da bacia hidrográfica da Ribeira de Pontes..... | 13 |
| Tabela 2: Valores de precipitação total anual da série pluviométrica de 1987/1988 a 2017/2018 | 17 |
| Tabela 3: Nomenclatura para a área de estudo (adaptada de Corine Land Cover, 2018) | 19 |
| Tabela 4: Área e correspondente percentagem de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica da Ribeira de Pontes | 20 |
| Tabela 5: Amostras de água realizadas na região das Termas de Eirogo. | 25 |
| Tabela 6: Resultados obtidos para os pontos de recolha “Mina para abastecimento”, “N.Quinta” e “Ribeira do Eirogo”. | 26 |
| Tabela 7: Dados obtidos das recolhas de água dos pontos “Mosqueiro”, “Quinta do Eirogo” e “Castanheiros” | 28 |
| Tabela 8: Dados obtidos das recolhas de água do ponto “Castanheirinhos”. | 29 |
| Tabela 9: Valores padrão para os isótopos ^1H e o ^{16}O | 37 |
| Tabela 10: Geotermómetros utilizados no cálculo da temperatura da água das Termas de Eirogo e seus resultados. | 38 |
| Tabela 11: Dados isotópicos para as águas minerais de Eirogo (retirado de Lima, 2001). | 39 |

1. Introdução

As águas minerais termais constituem um recurso natural abundante em Portugal Continental, particularmente na zona Norte. A diversidade de nascentes de água com mineralização associada e potenciais efeitos para a saúde e ambiente, promovem o aproveitamento dos recursos hidrogeológicos (termalismo), como uma das potencialidades hidrogeológicas desta região do país. É, geralmente, na intersecção entre extensas falhas regionais e suas conjugadas que se criam as condições mais adequadas para a ascensão de fluidos termais, de elevada temperatura, provenientes de zonas profundas da crosta, exibindo à superfície alterações, mais ou menos acentuadas. Tais alterações são de natureza físico-química, como é o caso do aumento da temperatura e do enriquecimento em mineralização. O termalismo em Portugal Continental é classificado de baixa entalpia pois a água apresenta temperaturas inferiores a 150 ° C (Lourenço, 1998).

A exploração destas águas é muito impactante na socio-economia da região onde se encontram as termas e para o país me geral. Referindo apenas as receitas das termas em 2018, sem ter em conta os ganhos que algumas regiões têm através do engarrafamento das águas, foi conseguido, a nível nacional, um total 13,07 milhões de euros (DGEG, 2019). As visitas aos estabelecimentos podem ser divididas em duas categorias. A primeira denominada de “Termalismo Clássico” consiste na utilização das águas minerais para fins terapêuticos e teve um total de 37767 aquistas em 2018. A segunda categoria denomina-se “Termalismo de Bem-Estar” e refere-se a todas as visitas para fins de relaxamento e não terapêuticos, tendo sido registadas, também em 2018, 77151 aquistas. Assim sendo, para 2018, temos um total combinado de 114918 aquistas que visitaram as termas Portuguesas (DGEG, 2019).

A história das termas teve início há milhares de anos atrás, no tempo da Civilização Grega, muito antes dos povos romanos. Inicialmente, as termas representavam zonas de atividades lúdicas e de lazer. Com o passar dos anos, um historiador grego, Heródoto, e o médico Hipócrates, começaram por atribuir um significado medicinal às águas minerais (Ramos, 2005).

Com a tomada do Império Romano, as termas voltaram a ganhar uma importância lúdica e social, já que os banhos públicos ganharam importância e as pessoas juntavam-se em grandes salas termais. Neste tempo, tinham também uma importância higiénica adicional, sendo nestes locais onde as pessoas tratavam da sua higiene pessoal (Ramos, 2005). Sabe-se, ainda, que foram também os romanos, os responsáveis por difundir uma cultura termal pelas várias zonas do Império que foram construindo. Assim sendo, é de esperar que a cultura termal portuguesa seja

idêntica à de outros países influenciados pelo Império Romano (Cantista, 2010).

As águas minerais são consideradas como um recurso de domínio público, segundo a Lei nº 54/2015 de 22 de julho (Diário da República, 2015). Neste sentido, a sua exploração deve ser controlada e realizada de modo a manter a qualidade e a quantidade adequada de água mineral. Para uma melhor e eficiente exploração deste recurso, é necessário um conhecimento detalhado das condições hidrogeológicas dos locais onde ocorre, através da elaboração de um modelo hidrogeológico. Os modelos hidrogeológicos englobam uma grande quantidade de informação regional e local, como seja as condições climáticas, unidades litológicas e hidrogeológicas, topografia, estruturas geológicas, rede hidrográfica, entre outra (Betancur, 2012). A integração de toda esta informação permite delinear um modelo para o fluxo hidrotermal, desde a origem do fluido, em profundidade, até a sua descarga, próximo da superfície.

Atualmente, existem várias ocorrências termais em Portugal Continental. Uma parte destas ocorrências encontra-se em exploração, tanto por entidades públicas como privadas. As explorações variam em escala, desde o seu uso apenas por locais, até algumas que são conhecidas a nível nacional, e na finalidade das águas, que depende das propriedades físico-químicas das mesmas. Algumas destas concessões, como as Termas de São Pedro do Sul (Almeida *et al*, 2015), com um impacto nacional, ou, as Termas das Caldas do Carlão (Gonçalves, 2016), com um impacto mais local, possuem estudos hidrogeológicos e propostas de modelos conceituais hidrogeológicos que permitem um maior conhecimento do recurso e uma exploração mais cuidada. No entanto, existem zonas termais, quer em exploração, quer ao abandono ou com atividade suspensa, que não possuem estudos suficientes, nem um documento base, que proporcione um conhecimento adequado do sistema aquífero, permitindo uma exploração mais eficaz e eficiente.

Com este trabalho pretende-se um estudo hidrogeológico detalhado de uma área de ocorrência termal - as Termas de Eirogo, localizadas em Barcelos, na zona norte de Portugal Continental. A exploração das Termas de Eirogo encontra-se, de momento suspensa, e em fase de planeamento de reabertura, com a construção de um novo balneário termal. A água das Termas de Eirogo é fracamente mineralizada e possui uma fácies, essencialmente, cloretada-sódica sulfureta (Vasconcelos, 2017). O enxofre presente na água torna-a apropriada para o tratamento de doenças do aparelho respiratório, dermatológicas, reumáticas, músculo esqueléticas e ginecológicas (Cantista, 2010).

Este estudo tem como objetivo final a proposta de um modelo hidrogeológico conceitual para a ocorrência hidromineral das Termas de Eirogo. A definição deste modelo hidrogeológico,

consistirá na junção da informação, de diferente natureza, sobre o recurso, disponível em diversos documentos (Marques *et al.*, 2019). O conhecimento do modelo hidrogeológico possibilitará uma exploração mais eficaz e eficiente do recurso hidromineral e fornecerá uma base importante para o desenvolvimento de futuras investigações (Sundell *et al.*, 2019).

2. Águas minerais

2.1- Enquadramento Legal

As águas minerais estão localizadas no subsolo, geralmente a elevada profundidade, possuindo uma composição química natural resultante da interação entre a água e as rochas por onde circula, pelo que são consideradas como recursos geológicos.

De acordo com a Lei nº 54/2015 de 22 de junho, relativa ao aproveitamento dos recursos geológicos existentes no território nacional, no seu Capítulo I, Artigo 1.º, os Recursos geológicos são definidos como “*todos os bens naturais designados por depósitos minerais; águas minerais naturais; águas minero-industriais; recursos geotérmicos; massas minerais; águas de nascente*”, em que as águas minerais correspondem a “águas minerais naturais”. As águas minerais naturais, estão definidas no Artigo 2º do Capítulo 1, como “*as águas bacteriologicamente próprias, de circulação subterrânea, com particularidades físico-químicas estáveis na origem dentro da gama de flutuações naturais, de que podem resultar eventuais propriedades terapêuticas ou efeitos favoráveis à saúde*”. A nível da exploração dos recursos geológicos, no Artigo 36.º, ponto 1, prevê que “*todas as atividades e trabalhos a executar nas áreas concessionadas ficam sujeitas à aprovação (...) de um plano de exploração, para as águas minerais naturais e para os recursos geotérmicos*” (Diário da República, 2015).

2.2- Classificação das águas minerais

Segundo o Instituto de Hidrologia de Lisboa, as ocorrências termais podem ser classificadas quanto à sua temperatura e quanto à mineralização total. Quanto à temperatura, as ocorrências termais podem ser divididas em quatro categorias (Carvalho *et al.*, 1961):

- Hipotermiais – temperatura inferior a 25°C;
- Mesotermiais – temperatura entre 25°C e 35°C;
- Termiais – temperatura entre 35°C e 40°C;
- Hipertermiais – temperatura superior a 40°C.

Para temperaturas inferiores a 25°C, a água é classificada como fria. A maioria das ocorrências termais em Portugal Continental, cerca de 78%, apresenta uma temperatura muito baixa, entre 20°C e 40°C (Figura 1).

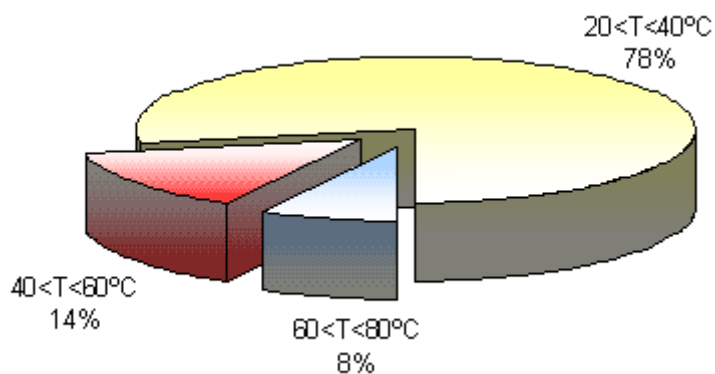


Figura 1: Distribuição das temperaturas das ocorrências termais em Portugal Continental (LNEG, 2010).

A classificação da água baseada na mineralização total considera, também, a ocorrência de quatro categorias (Carvalho *et al.*, 1961):

- Água Hipossalina – mineralização total inferior a 200 mg/L;
- Água fracamente mineralizada – mineralização total entre 200 mg/L e 1000 mg/L;
- Água Mesossalina – mineralização total entre 1000 mg/L e 2000 mg/L;
- Água Hipersalina - mineralização total superior a 2000 mg/L.

2.3- Caracterização Hidrogeoquímica

A caracterização hidrogeoquímica permite distinguir as águas com base nas suas principais propriedades e composição química. Esta composição química está diretamente associada com a interação água-rocha que depende de fatores como o tempo de residência da água no sistema e o gradiente geotérmico (Calado, 1995; 2001). Para Portugal Continental, foram propostos nove tipos hidrogeoquímicos consoante as espécies químicas dominantes (Calado, 1995):

- Água Sulfúrea Sódica
- Água Gasocarbónica
- Água Bicarbonatada Sódica
- Águas Bicarbonatada cálcica e/ou magnesiana
- Água Cloretada sódica
- Água Cloretada sódica em ambiente metalífero
- Água Sulfatada cálcica em ambiente evaporítico
- Água sulfatada cálcica em ambiente metalífero
- Água Oxidrilada

Curto Simões (1993), também propõe uma classificação para as águas minerais. Esta divide-se nas seguintes categorias:

- Águas hipossalinas, cuja mineralização total é inferior a 200 mg/l;
- Águas sulfúreas, as que contêm formas reduzidas de enxofre;
- Águas gasocarbônicas, caracterizadas por terem mais de 500 mg/l de CO₂ livre;
- Águas cloretadas, cujo ião dominante é o cloreto;
- Águas sulfatadas, cujo ião dominante é o sulfato.

Dos diferentes tipos de água apresentados, as mais comuns são as águas sulfúreas sódicas, com maior abundância na região Norte de Portugal, as águas bicarbonatadas, distribuídas pelo Norte, Centro e Sul de Portugal, e as águas cloretadas com dominância na Costa Ocidental; dependendo das principais unidades litológicas presentes (Figura 2) (LNEG, 2010).

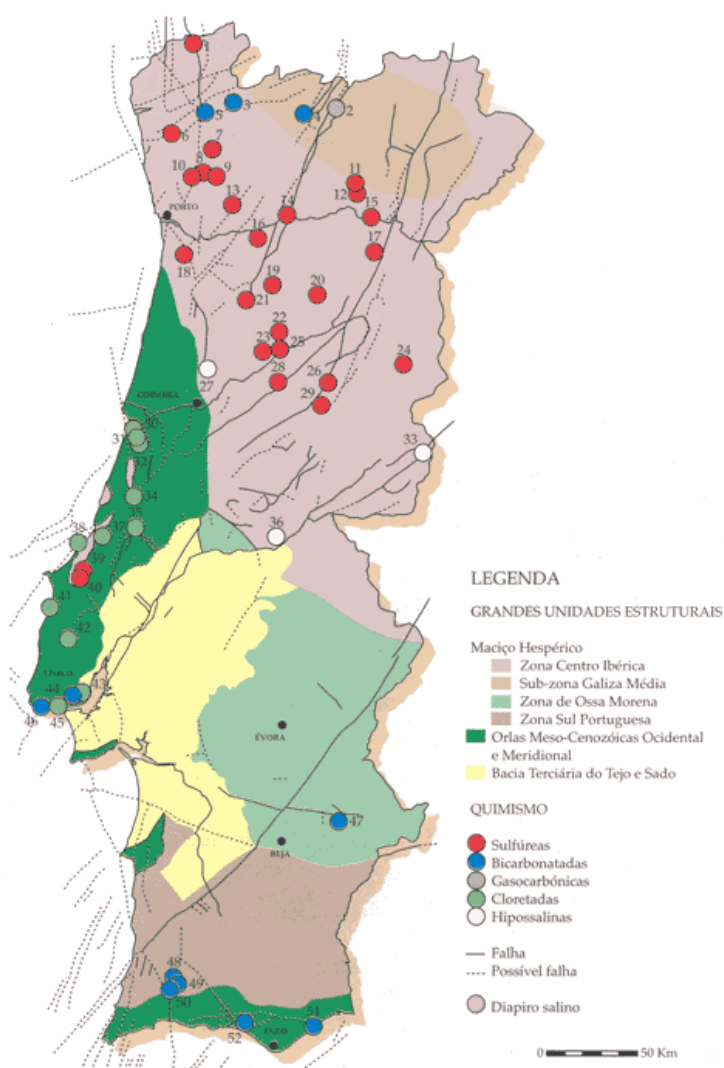


Figura 2: Distribuição do quimismo das diferentes ocorrências termais em Portugal continental (LNEG, 2010)

A água que ocorre nas Termas de Eirogo é uma sulfúrea sódica (Lima, 2006). Este tipo de água é pouco frequente a nível mundial, embora seja um dos mais comum em Portugal Continental, particularmente na Zona Centro Ibérica (Vasconcelos, 2017). Estas águas são preferencialmente designadas por sulfúreas alcalinas (Calado, 1995, 2001) e distinguem-se das restantes pela presença de formas reduzidas de enxofre, o que lhes confere o seu cheiro característico a “ovos podres”. A distinção das águas sulfúreas passou a ter, no final da década de 50, como base o valor de pH, em vez do catião dominante. Deste modo, passaram da designação de “sulfúreas sódicas” para “sulfúreas alcalinas”, devido ao seu valor de pH (Calado, 2001).

Como principais características hidrogeoquímicas das águas sulfúreas alcalinas em Portugal podem ser indicadas (Calado, 2001):

- pH elevado (superior a 8) e valores de Eh reduzidos (geralmente negativos);
- concentrações elevadas de cloreto (geralmente < 80mg/L);
- condutividade elétrica elevada (CE ≈450-700 μS/cm);
- concentrações elevadas de fluoreto (entre 10 mg/L e 20 mg/L);
- concentrações elevadas de carbono inorgânico dissolvido (CID) (entre 100-125 mg/L);
- teor de sílica na ordem das dezenas de mg/L (37.5-45 mg/L);
- presença de amónio sem nitritos ou nitratos (< 0.01mg/L);
- concentrações apreciáveis de alguns elementos vestigiais (\sum (Al, Mn, Be, Pb, Zn, Mo, W, B) ≈ 0.160-0.325 mg/L);
- mineralização total fraca.

Posteriormente, foram introduzidas três subdivisões para estas águas sulfúreas alcalinas em alcalinas, neutras (correspondente às águas da definição anterior) e hiper-alcalinas ou hidroxiladas. Estas divisões apresentam as seguintes características (Calado, 2001):

- Alcalinas: pH>7,5, muitas vezes próximo de 9, geralmente têm SH- sem H₂S livre, redutoras, concentrações de sílica elevadas, fluoreto > 10mg/L, hipossalinas (200-600 mg/L) (As águas do Eirogo encontram-se incluídas nesta subdivisão);
- Neutras: pH ≈7, redutoras, SH- e H₂S, meso a hipersalinas;
- Hiper-alcalinas: pH>10.

3. Caracterização da Zona de Estudo

3.1- Enquadramento geográfico

A zona de estudo corresponde à área termal das Termas de Eirogo. Esta área está inserida na bacia hidrográfica de Ribeira de Pontes, no distrito de Braga, concelho de Barcelos, freguesia de Galegos (Santa Maria) (Figura 3). A bacia hidrográfica tem uma área aproximada de 54,88 km² e um perímetro total de 37 km. O seu eixo mais alongado prolonga-se durante 13,1 km e tem uma

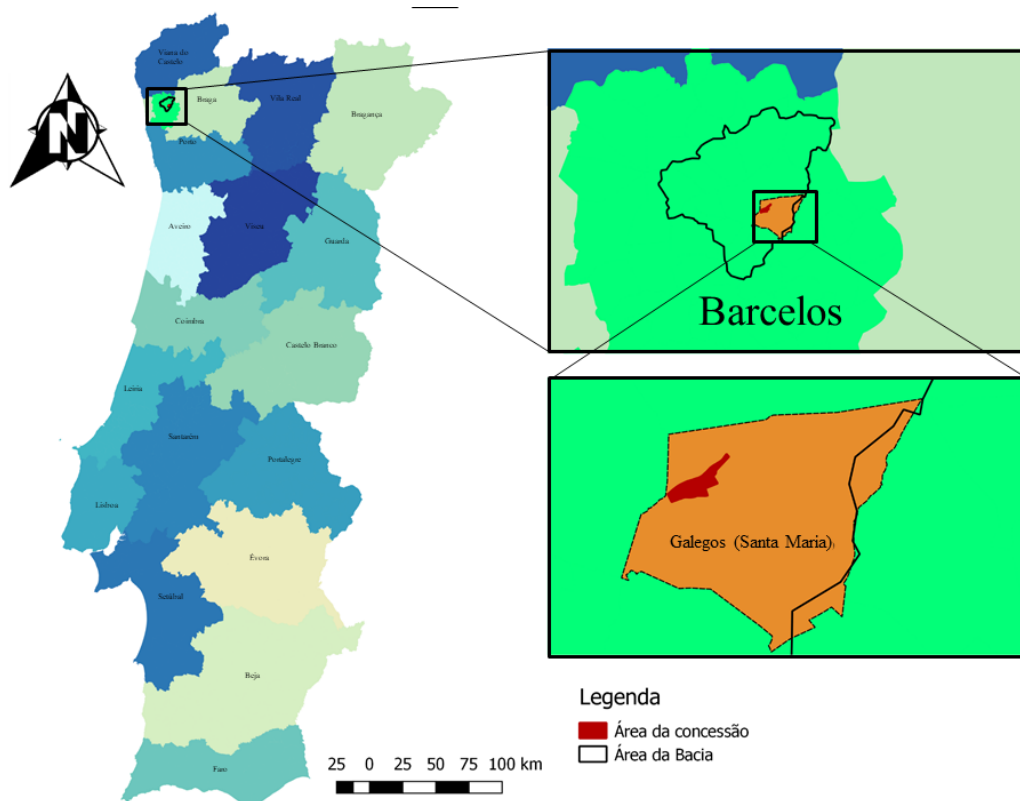


Figura 3: Localização geográfica da bacia hidrográfica da Ribeira de Pontes (adaptado de CAOP, 2018) (Realizado em QGIS 2.18)

A periferia da bacia é marcada pela presença de zonas montanhosas que atingem uma altitude máxima próxima de 450 m, na zona Oeste da bacia hidrográfica. Em oposição, a região central é aplanada com uma cota próxima de 40 m (Figura 4). Esta zona central corresponde à depressão de Barcelos (Teixeira e Medeiros, 1969). A zona das Termas de Eirogo, situa-se na depressão a uma cota aproximada de 33,5 m (Lima, 2006).

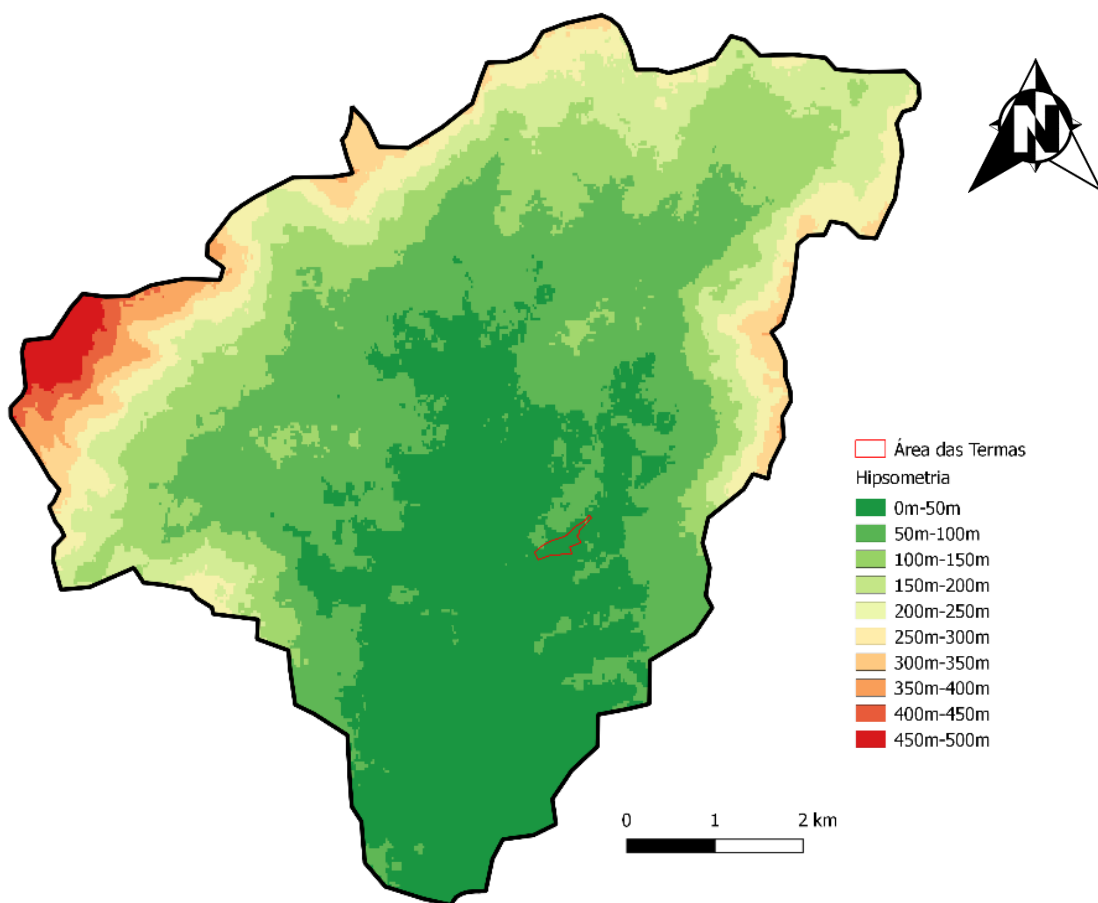


Figura 4: Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica da Ribeira de Pontes (Realizado em QGIS 2.18).

3.2- Geomorfologia e Geologia

A área de estudo localiza-se no domínio da Zona Centro Ibérica (ZCI). Toda a área é predominantemente ocupada por rochas graníticas que ocorrem intruídas em rochas metassedimentares, as quais estão representadas por algumas manchas (Figura 5).

As rochas metamórficas da região são representadas pela Unidade do Minho Central (UMc), cujas litologias, presentes na área, pertencem ao Silúrico (Pereira, 1992). Nesta formação, ocorrem corneanas, nas zonas mais proximais ao contacto das intrusões graníticas, bem como xistos luzentes, andaluzíticos e granatíferos que incluem várias intrusões de filões de quartzo e filões aplito-pegmatíticos (Teixeira e Medeiros, 1969). A recristalização metamórfica é geralmente elevada e encontra-se associada à 3ª fase de deformação Varisca. A xistosidade tem uma inclinação sub-vertical.

Quanto às rochas eruptivas, é possível individualizar três tipos de granitos. O granito de S. Lourenço, sin-tectónico relativamente a F3, ocorre em apenas duas manchas situadas na parte sul da bacia hidrográfica. Este granito revela alguma alteração e deformação, associada à terceira

fase de deformação Varisca. A alteração meteórica está presente nos feldspatos e na biotite, a qual se encontra frequentemente cloritizada (Pereira, 1992). Apresenta uma textura hipidiomórfica granular e é constituído por microclina, plagióclase, frequentemente zonada, quartzo xenomorfo cataclástico e quartzo microgranular secundário. Como minerais acessórios, foi identificada apatite, esfena, rútilo e alguns minerais opacos (Pereira, 1992).

O granito de Arcozelo e Franqueira (Barcelos) e de Coussorado, de idade semelhante, correspondem à série tardia da terceira fase de deformação (F3) ou podem mesmo ser posteriores a esta (Pereira, 1992). O granito de Arcozelo e Franqueira ocorre na zona central da bacia hidrográfica em contacto com os outros dois tipos de granitos. Trata-se, preferencialmente, de um granodiorito biotítico, com significativas concentrações de anfíbola, associada à biotite. A plagióclase é, geralmente, idiomórfica com zonamento, tendo o núcleo a composição de andesina e os bordos de oligoclase ou andesina-oligoclase. Como minerais acessórios, estão presentes a esfena, apatite, zircão e alguns grãos de minerais opacos (Pereira, 1992).

O Granito de Coussorado, por sua vez, concentra-se preferencialmente na zona norte da bacia hidrográfica, contactando diretamente com a Unidade do Minho Central. Este granito tem uma textura porfiróide, de grão médio (Teixeira e Medeiros, 1969) e corresponde a um granito de duas micas, com predomínio de biotite, e apresentando, em lâmina delgada, uma tendência monzonítica (Pereira, 1992). É constituído maioritariamente por quartzo, microclina, plagióclase, moscovite e biotite. Como minerais secundários, observa-se clorite, apatite, zircão, turmalina e minerais opacos. A plagióclase encontra-se zonada e tem composição de oligoclase (Pereira, 1992; Teixeira e Medeiros, 1969). A apatite e o zircão encontram-se como inclusões na biotite e na turmalina (Pereira, 1992).

Os filões aplito-pegmatíticos ocorrem apenas na região NE da bacia hidrográfica. Têm, aproximadamente, uma orientação NNW-SSE e encontram-se apenas nas rochas metamórficas. São filões graníticos, com ligeira tendência alcalina, e cujos minerais acessórios são dominados por moscovite, microclina e apatite (Teixeira e Medeiros, 1969).

Por último, os filões de quartzo encontram-se alinhados com a estrutura principal, de orientação NE-SW. A sua espessura varia entre 5 m e 15 m e encontram-se tectonizados (Teixeira e Medeiros, 1969).

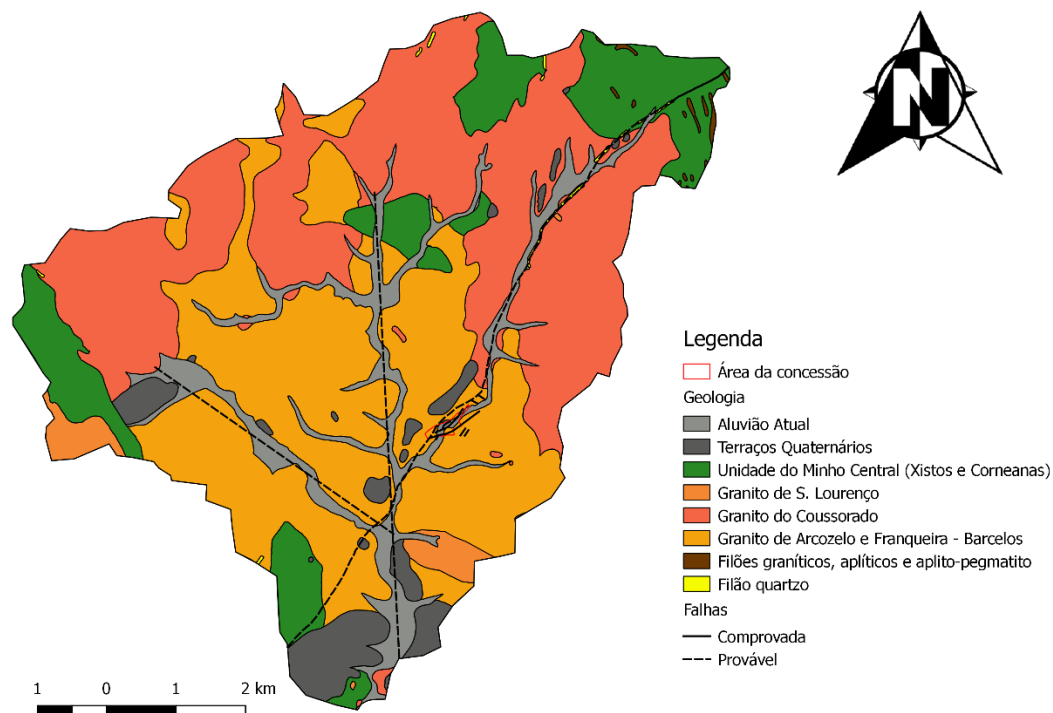
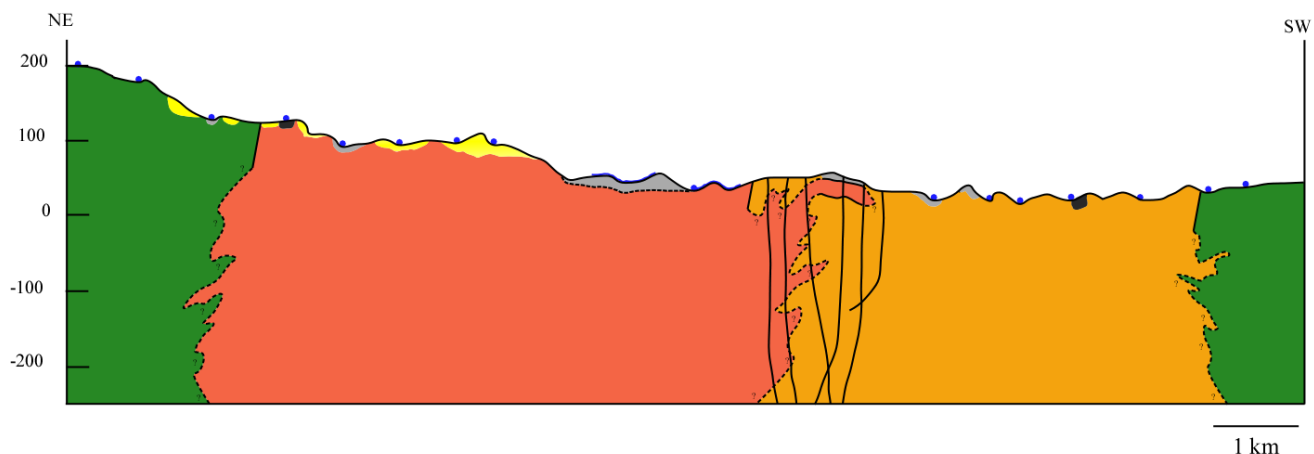


Figura 5: Esboço geológico da bacia hidrográfica da Ribeira de Pontes. Detalhe adaptado da carta geológica 1:50000 5-C (Barcelos) e nomenclatura adaptada da carta geológica 1:200000 Folha 1 (Realizado em QGIS 2.18).

Os principais alinhamentos tectónicos que ocorrem na região coincidem com a estruturação regional e apresentam como orientações preferenciais: N-S e NE-SW a ENE-WSW (Figura 5). Para uma melhor compreensão das estruturas geológicas e sua influência na circulação da água superficial e subterrânea foi realizado o corte geológico ao longo da falha principal, com orientação NE-SW (Figura 6).

A ocorrência hidromineral das Termas de Eirogo encontra-se situada em cima de uma interseção de estruturas tectónicas, com orientação principal NE-SW, que se considera como resultado da interceção de duas ruturas profundas. A orientação de uma destas ruturas seria N-S, prolongando-se desde a Galiza (Espanha) até à zona das Caldas da Saúde (Gerês, Portugal), e a orientação da outra seria de N50°E (Lima 2001).



Legenda

| | | |
|--------------------|---|---|
| Atual e Holocénico | Aluviões Atuais | Contactos Litológicos |
| Quaternário Antigo | Terraços Fluviais Antigos | Falhas |
| Silúrico | Unidade do Minho Central (Xistos e Corneanas) | Pontos que representam interseções oblíquas de linhas de água com a secção de corte |
| Tardi a Pós F3 | Granito de Arcozelo e Franqueira - Barcelos | Linhas de água paralelas à secção de corte |
| | Granito de Coussorado | |
| | Filões de Quartzo | |

Figura 6: Corte geológico realizado ao longo da falha de orientação NE-SW.

As falhas geradas por estas ruturas profundas, foram detetadas através da realização de estudos geofísicos na área de concessão, a fim de detetar potenciais zonas para a realização de uma nova captação, e serão o principal fator responsável pela ascensão de água hidromineral (Figura 7). Foram realizados 5 perfis, de orientação SW-NE com as configurações de Schlumberger-Wenner, Dipolo-Dipolo e Polo-Dipolo que permitiram ver a geometria das falhas até 250 m de profundidade

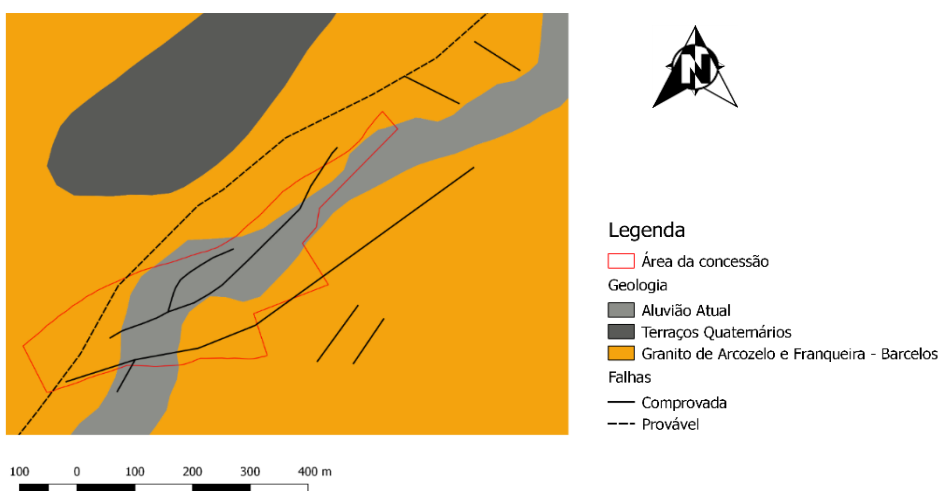


Figura 7: Falhas detetadas pelos trabalhos geofísicos realizados na zona das termas de Eirogo (Realizado em QGIS 2.18).

3.3- Hidrologia e Hidrogeologia

A nível hidrográfico, a área de estudo apresenta uma rede de drenagem densa e compacta, que resulta num valor de densidade de drenagem (Dd) igual a 3,28 km⁻¹ (Lima, 2006). Na bacia hidrográfica, ocorrem cerca de 218 linhas de água, sendo a de maior ordem, segundo a classificação de Strahler, a Ribeira de Pontes, correspondente à ordem 5 (Figura 8). Todo o sistema resulta no comprimento total da rede de drenagem de, aproximadamente, 180 km (Tabela 1).

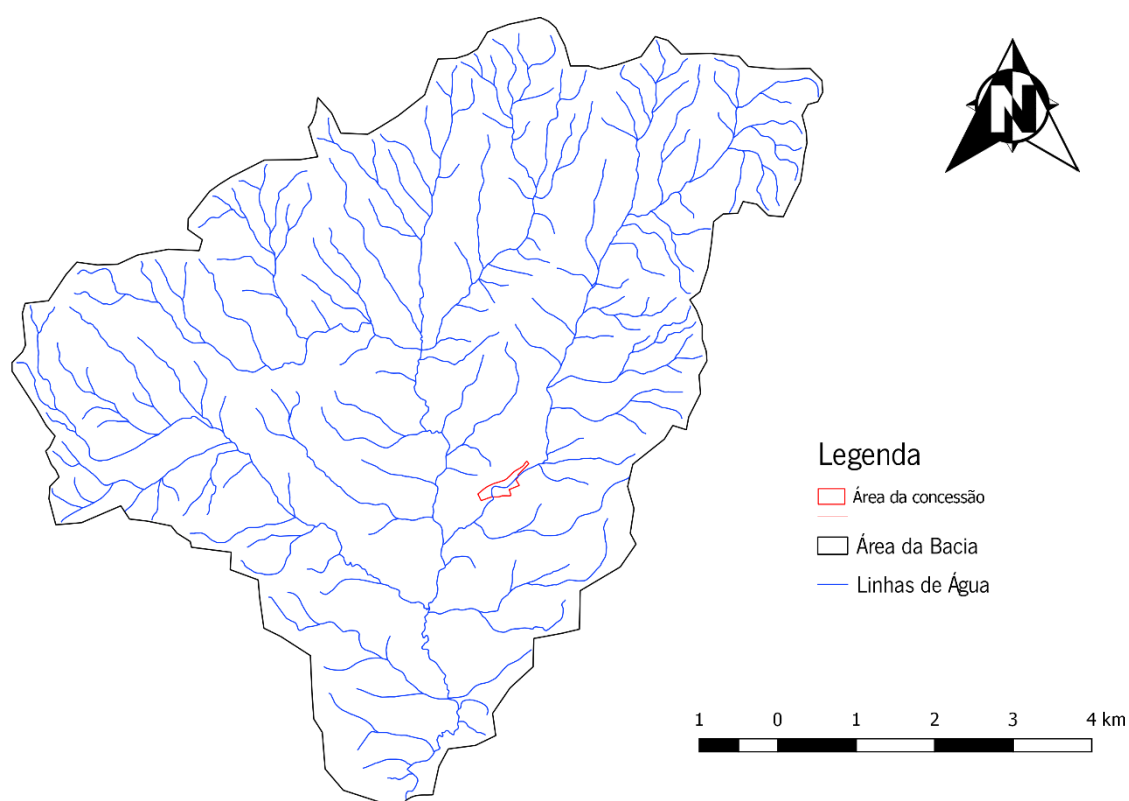


Figura 8: Rede hidrográfica da bacia hidrográfica da Ribeira de Pontes (Realizado em QGIS 2.18).

Tabela 1: Número e comprimento das linhas de água da bacia hidrográfica da Ribeira de Pontes

| | Elementos | Comprimento (m) |
|---------|-----------|-----------------|
| Ordem 1 | 167 | 113037.782 |
| Ordem 2 | 38 | 34315.785 |
| Ordem 3 | 8 | 11174.128 |
| Ordem 4 | 4 | 8500.641 |
| Ordem 5 | 1 | 7600.481 |
| Total | 218 | 174628.817 |

A bacia hidrográfica tem uma forma irregular, como pode ser comprovado pelo Coeficiente de Compacidade (Kc). Este coeficiente corresponde à relação entre o perímetro da bacia hidrográfica e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. É um coeficiente adimensional e indica a regularidade de uma bacia hidrográfica (Wanderley et al, 2010). Quanto maior for o valor do coeficiente, mais irregular será a bacia hidrográfica (Villela & Mattos, 1975). Calcula-se através da seguinte fórmula:

$$Kc = \frac{0.28 * P}{\sqrt{A}}$$

Sendo:

Kc – Coeficiente de Compacidade

P – Perímetro da bacia

A – Área da bacia

O valor de Kc para a bacia hidrográfica da Ribeira de Pontes tem um valor de 1,41, comprovando a sua forma irregular, como indicado por Lima (2006).

Outro parâmetro que pode ser calculado, é o Fator de Forma (Kf), o qual representa a relação entre a área da bacia hidrográfica e o seu eixo mais alongado (Wanderley et al., 2010). Quanto menor o valor de Kf, menor será a tendência da bacia hidrográfica de alargar a sua forma (Villela & Mattos, 1975), o que indicará a maior ou menor probabilidade de ocorrência de cheias nesta bacia hidrográfica. O fator de forma pode ser calculado pela expressão:

$$Kf = \frac{A}{Lx^2}$$

Sendo:

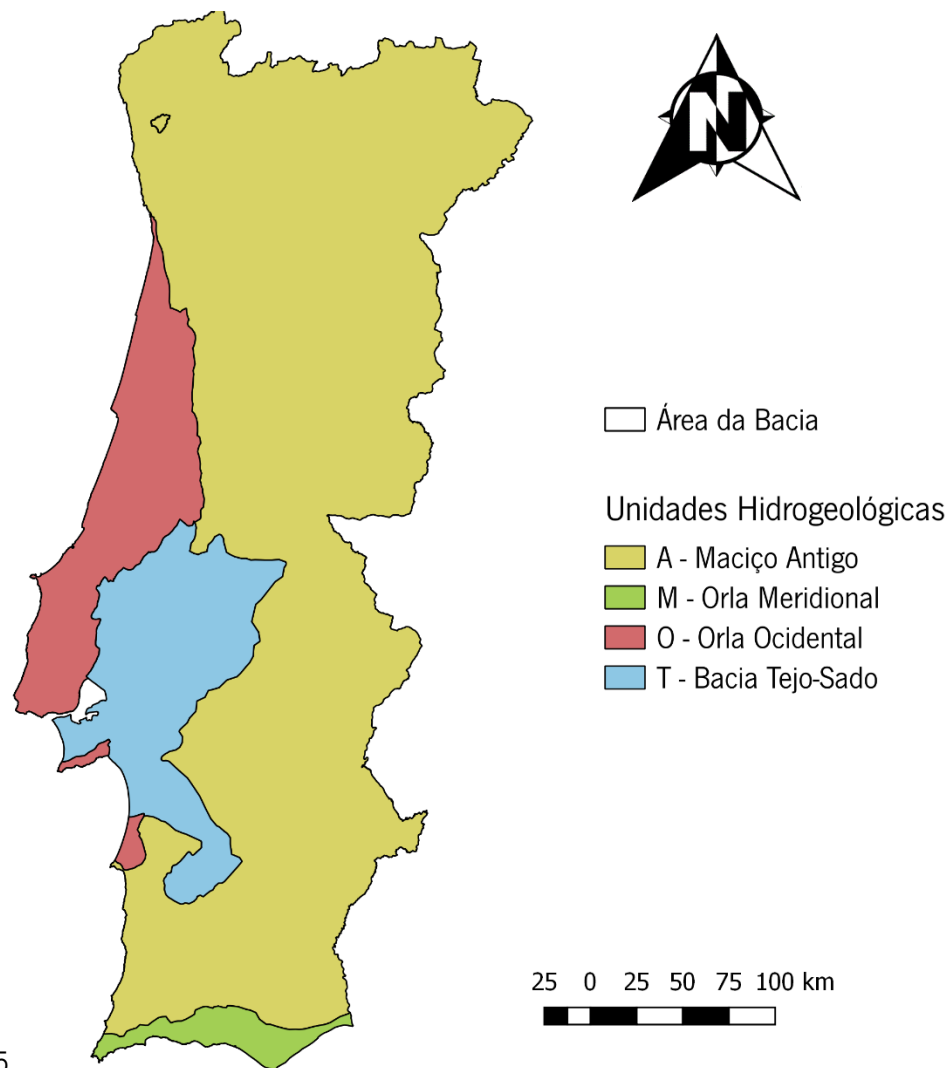
Kf – Fator de Forma

A – Área da bacia hidrográfica

Lx – Eixo mais alongado

No caso da bacia hidrográfica da Ribeira de Pontes, o fator de forma tem um valor de Kf=0,32; o que sugere uma tendência moderada para a ocorrência de cheias e inundações (Lima, 2006).

A zona de estudo encontra-se no domínio hidrogeológico do Maciço Antigo ou Ibérico de Portugal (Figura 9).



5

Figura 9: Enquadramento hidrogeológico da área de estudo (Adaptado de SNIRH, 2001) (Realizado em QGIS 2.18).

Como, referido anteriormente, as rochas dominantes são rochas granitóides. Apesar de existir uma capa de alteração, esta é superficial e pouco espessa, ocorrendo a circulação do recurso hidromineral a profundidades mais elevadas, nos locais onde a rocha é mais compacta. Assim sendo, a permeabilidade é baixa, ocorrendo a circulação da água através de fraturas (Lima, 2006).

Os depósitos de cobertura, apesar de locais, têm alguma importância pois são bons depósitos para a água de escorrência superficial. Estes captam a água de escorrência superficial, facilitando a sua infiltração (Lima, 2006).

3.4 Clima

A zona de estudo encontra-se enquadrada na área, segundo a classificação de Köppen, pertencente à classe Csb (Figura 10). Isto quer dizer que o clima é temperado, com um inverno chuvoso e um verão seco e pouco quente (IPMA, 2019).

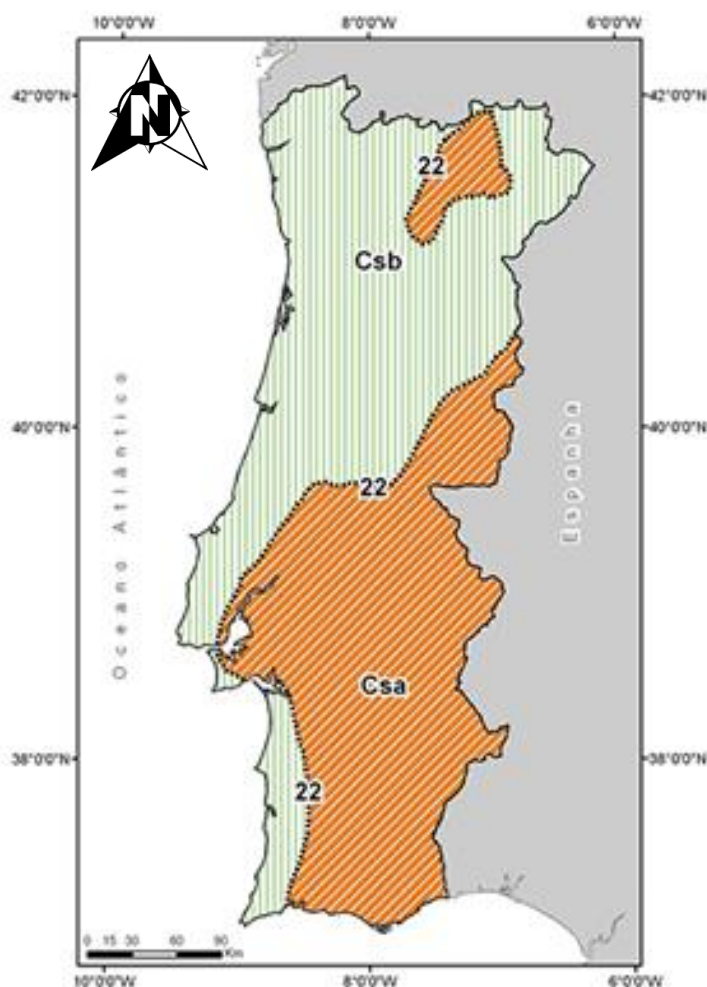


Figura 10: Classificação climática de Köppen para Portugal Continental (IPMA, 2019)

Os dados de precipitação apresentados referem-se à estação de Barcelos (04F/01C), para a série pluviométrica de 1987/1988 até 2017/2018, obtidos através do SNIRH. A média anual de precipitação é de 1255 mm/ano, com a sua variação estatística apresentada na Tabela 2. Obtiveram-se, também, os dados de temperatura e evapotranspiração real, pelo método de Piche, para a mesma estação de Barcelos, e construído o respetivo climograma (Figura 11).

Tabela 2: Valores de precipitação total anual da série pluviométrica de 1987/1988 a 2017/2018

| | |
|---------------|------------|
| Média | 1255.46 mm |
| Mediana | 1245.69 mm |
| Mínimo | 724.6 mm |
| Máximo | 1986.1 mm |
| Amplitude | 1261.5 mm |
| Desvio Padrão | 350.95 mm |

A construção de um climograma acrescenta informação importante para a gestão dos recursos hídricos, como por exemplo, a indicação do período de tempo em que ocorre infiltração com a recarga do aquífero. O climograma (Figura 11) apresenta a representação da variação média mensal de três importantes parâmetros climatológicos: temperatura, precipitação e evapotranspiração real (EVR). Com a conjugação destes três fatores, é possível concluir quais são os meses mais propensos para a recarga do aquífero. A recarga do sistema aquífero ocorre no período de tempo em que a EVR é inferior à precipitação ocorrida, indicando assim que existem excedentes hídricos que contribuirão para a recarga. Neste caso, a recarga aquífera deverá ocorrer entre os meses de outubro e abril.

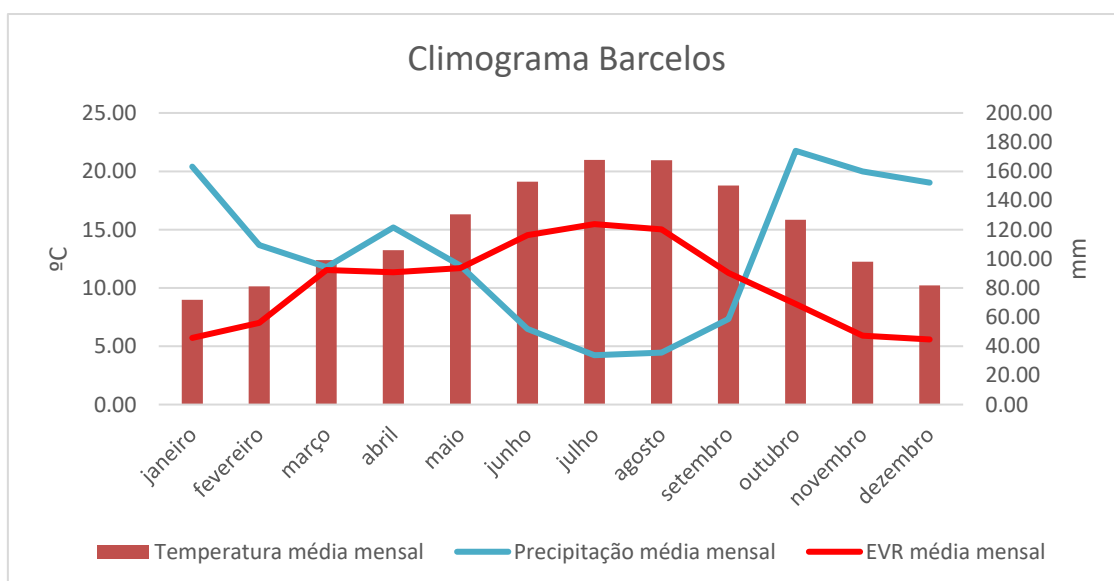


Figura 11: Climograma para a região de Barcelos (dados obtidos do SNIRH, 1987/88 até 2017/18)

Observa-se que o período seco ocorre nos meses de junho, julho, agosto e setembro. Entre outubro e abril ocorre o período húmido que corresponde a cerca de 78% da precipitação anual total.

3.5- Uso e Ocupação do Solo

O uso e ocupação do solo na área da bacia hidrográfica da Ribeira de Pontes tem por base o mapa de Uso e Ocupação do Solo - Corine Land Cover (2018; Figura 12). As divisões do tipo de uso e ocupação do solo foram adaptadas a partir da nomenclatura original, de modo a se enquadrarem melhor na escala deste trabalho. Estas divisões foram realizadas com base no nível 2 da nomenclatura (Tabela 3). A seleção do nível 2, em vez do nível 1 ou nível 3, advém de este possuir um melhor balanço entre quantidade e qualidade de informação. O nível 1, com as zonas agrupadas, torna-se muito simples e incapaz de transmitir informação suficiente sobre os diferentes usos do solo na zona de estudo. Pelo contrário, o nível 3 seria muito detalhado, a ponto de transmitir demasiada informação para a finalidade deste trabalho.

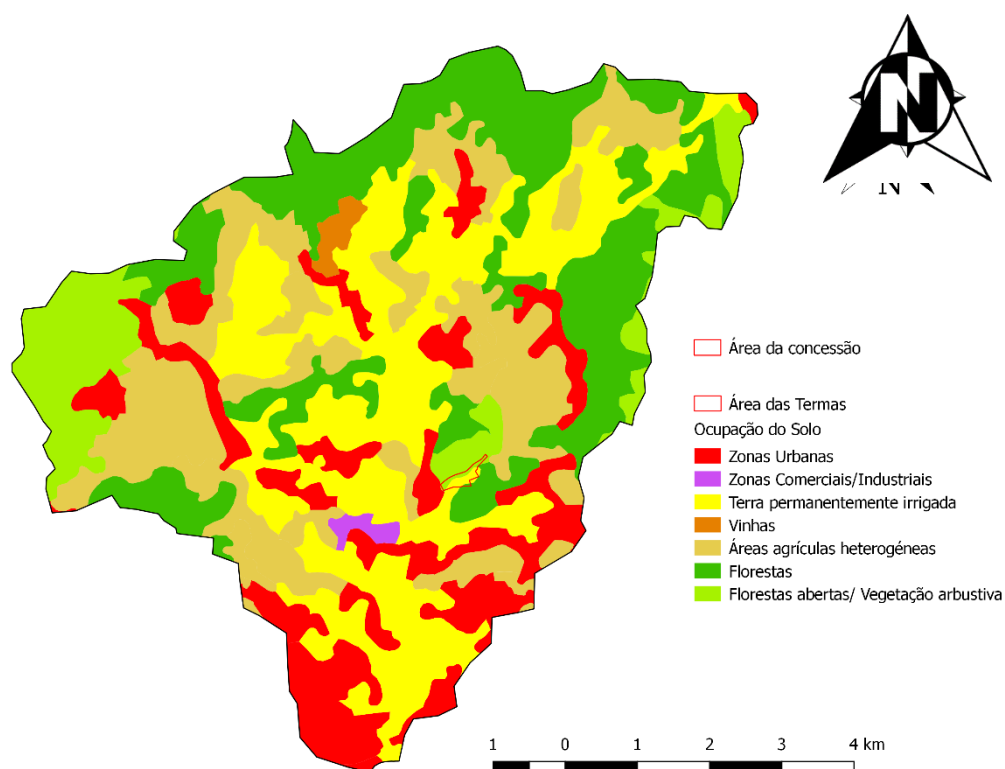


Figura 12: Carta de Uso e Ocupação do solo da bacia hidrográfica da Ribeira de Pontes (adaptado de Corine Land Cover, 2018) (Realizado em QGIS 2.18)

Segundo o nível 2, ocorrem sete tipos diferenciados de uso do solo. Apesar de alguns pertencerem ao mesmo grupo, as características de cada zona, no caso de zonas naturais, ou as características de cada atividade, no caso de zonas artificializadas e ocupadas por população, variam entre si.

Tabela 3: Nomenclatura para a área de estudo (adaptada de Corine Land Cover, 2018)

| Nível 1 | Nível 2 |
|------------------------|--|
| Zonas artificializadas | Tecido Urbano Zonas comerciais/industriais |
| Zonas agrícolas | Terra permanentemente irrigada Vinhas Áreas agrícolas heterogéneas |
| Zonas florestais | Florestas Florestas abertas/vegetação arbustiva |

O tecido urbano corresponde às regiões onde se encontram as urbanizações, como o nome indica, sendo ocupado maioritariamente pelas zonas habitacionais. As zonas comerciais/industriais são constituídas pela presença de fábricas ou grandes superfícies comerciais. Estes dois tipos de uso pertencem à classe das zonas artificializadas.

As zonas agrícolas dividem-se em três tipos de ocupação distintos. As terras permanentemente irrigadas são regiões agrícolas cujas culturas necessitam de rega regular e constante. As áreas agrícolas heterogéneas, por sua vez, são zonas em que ocorre a rotação de culturas, ou em que existem várias culturas ao mesmo tempo, ou até mesmo, zonas cuja atividade principal é a agricultura. Contudo, existem também áreas naturais. Por último, consideram-se as vinhas.

As zonas florestais são as zonas sem atividade humana. Dividem-se em florestas, que são maioritariamente ocupadas por espécies vegetais de grande porte, por exemplo pinheiros, que criam zonas de vegetação densa e compacta. As florestas abertas/vegetação arbustiva são maioritariamente dominadas por vegetação rasteira, com algumas espécies de grande porte, o que torna o espaço menos denso e compacto.

Como é possível observar na Figura 12, a zona das Termas de Eirogo coincide com uma zona de floresta aberta/vegetação arbustiva e uma zona de terra permanentemente irrigada. A presença desta zona agrícola mais intensa pode ter implicações na qualidade da água devido aos produtos químicos, como adubos, utilizados neste tipo de atividade.

A área de ocupação total para cada um dos tipos de uso e ocupação do solo, bem como, a percentagem total correspondente na área da bacia hidrográfica da Ribeira de Pontes apresenta-se na Tabela 4.

Tabela 4: Área e correspondente percentagem de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica da Ribeira de Pontes

| Tipo | Área (hectares) | Área do Uso/ Área Total | % |
|--|-----------------|-------------------------|------|
| Zonas urbanas | 1250.98 | 0.10686 | 10.7 |
| Zonas comerciais e Industriais | 26.62 | 0.00227 | 0.20 |
| Pastagens permanentes | 1649.53 | 0.14091 | 14.1 |
| Vinhas | 39.59 | 0.00338 | 0.30 |
| Áreas agrícolas heterogéneas | 1751.06 | 0.14958 | 15.0 |
| Florestas | 2388.19 | 0.20401 | 20.4 |
| Florestas abertas/ Vegetação arbustiva | 4600.42 | 0.39298 | 39.3 |
| Total | 11706.39 | 1 | 100 |

4. Termas de Eirogo

4.1. História das Termas de Eirogo

Atualmente, as Termas de Eirogo encontram-se numa fase de atividade suspensa (Figura 13). As instalações são antigas e estão degradadas devido aos anos de inutilização, mas a sua história remete para tempos em que era um balneário conceituado e bastante ativo. Existem alguns registos históricos, através dos quais é possível reconstituir o seu percurso histórico.



Figura 13: Entrada principal das Termas de Eirogo (Wikipédia, 2019)

Os primeiros registos associados a esta ocorrência hidromineral indicam que, entre os anos de 1820 e 1823, terá ocorrido o primeiro aproveitamento das águas, pelo médico cirurgião Manuel Lopes Albuquerque (Barbosa, 2017).

Mais tarde, em 1854, as águas foram analisadas, de uma maneira sucinta, por Pereira Caldas e, em 1867, foram novamente analisadas por Lourenço. Nesta altura, foi também efetuada uma descrição, pelo Engenheiro Schiappa de Azevedo, das três nascentes existentes no local: Mosqueiros, Castanheirinhos (Figura 14) e Quinta do Eirogo (Figura 15) (ICS Lisboa, 2002).



Figura 14: Furo “Castanheirinhos”



Figura 15: Furo “Quinta do Eirogo”

O primeiro alvará de concessão foi atribuído em 1894, após um curto intervalo de tempo da implementação da Lei de 1892, a qual exigia a existência de um pedido de concessão para a utilização de águas minerais. Esta concessão foi passada em nome de Crysogono Alberto de Sousa Correia (Barbosa, 2017). A realização do Relatório de Ordenamento e Conhecimento imposto pela mesma Lei foi atribuída ao Engenheiro Correia Melo (ICS Lisboa, 2002).

Em 1885, as águas minerais de Eirogo começaram a ser utilizadas para fins terapêuticos, de acordo com a prescrição do Dr. Alheira, um médico de renome em Barcelos. Poucos anos depois, em 1889, no dia 10 de agosto, é publicado um artigo na Gazeta do Povo, que indica que as Caldas do Eirogo regiam o seu funcionamento pelas Caldas de Vizela (Barbosa, 2017).

Os registos do equipamento existente no balneário, bem como, dos tratamentos realizados

pelo Dr. Terneiro Sarzedas datam do ano de 1907, nos quais é referido o bom estado das instalações e as atualizações efetuadas aos equipamentos. É indicado que os banhos de primeira classe possuíam 4 banheiras em mármore, os de segunda classe com 8 banheiras em azulejo e os de terceira classe, com sete banheiras em cimento (ICS Lisboa, 202). Quanto a tratamentos, existiam os banhos de imersão, duches de agulheta, duches vaginais, duches nasais e pulverizações (Barbosa, 2017).

Mais tarde, em 1923, as instalações são visitadas pelo Engenheiro-chefe da Inspeção das Águas do Departamento de Direção Geral de Minas e Serviços Geológicos, Luiz Acciaiuoli. Este conclui que a água das Termas de Eirogo não era captada da melhor forma e que os equipamentos de inalação e pulverização se encontravam inutilizáveis (Barbosa, 2017).

Em 1924, o alvará da concessão é passado a Francisco de Sousa Correia, herdeiro do primeiro proprietário, e mais tarde, em 1939, passado novamente ao Dr. Aurélio Augusto de Queiroz (Barbosa, 2017). Este último, encontra as termas num estado avançado de degradação e inicia a sua recuperação (ICS Lisboa, 2002).

O Engenheiro da Inspeção das Águas do Departamento de Direção Geral de Minas e Serviços Geológicos, Luiz Acciaiuoli, entre 1930 e 1940, elabora vários relatórios anuais sobre as Termas de Eirogo. No relatório de 1939, observa-se que as termas tiveram um aumento de utilizadores, rondando os 155 aquistas (Barbosa, 2017). Acrescenta, numa nota, a ausência de qualquer obra ou modificação às instalações e às suas condições iniciais (ICS Lisboa, 2002). No ano seguinte, em 1940, ocorre uma diminuição do número de utilizadores, para cerca de 115, que procuravam, maioritariamente, curas reumáticas e tratamentos para doenças de pele. É, também, neste ano que é imposta uma obrigação de renovação do espaço termal (Barbosa, 2017).

Em 1941 e 1942, foram publicados dois relatórios, com o registo do aumento do número de utilizadores para 287 e 280, respetivamente. É, também, referido que ainda não tinham sido efetuadas nenhuma alteração ou modificações nas infraestruturas. É, ainda, no ano de 1942, que ocorre a morte do concessionário das termas, passando a concessão das Termas de Eirogo para o seu filho, o médico hidrologista, Mário Augusto Viana de Queiroz (ICS Lisboa, 2002). Os relatórios seguintes, dos anos de 1943 e 1946, são elaborados em conjunto e mostram que, no ano de 1945, o número de utilizadores aumenta para 304, sendo referido que a canalização foi totalmente renovada (ICS Lisboa, 2002). Em 1953, Luiz Acciaiuoli, publica o segundo volume do livro "*Le Portugal Hydrominéral*", onde refere o atraso no desenvolvimento das Termas de Eirogo, classificando o estabelecimento como antiquado, embora exista um projeto de modernização (ICS

Lisboa, 2002).

No ano de 1970, é publicada uma descrição detalhada das Termas de Eirogo, indicando que os balneários se encontravam bem equipados, continham uma “sala de mecanoterapia”, que mais tarde se passou a designar de fisioterapia, sendo um dos primeiros locais em Portugal a utilizar esta terapia (ICS Lisboa, 2002). No entanto, é também referido que nesta altura, o tratamento termal entra em deterioração e decréscimo devido à procura de cura farmacológica. As termas atravessam um período de decadência apenas com registo de entradas pontuais da população local (Barbosa, 2017). Em 1976, morre o concessionário das Termas de Eirogo, passando a concessão para o seu filho, o médico reumatologista Mário Fernando Viana de Queiroz (ICS Lisboa, 2002).

No ano de 1990, é aprovado, segundo a Lei de 16 de março de 1990, a delimitação dos perímetros de proteção para as Termas de Eirogo, sendo as primeiras termas com perímetros de proteção delimitados (ICS Lisboa, 2002). É, também, neste ano que ocorre a maior perturbação no sistema hidromineral das Termas de Eirogo, com a construção de uma fábrica de fição, com tinturaria, nas imediações das instalações termais, da qual resulta a criação de um processo judicial. O processo foi para tribunal em 1994, sendo a razão dada à fábrica (ICS, 2002). Nos finais dos anos 90, foi efetuada uma candidatura ao Fundo Europeu do Programa Thermaios, com o intuito de fundir o termalismo com o turismo rural. Contudo, o projeto não reunia os recursos necessários tendo sido cancelado (Barbosa, 2017).

Atualmente, as termas encontram-se com um projeto de renovação e preparam-se para uma possível reabertura.

4.2. Hidroquímica

Neste capítulo serão apresentados diversos resultados de análises físico-químicas das águas na área das Termas de Eirogo, realizadas ao longo do tempo na zona da exploração, entre os anos de 1883 e 2019. É relevante referir que, pelo facto de esta exploração se encontrar atualmente suspensa e de a sua exploração ter sido iniciada há bastante tempo, com início conhecido no ano de 1885, poderem ocorrer algumas dificuldades na interpretação dos dados disponíveis. Um dos principais problemas advém da localização exata dos pontos de amostragem sendo que, para alguns dos pontos, não é possível atribuir a sua localização exata por falta de registo desta informação aquando da amostragem. Uma outra situação resulta da variabilidade espacial e temporal dos pontos de amostragem e análises químicas das águas. Os dados mais antigos datam do ano de 1883 e, ao longo do tempo, ocorrem

significativas discrepâncias temporais entre algumas das campanhas de amostragem obtidas. Esta situação diminui o grau de precisão e aumenta o grau de incerteza das análises químicas utilizadas pois os procedimentos e metodologias laboratoriais foram variando ao longo do tempo, pelo que a precisão dos resultados obtidos nem sempre poderá ser a mais adequada.

Neste sentido, ao longo do tempo foram efetuadas diferentes recolhas de água nas águas da região, tendo sido identificado um total de 24 períodos de tempo distintos (Geoestudos, 1981) (Tabela 5).

Tabela 5: Amostras de água realizadas na região das Termas de Eirogo.

| Local | Ano | Tipo |
|-------------------------|--|----------|
| Castanheiros | 1883; 1952; abr/77; jun/77; jul/77; fev/78; jun/78; mar/79; mar/80 | Nascente |
| N. Quinta | ago/70 | Nascente |
| Mosqueiro | ago/70 | Nascente |
| Mina para abastecimento | ago/70 | - |
| Ribeira do Eirogo | mar/79 | Ribeiro |
| Quinta do Eirogo | mar/86; jun/86 | Furo |
| Castanheirinhos | jun/86; out/92; 2004, out/2015, out/2016, abr/2017, out/2017, mar/2018, out/2018, mai/2019 | Furo |

A amostra classificada por “Ribeira do Eirogo” representa as águas superficiais da região e poderá ser usada como amostra representativa dos valores “naturais” da zona (Tabela 6). Os restantes seis locais de amostragem correspondem a: “Castanheiros”, “N. Quinta”, “Mosqueiro”, “Mina para abastecimento”, “Castanheirinhos” e “Quinta do Eirogo” (Geoestudos, 1984; 1986; 1991; Lima 2001; 2006). As duas primeiras análises do ponto “Castanheiros”, devido à antiguidade das mesmas, não são consideradas como valores de confiança por falta de conhecimento sobre os métodos analíticos utilizados; pelo que não serão utilizadas na caracterização química das águas Termas de Eirogo.

A água colhida no ponto de amostragem “Mina para abastecimento” apresenta as características de uma água superficial de escorrência em rochas graníticas (Tabela 6), pois tem uma baixa mineralização (resíduo seco = 50.8 mg/L) e um valor de pH ácido (pH = 5.8). A água do ponto de amostragem “N. Quinta” apresenta algumas características de águas minerais, mas apresenta também sinais de mistura com águas superficiais, como é o caso da diminuição do resíduo seco, o que sugere diluição (Tabela 6). Estes dois pontos não serão então incluídos na caracterização das águas minerais da zona pois as suas características não sugerem que sejam águas minerais.

Tabela 6: Resultados obtidos para os pontos de recolha “Mina para abastecimento”, “N.Quinta” e “Ribeira do Eirogo”.

| Nome | Mina para abastecimento | N. Quinta | Ribeira do Eirogo |
|--------------------------------------|-------------------------|-----------|-------------------|
| Tipo | - | Nascente | Ribeiro |
| Data | ago/70 | ago/79 | mar/79 |
| Temperatura (°C) | 19 | - | 16 |
| pH | 5.8 | 7.3 | 6.3 |
| Condutividade (µs/cm) | - | - | 69 |
| Silica total (mg/L) | 12.4 | 44.7 | - |
| CO ₂ (mmol/L) | 0.93 | 0.19 | - |
| Resíduo Seco (mg/L) | 50.8 | 302.8 | 55 |
| Cl ⁻ (mg/L) | 0.5 | 1.6 | 0.5 |
| HCO ₃ ⁻ (mg/L) | 0.2 | 1.3 | - |
| SO ₄ ²⁻ (mg/L) | - | 1 | 0.06 |
| NO ₃ ⁻ (mg/L) | - | - | 2 |
| Na ⁺ (mg/L) | 0.5 | 3.9 | - |
| Mg ²⁺ (mg/L) | - | 0.2 | - |
| Ca ²⁺ (mg/L) | 0.02 | 0.2 | - |

A caracterização geral das águas hidrominerais das Termas de Eirogo será realizada tendo por base as análises químicas obtidas nas águas recolhidas nos pontos de “Castanheiros”, “Mosqueiro”, “Quinta do Eirogo” (Tabela 7) e “Castanheirinhos” (Tabela 8) (Figura 16) pois são as que apresentam características de águas minerais, na totalidade ou apenas em algumas, como seja a condutividade elétrica (CE > 450 µs/cm), o valor de pH (≥7) e uma mineralização (ou resíduo seco >400mg/L) (Tabela 7). A variação dos valores médios para cada elemento químico obtido no conjunto destes quatro pontos de água, ao longo do tempo, é apresentada na Figura 17.

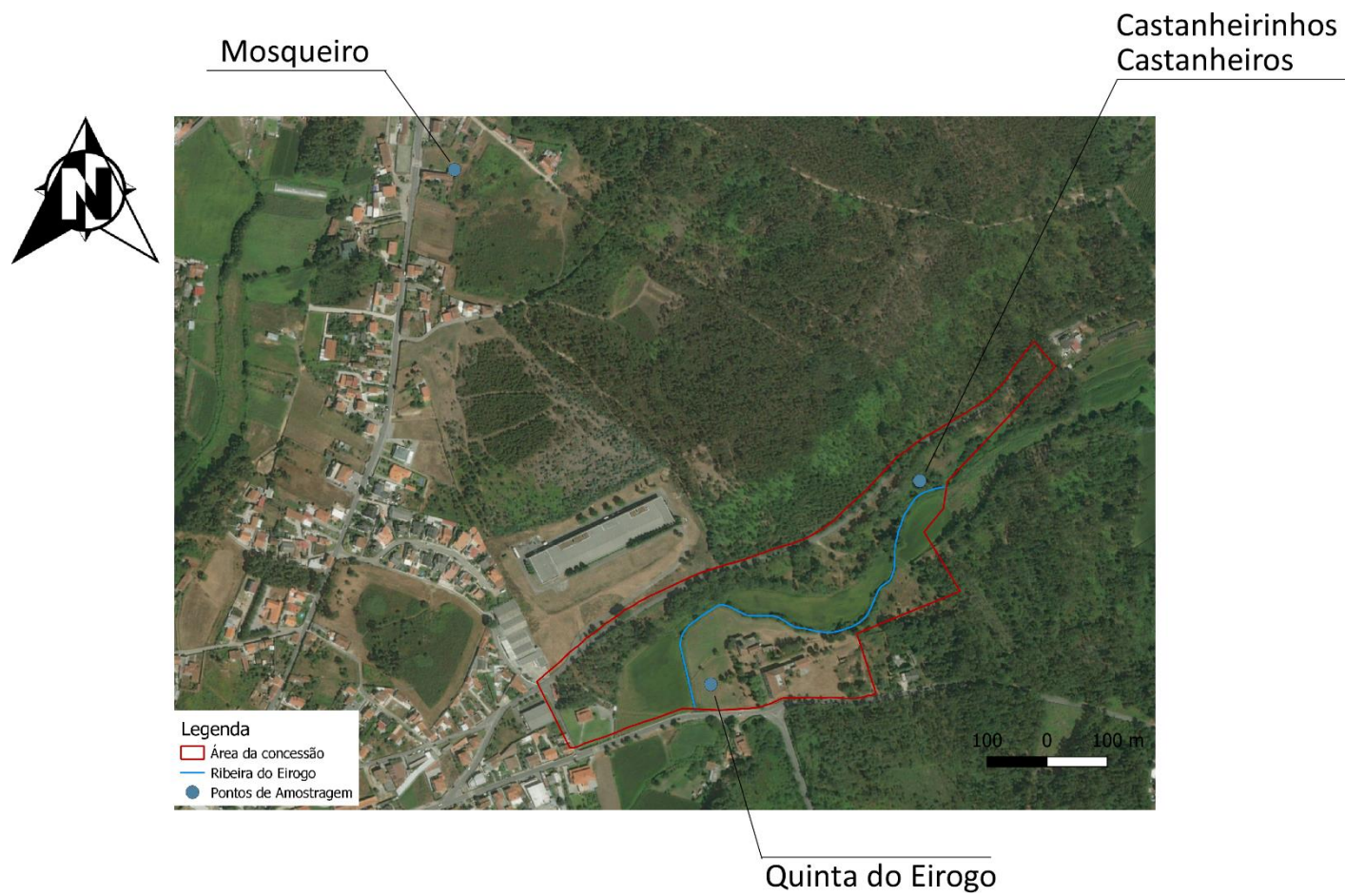


Figura 16: Localização dos pontos de amostragem "Mosqueiro", "Quinta do Eirogo", "Castanheiros" e "Castanheirinhos"

Tabela 7: Dados obtidos das recolhas de água dos pontos "Mosqueiro", "Quinta do Eirogo" e "Castanheiros"

| Local | Mosqueiro | Castanheiros | Castanheiros | Castanheiros | Castanheiros | Castanheiros | Castanheiros | Castanheiros | Quinta do Eirogo | Quinta do Eirogo |
|--------------------------------------|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------|------------------|
| Tipo | Nascente | Nascente | Nascente | Nascente | Nascente | Nascente | Nascente | Nascente | Furo | Furo |
| Data | ago/70 | abr/77 | jun/77 | jul/77 | fev/78 | jun/78 | mar/79 | mar/80 | mar/80 | jun/86 |
| Temperatura (°C) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 18.6 |
| pH | 8.7 | 8.3 | 8.7 | 8.7 | 8.3 | 7.7 | 8.4 | 7.9 | 7 | 8.1 |
| Eh | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Condutividade Elétrica | - | 650 | 660 | 637 | 637 | 700 | - | 832 | 512 | 556 |
| Alcalinidade | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Dureza | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Silica total (mg/L) | 88 | - | - | - | - | - | 62.5 | 55.5 | 37.4 | - |
| CO ₂ (mmol/L) | 0 | - | - | - | - | - | 0 | - | - | - |
| Sulfuração Total | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Resíduo Seco (mg/L) | 345.6 | 424 | 475 | 460 | 446 | 494 | 422.2 | 457 | 288.6 | - |
| F (mg/L) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 9.5 |
| Cl (mg/L) | 3.2 | 2.7 | 2.7 | 2.7 | 2.3 | 2.9 | 2.5 | 2.2 | 1.3 | 63 |
| HCO ₃ (mg/L) | 2 | - | - | - | - | - | 1.5 | 2.5 | 1.6 | 90 |
| CO ₃ ²⁻ (mg/L) | 0.3 | - | - | - | - | - | 0.4 | - | - | - |
| HS (mg/L) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| SO ₄ ²⁻ (mg/L) | 1.5 | 1 | 1.7 | 0.8 | 1.5 | 1.8 | 1.2 | 2 | 1.3 | 56 |
| NO ₃ (mg/L) | 0 | - | - | 6 | - | 0.33 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| NO ₂ (mg/L) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - |
| Na ⁺ (mg/L) | 7.9 | 5.5 | 5.9 | 5.8 | - | 7.1 | 6 | 6.4 | 4.2 | 96 |
| K ⁺ (mg/L) | - | 0.07 | 0.1 | 0.2 | - | - | - | - | - | 2.6 |
| Mg ²⁺ (mg/L) | 0.05 | - | - | - | - | - | - | 0.02 | 0.1 | 0.97 |
| Ca ²⁺ (mg/L) | 0.3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Fe (mg/L) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.03 |
| NH ₄ ⁺ (mg/L) | - | 0.5 | 0.6 | 0.8 | 0.67 | 0.4 | - | - | - | - |

Tabela 8: Dados obtidos das recolhas de água do ponto "Castanheirinhos".

| Local | Castanheirinhos | Castanheirinhos | Castanheirinhos | Castanheirinhos | Castanheirinhos | Castanheirinhos | Castanheirinhos | Castanheirinhos | Castanheirinhos | Castanheirinhos |
|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Tipo | Furo | Furo | Furo | Furo | Furo | Furo | Furo | Furo | Furo | Furo |
| Data | jun/86 | out/92 | 2004 | out/15 | out/16 | abr/17 | out/17 | mar/18 | out/18 | mai/19 |
| Temperatura (°C) | 22.4 | 24.5 | 24.5 | - | 24 | - | - | - | - | - |
| pH | 8.34 | 8.65 | 8.53 | 8.7 | 8.69 | 8.57 | 8.74 | 8.84 | 8.84 | 8.7 |
| Condutividade | 731 | 722 | 632 | 641 | 627 | 650 | 629 | 621 | 581 | 623 |
| Silica total | - | 64.2 | 73.3 | 65 | 70 | 78 | 72 | 65 | 68 | 73 |
| Sulfuração Total | - | - | 47.4 | 45 | 19 | 19 | 20 | 47 | 43 | 43 |
| Resíduo Seco (mg/L) | - | - | 440 | 442 | 430 | 430 | 370 | 444 | 434 | 430 |
| F- (mg/L) | - | 15.1 | 14.3 | 20 | 14 | 15 | 15 | 15 | 17 | 17 |
| Cl- (mg/L) | - | 81.7 | 73.8 | 81 | 80 | 79 | 69 | 68 | 88 | 79 |
| HCO3- (mg/L) | - | 131.5 | 114 | 96 | 110 | 110 | 131 | 111 | 85 | 85 |
| CO32- (mg/L) | - | 2.7 | 2.1 | 4.5 | 19 | 19 | 15 | 4.1 | 8 | 8 |
| SO42- (mg/L) | - | 62.8 | 54 | 60 | 89 | 70 | 49 | 59 | 56 | 61 |
| NO3- (mg/L) | - | | 0.69 | <0.3 | 5.6 | 5 | 8.6 | <0.1 | <0.3 | <0.3 |
| Na+ (mg/L) | - | 140 | 133 | 136 | 140 | 120 | 131 | 130 | 129 | 140 |
| K+ (mg/L) | - | 4.5 | 4.3 | 5 | 3.6 | 4 | 3.2 | 1.1 | 3.5 | 4.3 |
| Mg2+ (mg/L) | - | 0.1 | 0.14 | 0.12 | <2.5 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | 0.16 | 0.15 |
| Ca2+ (mg/L) | - | 6.4 | 5 | 5.2 | 5.5 | 5.2 | 4.7 | 4.1 | 5.1 | 5.6 |
| NH4+ (mg/L) | - | 0.82 | 0.77 | 0.84 | 1 | 1 | 1 | 0.92 | 2 | 0.92 |

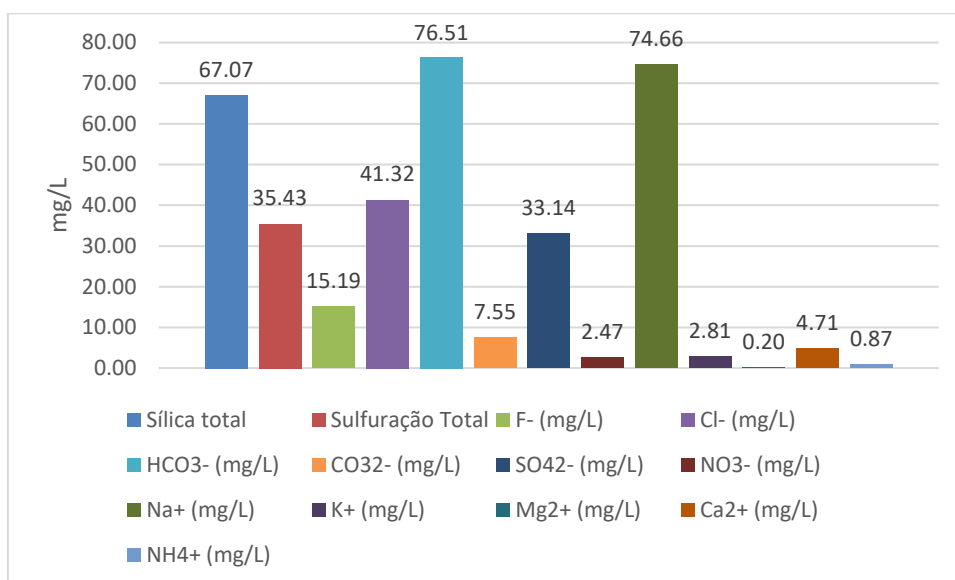


Figura 17: Composição média das águas minerais das Termas de Eirogo.

Quanto às características principais, as águas minerais das Termas de Eirogo possuem uma mineralização total média aproximada de 425 mg/L, sendo fracamente mineralizadas. A condutividade elétrica média é de 660 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e o valor de pH de 8,3. Estas enquadram-se no domínio hidrogeoquímico das águas sulfúreas alcalinas (Lima, 2006). A temperatura da água na captação mais recente - Furo dos Castanheirinhos - é de 24,5°C. Nos outros pontos de água, mais antigos, a temperatura é próxima de 19°C, o que não promove o seu aproveitamento como água mineral.

As águas das Termas de Eirogo apresentam algumas diferenças composicionais comparativamente com as águas sulfúreas consideradas como típicas. Estas diferenças encontram-se particularmente ao nível do carbono inorgânico dissolvido (sob a forma de CO_2 , HCO_3^- e CO_3^{2-}), sílica total e amónio. O CID apresenta valores abaixo daquilo que seria esperado nas águas sulfúreas portuguesas, que é entre 100-125 mg/L. A sílica total apresenta valores acima do esperado, sendo que o intervalo comum varia entre 37,5-45 mg/L. Por último, o amónio encontra-se acompanhado de nitritos e nitratos o que não é esperado neste tipo de água, segundo Calado (2001). Esta água apresenta também elevados teores em Cloro, Fluor e Sulfuração Total (a soma entre as espécies reduzidas e oxidadas de enxofre na água).

5. Hidrogeoquímica

5.1- Espécies reduzidas de Enxofre

Como referido anteriormente, uma das características distintivas das águas sulfúreas é a presença de enxofre em formas mais reduzidas. Este pode estar presente sob a forma de duas espécies químicas reduzidas, o HS^- e o H_2S , sendo este último aquele que confere o cheiro característico destas águas (Lima, 2011).

A presença destas espécies de enxofre nesta água é possível pelas suas características particulares de pH e Eh. Tendem a ser alcalinas e com um Eh negativo. A alcalinidade promove uma dominância do HS^- sobre o H_2S , sendo o primeiro, uma espécie sólida, enquanto que o segundo se trata de uma espécie volátil. Em condições ácidas verifica-se o comportamento oposto das espécies (Figura 18) (Lima, 2011).

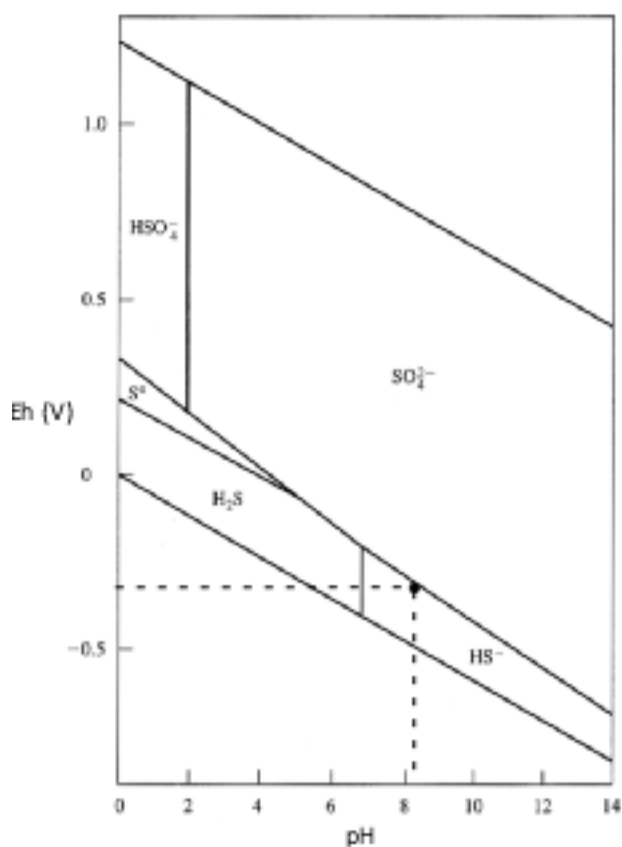


Figura 18: Projeção da espécie dominante de enxofre nas águas do Eirogo (Diagrama Eh-pH retirado de Lima, 2011)

No entanto, podem existir outras espécies de enxofre presentes na água, que variam desde S^2 a S^{6+} . O estado mais reduzido, S^2 , tende a formar sulfuretos de baixa solubilidade, enquanto que o estado mais oxidado, S^{6+} , forma estruturas tetraédricas estáveis com o oxigénio, dando origem

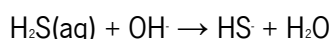
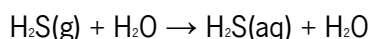
ao ião sulfato (SO_4^{2-}), que corresponde ao estado dominante do enxofre nas águas sulfúreas (Lima, 2011).

O ponto seguinte trata-se de compreender qual a origem do enxofre. Existem 4 linhas de pensamento relativamente a este assunto, que são:

1. Redução de sulfatos;
2. Dissolução de sulfuretos;
3. Fusão de pirite em profundidade;
4. Ascensão de gás sulfídrico a partir do manto

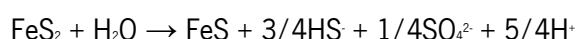
Os dados disponíveis de sulfuração total para as águas Termas de Eirogo não permitem concluir qual será a hipótese mais plausível. Assim sendo, considera-se que nas águas sulfúreas desta zona, o H_2S deverá ser de origem mantélica, como sugerido por Calado (2001).

Segundo este autor, para as águas sulfúreas portuguesas, existe H_2S gasoso juvenil mantélico que ascende e reage com a água nos níveis mais superiores formando HS^- , como demonstrado pelas seguintes reações (Calado, 2001):



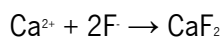
5.2- Espécies oxidadas de Enxofre

A maior concentração de Sulfato (SO_4^{2-}) nas águas sulfúreas alcalinas da região do Minho de Portugal parece ter origem na lixiviação de sulfuretos em profundidade, especialmente de pirite. No entanto, não há indícios de densidade de ocorrência de sulfuretos que justifique esta situação. A lixiviação ocorre através da seguinte reação (Calado, 2001):



5.3- Fluoreto

A origem do ião Fluoreto (F^-) na água era inicialmente atribuída a processos de dissolução mineralógica. O mineral que se pensava ser o maior contribuidor deste elemento seria a fluorite (CaF_2), como mostrado na reação química. Reforçando esta situação, pode ser referido que a temperatura da água mostrava que o sistema estaria em equilíbrio ou próximo do mesmo; pelo que este encontra-se em quantidade apreciável nas rochas graníticas tardi-F3 (Calado, 2001).



Esta hipótese foi refutada quando se comparou os valores de flúor com os valores de cálcio, pois

se estivesse a ocorrer a dissolução de fluorite, a concentração de cálcio também teria tendência a aumentar, o que não se verifica. Aliás, verifica-se o inverso, pois quando existe um aumento em Fluor, o teor de cálcio diminui (Calado 2001). Isto indica que, em vez de uma dissolução de fluorite, estará a ocorrer a precipitação da mesma nas fraturas por onde a água circula (Calado, 1993). Este processo também não seria muito provável devido à difícil dissolução da fluorite (Calado, 2001).

Considerou-se também a hipótese de este elemento estar associado a processos de dissolução de apatite, nomeadamente fluoroapatite (Calado, 1993). Contudo não é aceitável pois os valores de fosfato não são correlacionáveis com os teores de fluor presentes na água (Calado, 2001).

Face ao exposto, a hipótese mais credível será considerar que a origem do fluor é de elevada profundidade, assim como a do enxofre (Calado 1993). Para esta origem de elevada profundidade consideram-se duas hipóteses. A primeira estará relacionada com movimentos de levantamento crustal, sobretudo na região norte e centro de Portugal, que permitiram o acesso a manifestações residuais da instalação dos granitos ou a desgaseificação dos maciços. A segunda hipótese sugere um esmagamento das rochas graníticas nas zonas de maior intensidade tectónica de idade Quaternária, levando à libertação de fluor e de outros elementos voláteis contidos nos minerais (Calado, 1993).

5.4- Amónio

A presença de Amónio (NH_4^+) nestas águas estará relacionada com processos de contaminação por presença de matéria orgânica, pois este elemento é acompanhado da presença de Nitrato (NO_3^-) e Nitrito (NO_2^-), o que é comum quando a proveniência está associada a uma fonte de contaminação (Calado, 2001). Assim sendo a origem, mais plausível, deste composto estará associado à atividade agrícola.

Esta situação é a que deverá justificar a sua ocorrência nas águas da região de Eirogo pois a área de concessão das Termas de Eirogo ocorre próximo de uma zona de intensa atividade agricultura (Figuar 12). Esta atividade está muitas vezes associada ao uso de fertilizantes e adubos que são substâncias enriquecidas em azoto.

5.5- Cloreto

A origem do ião cloreto (Cl) nas águas minerais sulfúreas em Portugal Continental tem sido desde sempre um assunto muito debatido e ao qual ainda não se chegou a um consenso (Calado, 2001). Uma hipótese defendida por alguns autores é que este elemento é originado através da lixiviação da rocha por água quente, no entanto não existe uma correlação entre o ião cloreto e o lítio, estando o lítio normalmente presente em rochas graníticas (Calado, 2001).

Segundo Calado (2001), a origem mais plausível para a ocorrência de ião cloreto será a partir do mineral apatite ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$). A apatite é um mineral acessório comum nas rochas graníticas. A dúvida que resta é se a lixiviação deste mineral será suficiente para conferir à água as concentrações de Cloreto que esta apresenta, à qual ainda não foi atribuída uma resposta plausível.

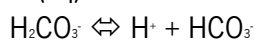
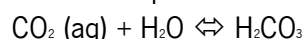
5.6- Carbono Inorgânico Dissolvido

O Carbono Inorgânico Dissolvido (CID) corresponde à soma das 3 espécies de carbono inorgânico que podem ocorrer nas águas, sendo estas o CO_2 , HCO_3^- e CO_3^{2-} .

A quantidade de CO_2 nas águas Termas do Eirogo é reduzida, sendo cerca de 1,94 mmol/L, ou seja, 0.08 mg/L. Assim sendo, a sua origem estará associada a processos de interação água-solo (Guerra, 2015).

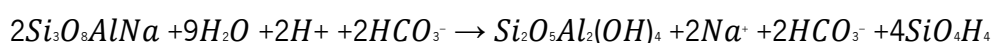
O CO_2 apresenta-se em pequena quantidade na água pois é convertido em HCO_3^- devido ao pH da água. Para os valores de pH das águas das Termas de Eirogo, espera-se que a espécie dominante de carbono na água ocorra sob a forma de HCO_3^- (Figura 19).

As reações de equilíbrio entre as três espécies são as seguintes (Vasconcelos, 2017):



5.7- Sódio

A origem do Sódio (Na^+) estará relacionada com processos comuns de interação água-rocha, mais especificamente, através de uma reação de hidrólise das plagioclases:



Esta hipótese é sustentada pelo rácio entre Na/Ca que é idêntico ao mesmo rácio da plagioclase dominante nas rochas graníticas do aquífero, correspondente à oligoclase (90/10).

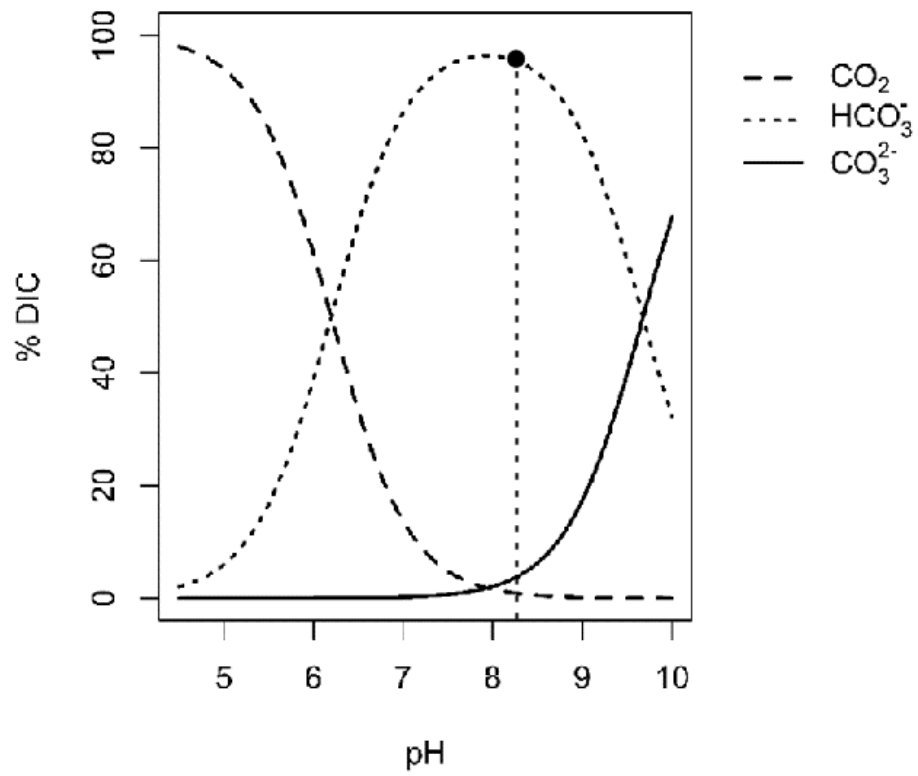


Figura 19: Variação da espécie dominante para o Carbono inorgânico dissolvido dependendo do pH (retirado de Takolander, 2018)

6. Modelo hidrogeológico concetual

6.1- Metodologia

Um modelo concetual trata-se de uma combinação e integração de diferente e diversificada informação disponível sobre um recurso em estudo, de modo a tentar determinar a sua origem e evolução (Marques *et al.*, 2019). A informação necessária para a sua definição é de diferentes naturezas, como seja a química, geológica, topográfica, hidrológica, hidrogeológica, entre outras. No caso das Termas de Eirogo, trata-se de um modelo hidrogeológico concetual que representará o percurso da água desde a sua infiltração até ao local em que surge novamente à superfície.

6.1.1- Isótopos Ambientais

A análise de isótopos ambientais para estudos hidrogeológicos é uma prática corrente de há mais de seis décadas (Guerra, 2015). Estes isótopos permitem a obtenção de dados que transmitem informações detalhadas sobre o funcionamento de um sistema aquífero, cujas técnicas mais comuns não têm a capacidade de fornecer (Guerra, 2015).

Um isótopo trata-se de um átomo com um nuclídeo (arranjo individual de protões e neutrões) com o mesmo número de protões, mas um número de neutrões diferente, conferindo-lhes uma massa distinta (Morais, 2012). Por exemplo, o átomo de hidrogénio (H) possui três isótopos: ^1H (hidrogénio), com 1 neutrão, ^2H (deutério), com 2 neutrões, e ^3H (trítio), com 3 neutrões. Neste trabalho, foram estudados os isótopos ^2H e o ^{18}O .

As conclusões retiradas das análises isotópicas são baseadas nas diferenças entre os desvios isotópicos. Estes desvios são calculados comparando a razão entre o isótopo em estudo com o seu isótopo mais comum que, neste caso, será o ^1H e o ^{16}O , da amostra com a mesma razão de um padrão já determinado (Tabela 8) através da seguinte fórmula (Guerra, 2015):

$$\delta(\text{‰}) = \left(\frac{R_{\text{amostra}}}{R_{\text{padrão}}} - 1 \right) \times 1000$$

Ramostra: rácio $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ou rácio $^2\text{H}/^1\text{H}$ na amostra;

Rpadrão: rácio $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ou rácio $^2\text{H}/^1\text{H}$ no padrão;

$\delta(\text{‰})$: diferença entre rácios em permilagem.

Tabela 9: Valores padrão para os isótopos ^2H e ^{18}O .

| Isótopo | Razão | % de abundância natural | Valor de referência (razão de abundância) |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------|---|
| ^2H | $^2\text{H}/^1\text{H}$ | 0,015 | V-SMOW ($1,5575 \times 10^{-4}$) |
| ^{18}O | $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ | 0,204 | V-SMOW ($2,0052 \times 10^{-3}$) |

V-SMOW – Vienna Standard Mean Ocean Water.

Estas diferenças advêm da existência de processos de fracionamento que levam a que, dependendo de certos fatores, geralmente as águas tornam-se mais empobrecidas em isótopos mais pesados. O fracionamento ocorre pela diferença de massa dos isótopos (Guerra, 2015). Estes fatores, ou efeitos, são os seguintes (Gat et al., 2001):

- Latitude: à medida que a latitude aumenta e a temperatura diminui, ocorre um empobrecimento em isótopos pesados;
- Continental: à medida que o vapor de água se desloca para o interior, ocorre um empobrecimento em isótopos pesados;
- Altitude: à medida que a altitude aumenta, ocorre um empobrecimento em isótopos pesados;
- Sazonal: nas estações de menor temperatura, ocorre um empobrecimento de isótopos pesados;
- intensidade da precipitação: quanto mais intensa for a precipitação, maior será o empobrecimento em isótopos pesados.

Destes efeitos, o mais importante para este trabalho é o efeito da altitude pois é este que permite a delimitação da área de recarga (Guerra, 2015).

6.1.2- Geotermometria

A temperatura é uma das principais propriedades das águas hidrominerais. É esta propriedade que mais facilmente permite a sua distinção das águas comuns e que lhe confere outro tipo de usos, promovendo então o já referido interesse crescente nas mesmas.

Neste sentido, consegue perceber-se que quanto maior for a temperatura da água captada, maior será a variedade de usos a retirar da mesma. O problema imposto é que as captações mais superficiais estarão a recolher água que já sofreu alguma perda de calor. Estas perdas ocorrem durante a sua ascensão por mecanismos de convecção, condução e radiação (Lopes, 2014). Para atingir o máximo de eficiência no aproveitamento, é necessário perceber o

potencial do recurso.

O objetivo principal objetivo da geotermometria consiste na previsão da temperatura potencial de um fluido (Wei, 2004). Esta previsão é possível através da aplicação de geotermómetros. Os geotermómetros utilizados para água podem ser divididos em 2 categorias consoante se baseiam: (1) na variação da solubilidade de certos minerais, dependente da temperatura; (2) em reações de troca, dependentes da temperatura, que fixam as razões de certos constituintes dissolvidos (Fournier, 1989).

No caso das águas hidrominerais das Termas de Eirogo, foram utilizados onze diferentes geotermómetros (Lima, 2001), cujos resultados se encontram na Tabela 9.

Tabela 10: Geotermómetros utilizados no cálculo da temperatura da água das Termas de Eirogo e seus resultados.

| Geotermómetros | Temperatura (°C) | Referência |
|----------------|------------------|---------------------------|
| Qz | 114 | Trusdell, 1976 |
| Calcedónia | 85 | Fournier e Trusdell, 1974 |
| Na/K | 91 | Trusdell, 1976 |
| Na/K | 115 | Tonani, 1980 |
| Na/K | 102 | Annorson, 1983 |
| Na/K | 136 | Fournier, 1979 |
| Na/K | 125 | Nieva e Nieva, 1987 |
| Na/K | 156 | Giggenbach, 1988 |
| K/Mg | 103 | Giggenbach, 1988 |
| Na-K-Ca | 132 | Fournier e Trusdell, 1973 |
| Na/Li | 202 | Kharaka, 1982 |
| Na/Li | 138 | Foulliac, 1981 |
| Li/Mg | 123 | Kharaka, 1989 |

O uso de vários geotermómetros permite verificar se existe um consenso entre os diferentes valores obtidos. Neste caso, pode-se observar que existem várias discrepâncias entre os resultados. Estas variações de temperatura, especialmente entre os geotermómetros baseado na sílica e os geotermómetros baseados nos catiões, é um evidência de que deverá ter ocorrido um evento de mistura em profundidade (Gorgieva, 1989). Assim sendo, e como existe mistura de água, conclui-se que o sistema não se encontra em equilíbrio. De entre os geotermómetros utilizados, o que se baseia no rácio Li/Mg é o mais apropriado para sistemas que ainda não atingiram o equilíbrio e que são de baixa temperatura (<150°C) (Kharaka, 1989), como é o caso do sistema das águas minerais de Eirogo.

6.2- Proposta do modelo concetual para as Termas de Eirogo

O ponto inicial do percurso da água subterrânea é a zona de recarga. A determinação da mesma, ou de um local aproximado, é de extrema importância para o modelo hidrogeológico e delimitar perímetros de proteção da captação. Para a determinação desta área de recarga foram considerados os dados isotópicos disponíveis para a água mineral de Eirogo (Tabela 10) (Lima, 2001).

Tabela 11: Dados isotópicos para as águas minerais de Eirogo (retirado de Lima, 2001).

| Ponto de Água | Localização | Tipo | Captação | Altitude (m) | $\delta^2\text{H}$ (‰) | $\delta^{18}\text{O}$ (‰) |
|---------------|-------------|-----------------------|----------|--------------|------------------------|---------------------------|
| IE.61 | Eirogo | Mineral | F | 40 | -27.7 | -4.79 |
| IE.62 | Eirogo | Circulação Epidérmica | N | 40 | -28.3 | -4.58 |

Com estes dados isotópicos e considerando a utilização de um gradiente para $\delta^{18}\text{O}$ (‰) de -0.29‰, previamente calculado (Lima, 2011), obtém-se uma altitude média para a zona de recarga do sistema aquífero que deverá rondar os 300 m.

Com esta informação, pode-se observar que a zona recarga se situará algures na zona periférica da bacia hidrográfica da Ribeira de Pontes, excluindo a região sul, pois são os únicos locais com uma altitude próxima da indicada pelos dados isotópicos. No entanto, esta informação não é suficiente, pois não permite ter uma ideia concreta do local exato onde ocorre a recarga do sistema aquífero.

Assim sendo, de seguida, foram cruzados os dados isotópicos com a geologia estrutural da zona (Figura 20). Como é possível observar, a estrutura geológica de maior dimensão, a falha de orientação NW-SE, não só passa em zonas de altitudes superiores a 300 m, como passa por cima da zona de concessão. Este será, então, o percurso preferencial para a circulação da água mineral e a zona de recarga estará localizada próximo da falha, nas regiões que se encontram a uma altitude próxima de 300 m.

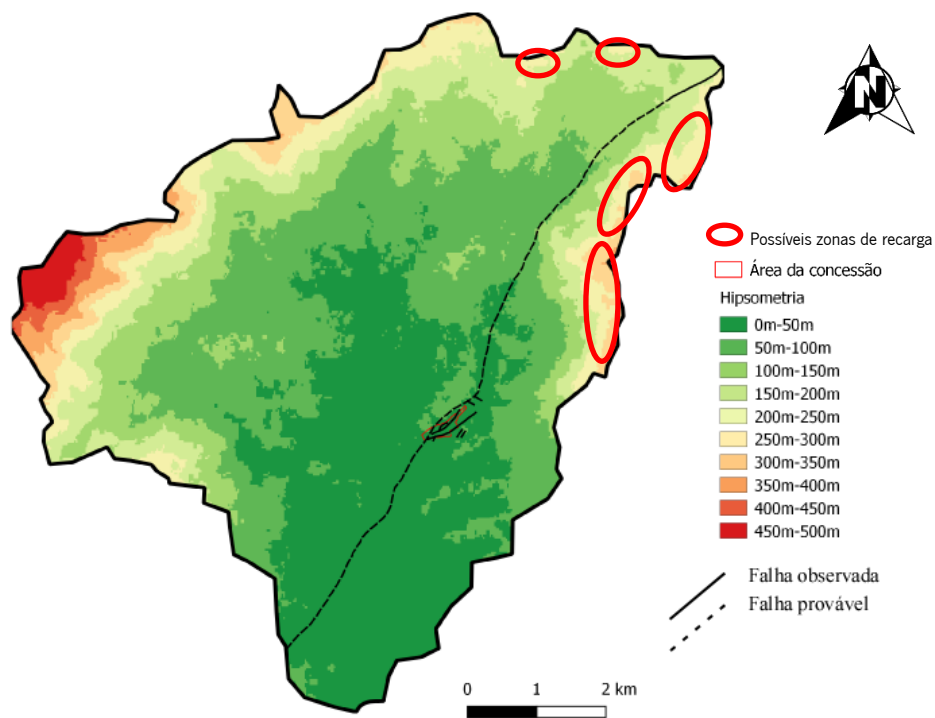


Figura 20: Mapa hipsométrico e estrutura geológica de maior dimensão da bacia hidrográfica da Ribeira de Pontes (Realizado em QGIS 2.18).

A quantidade de água que servirá de recarga para os sistemas aquíferos equivale a cerca de 10% da precipitação anual (Samper et al., 2007), pelo que no caso de estudo equivale a cerca de 125 mm/ano.

Após infiltração, a água poderá manter-se numa região superficial ou seguir para maiores profundidades, onde ocorrerá um aumento de temperatura e transformar-se-á em água mineral (Figura 21). A profundidade máxima de circulação da água mineral foi calculada tendo por base os dados de geotermometria e do gradiente geotérmico da área em estudo. A geotermometria indica valores de temperatura da água em reservatório na ordem dos 123°C (Lima, 2001). De acordo com Calado (2001), o gradiente geotérmico médio universal ronda os 30°C/km, ou seja, 3°C/100m. Considerando que a temperatura inicial, isto é, a temperatura da água de superfície é de 24.5°C, obtém-se uma profundidade de circulação próxima de 3260 m

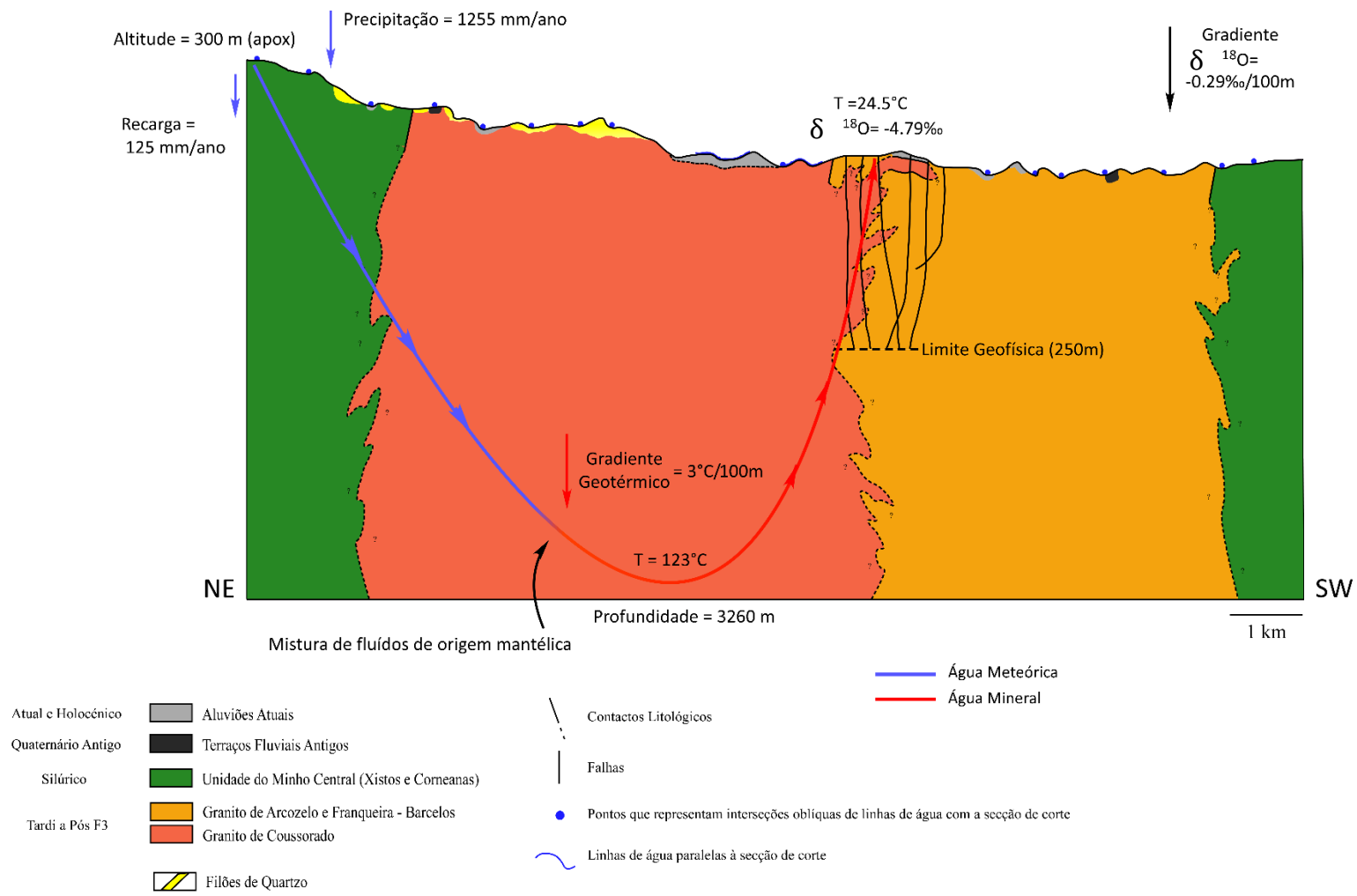


Figura 21: Modelo hidrogeológico concetual para a área das Termas de Eiroa.

7. Conclusão

No final deste trabalho foi atingido o principal objetivo com a proposta de um modelo hidrogeológico concetual para a zona das Termas de Eirogo, após organizada e interpretada a informação disponível sobre o sistema aquífero.

As águas das Termas de Eirogo são águas de origem meteórica que se infiltram a uma altitude próxima de 300 m, como sugerido pelos dados isotópicos. Esta infiltração da água é promovida pela existência de uma falha de direção NE-SW, que também servirá como percurso preferencial, até á zona de emergência. As águas da região atingirão uma profundidade máxima de 3260 m, onde adquirem, através do gradiente geotérmico, uma temperatura de 123°C.

As caraterísticas fisico-químicas da água da região resultam principalmente da interação água-rocha, embora se considere que provêm maioritariamente de uma origem mantélica.

Como trabalho futuro, e de forma a esclarecer algumas dúvidas relativas a este recurso hidrogeológico, será necessária a realização de estudos detalhados e aprofundados, especialmente a nível das caraterísticas fisico-químicas da água mineral, para a obtenção de um estudo de variabilidade temporal mais completo e, se possível, recorrendo ao seu tratamento estatístico. Com este estudo de variabilidade temporal será possível obter informações com uma maior certeza sobre a origem da mineralização da água, bem como, da sua profundidade de circulação.

Bibliografia

- A. Cantista (2008-2010) - O termalismo em Portugal. *Anales de Hidrología Medica*, vol. 3, 79-107
- A. Lima (2001). Hidrogeologia de terrenos graníticos: Minho-Portugal. Tese de Doutoramento em Ciências-Geologia. Universidade do Minho. pp: 451 (Não publicado).
- A. Lima (2006). Plano de exploração das Termas de Eirogo. Concessão hidromineral HM-52. Relatório técnico (Não publicado).
- A. Lima (2011). Ocorrências bicarbonatadas sódicas associadas ao acidente de Gerês-Lóbios. Diversidade Composicional e Termalidade. Universidade do Minho. pp: 21.
- Annorson (1983). Chemical equilibria in iceland geothermal systems. implications for ghemical geothermometry invetigations. *Geothermics*, 12: 119-128.
- A.Takolander, Antti. (2018). Assessing the effects of climate change on Baltic Sea macroalgae – implications for the foundation species *Fucus vesiculosus* L..10.13140/RG.2.2.31558.11840.
- A. Vasconcelos (2017). Hidrogeologia de águas minerais. Um caso de estudo em Portugal. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto.
- C. Calado, C. Almeida (1993). Geoquímica do flúor em águas minerais da zona Centrolbérica. IX Semana de Geoquímica de Língua Portuguesa e II Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, Memórias N° 3 da Univ. do Porto, Ed. F. Noronha, M. Marques e P. Nogueira, Porto, p. 319-323
- C. Calado (2001). A ocorrência de água sulfúrea alcalina no maciço hespérico: a ocorrência de água sulfúrea alcalina no maciço hespérico: quadro hidrogeológico e quimiogénese. Tese de Doutoramento em Ciências – Geologia. Universidade de Lisboa. pp:462.
- C. Ferreira.; Lima, C.S.; Cavalcanti, L.C.S.; Santos, A. H. O. (2010). Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Açude Cachoeira II , no município de Serra Talhada - PE, Brasil. In Seminário Latino Americano de Geografia Física, 6; Seminário Ibero Americano de Geografia Física, 2 (pp. 1–10).
- C. Lourenço (1998). Recursos geotérmicos de baixa entalpia em Portugal Continental. In 4º Congresso da Água, Lisboa, Vol. 23.
- C. Teixeira e A. Medeiros (1969). Notícia explicativa da carta geológica de Portugal 5-C à escala 1/50000. Serviços Geológicos de Portugal.
- C. Simões (1993). Águas Minerais Portuguesas: da sua caracterização físico-química ao esboço de uma classificação. *Boletim de Minas. DGGM*, 30: 13-26
- D. Barbosa (2017). Proposta de Reabilitação do Centro Termal do Eirogo em Galegos Santa Maria, Barcelos: Uma Estância Termal Contemporânea. Dissertação de Mestrado, Universidade da Beira Interior.
- E. Pereira (1992). Carta geológica de Portugal 1:200000. Notícia explicativa da Folha 1. Serviços Geológicos de Portugal
- Fournier e Trusdell (1973). An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters. *GEOCHEMICA ET Chosmochimica ACTA*, 37: 1255-1275.
- Fournier e Trusdell (1974). geochemical indicators of subsurface temperature - part 2. estimation of temperature and fraction of hot water mixed with cold water. *Journ. RES. U.S. SURVEY* 2: 263-270.
- Fournier (1979). Geochemical and hydrological considerations and use of enthalpy-chloride diagrams in the prediction of underground conditions in hot-spring systems. *Journ. Volcanol. Geotherm. Res.*, 5: 1-16.
- R. Fournier (1989): Lectures on geochemical interpretation of hydrothermal waters. UNU-GTP, Iceland, report 10, 73 pp.
- Foulliac (1981). Sodium/Lithium ratio in water applied to geothermometry of geothermal reservoirs. *Geothermics*, 10: 55-70.

- Geoestudos (1984). Relatório final dos trabalhos de pesquisa e captação de água minero-medicinal. Captação por furo vertical dos Castanheirinhos, concessão hidromineral n.º 24. Relatório técnico (Não publicado).
- Geoestudos (1986). Relatório das pesquisas, por furo vertical, efetuadas nos terrenos das Termas de Eirogo, em Junho de 1986. Relatório técnico (Não publicado).
- Geoestudos (1991). Termas de Eirogo. Estudo Hidrogeológico. Relatório técnico (Não publicado).
- Giggenbach, 1988. Geothermal solute equilibria. derivation of Na-K-Mg-Ca Indicators. *Geochemica et chosmochimica ACTA*, 52: 2749-2765.
- H. Lopes (2014). Sistemas Geotérmicos de Baixa Entalpia - Estudos de Caracterização Térmica. Dissertação de Mestrado em Engenharia Geológica. Faculdade de Ciências da Terra. Universidade de Lisboa. pp: 140.
- H. Carvalho, A., Almeida, J.D. & Reis, E.M. (1961) Guia de análise química das águas (potáveis, minerais e para a indústria). Associação dos Estudantes do IST, Lisboa. 162 pp.
- J. Gat, Willem Mook, Harro Meijer (2001). Environmental isotopes in the hydrological cycle. Principles and applications. Volume 2. International atomic energy agency and United nations educational, scientific and cultural organization. pp: 197-207.
- J. M. Marques, P. Carreira, O. Neves, J. E. Marques, J. Teixeira (2018). Revision of the hydrogeological conceptual models of two Portuguese thermomineral water systems: similarities and differences. *Sustainable Water Resources Management* (2019) 5:117–133.
- J. Samper, M. Bonilla, J. Carvalho (2007). Numerical flow and heat transport model of Banões de Brea thermal Spring in Galicia. Numerical flow and heat transport model of Baños de Brea thermal spring in Galicia, In: Proceedings of Symposium on Thermal and Mineral Waters in Hard Rock Terrains AIH-GP. JM Marques & L. Ribeiro Eds, Lisbon, Portugal, 161-170.
- J. Sundell, T. Norberg, E. Haaf, L. Rosèn (2019). Economic valuation of hydrogeological information when managing groundwater drawdown. *Hydrogeology journal* 2019, 27, pp: 1111-1130.
- Kharaka (1982). Chemical geothermometers applied to formation waters, gulf of mexico and california basins. *American association of petroleum geologists bulletin*, 66: 588.
- Kharaka (1989). Chemical geothermometers and their application to formation waters from sedimentary basins. in: Naeser, N. D; McCulloch. thermal history of sedimentary basins: methods and case hisotires. Springer - Verlag, 99-117.
- Lei n.º 54/2015, de 22 de junho: Bases do regime jurídico da revelação e do aproveitamento dos recursos geológicos existentes no território nacional, incluindo os localizados no espaço marítimo nacional
- L. Gonçalves (2016). Caracterização e Exploração do sistema hidromineral sulfúreo das Caldas de Carlão. Dissertação de Mestrado. Mestrado em Geologia. Universidade do Porto. pp: 128.
- M. Guerra (2015). Utilização de isótopos ambientais (2H, 13C, 18O, 3H e 14C) na caracterização de sistemas hidrominerais e geotérmicos do norte de Portugal (Termas de Monção e Gerês). pp: 64 (Não Publiado).
- M. Morais (2012). Sistemas hidrominerais nos terrenos graníticos da zona centro-ibérica em portugal central: perspectivas químicas, isotópicas e genéticas sobre as águas sulfúreas. Tese de doutoramento. Faculdade de ciências e tecnologias. Universidade de Coimbra.
- Nieva e Nieva (1987). Developments in geothermal energy in mexico, part 12 - a cationic composition geothermometer for prospection of geothermal resources. *Heat recovery and chp*, 7: 243-258.
- M. Villela e A. Mattos (1975). *Hidrologia Aplicada*. Editora Mc Graw Hill, São Paulo 245p.
- Trusdell, 1976. Summary of 3. Geochemical Techniques in Exploraton. Proc second united nations symposium on development and use of geothermal resources. San francisco, 53-79.
- Tonani, 1980. some remark on the application of geochemical techniques in geothermal exploration. Proc. adv.eur.geoth.res., second symposium, strasbourg, 428-443.

- T. Betancur, C. Tobon, J. Escobar (2012). Concetual Models in Hydrogeology, Methodology and Results. Universidade de Antioquia, Colombia.
- S. Almeida, L. Gomes, P. Carvalho, A. Oliveira (2015). Contribuição para o conhecimento da hidroquímica do sistema aquífero termomineral de São Pedro do Sul (N de Portugal). Comunicações Geológicas (2015) 102, Especial I, 125-128
- X. Wei (2004). Application of Geochemical Methods in Low-Temperature Geothermal Areas : Strandir Area, W-Iceland and the liangxiang field, Beijing, China. Geothermal training programme, reports 2004, n°17. pp: 377-402.

Webgrafia

- Corine Land Cover (2019). <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> – consultado em 04/03/2019.
- DGEG (2019). <http://www.dgeg.gov.pt/> - consultado em 05/12/2019.
- ICS (2002). http://www.aguas.ics.ulisboa.pt/braga_eirogo.html- consultado em 2019.
- IPMA (2019). <http://www.ipma.pt> – consultado em 23/06/2019.
- LNEG (2010). www.lneg.pt. Consultado em 2019.
- Wikipédia (2019). https://pt.wikipedia.org/wiki/Termas_do_Eirogo - consultado em 2019