



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR  
Faculdade de Engenharia

# **Contribuição para o Conhecimento do Potencial Geotérmico do Distrito da Guarda**

(Versão final após defesa pública)

**Tiago Miguel dos Santos Marcos**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia Civil - Geotecnia e Ambiente**  
(Ciclo de estudos integrado)

Orientador: Prof. Doutor Luís Manuel Ferreira Gomes

Covilhã, novembro de 2016



Aos meus pais e irmã.



*“Se pensa que consegue fazer uma coisa, ou sonha conseguir fazê-la, meta mãos à obra.  
A ousadia contém gênio, poder e magia.  
Comece já.”*

(Johann Wolfgang von Goethe,  
autor e estadista alemão, faleceu em 1832)



# Agradecimentos

Existem diversas pessoas a quem quero agradecer pelo apoio incansável ao longo do meu percurso, em especial às pessoas que de certa maneira me apoiaram na elaboração deste trabalho.

Agradeço ao Professor Doutor Luís Manuel Ferreira Gomes, orientador científico desta dissertação, pelo constante apoio, disponibilidade e por todo o conhecimento que me transmitiu, não só ao longo da elaboração deste trabalho mas também ao longo do meu percurso académico, o que me fez despertar um grande interesse por esta temática.

Aos concessionários de termas que me facultaram visitas técnicas, nomeadamente à Termalístur, Termas de São Pedro do Sul, na pessoa do seu administrador, Dr. Vitor Leal, por me facultar a possibilidade de adquirir alguma sensibilidade no funcionamento da Central Geotérmica de S. Pedro do Sul.

Aos meus pais agradeço pela sua confiança, orientação e paciência, uma vez que sem eles, neste momento, não estaria onde estou, e à minha irmã por me ensinar a ter pontos de vista diferentes e por ser a minha confidente pessoal em todos os momentos bons e menos bons.

Agradeço aos amigos mais chegados, que de algum modo contribuíram nas mais diversas formas para a realização deste trabalho.



## Resumo

As energias renováveis apresentam-se cada vez mais como alternativas viáveis para a produção de energia. O caso da energia geotérmica não é exceção, havendo estudos que orientam que no futuro será uma das energias mais viáveis, com baixíssimos impactos ambientais e custos para a sua produção relativamente modestos em relação a outras formas de produção de energias alternativas.

Atualmente, em Portugal, desde pessoas singulares, de forma anónima, a instituições várias, demonstram grande empenho em arranjar alternativas aos processos clássicos de obtenção de energia por questões económicas e ambientais. Assim, interessa fazer estudos com detalhe sobre o potencial geotérmico a nível de todo o distrito da Guarda, que é rico em maciços graníticos com algumas nascentes de águas especiais, nomeadamente as águas sulfúreas termais, que desde logo orientam para um grande percurso em profundidade, deixando antever que antes de ressurgirem à superfície, estiveram em locais relativamente quentes.

Assim, neste trabalho apresentam-se os principais elementos geológicos dos maciços rochosos do distrito, o potencial hídrico de recarga e o inventário de vários pontos de águas subterrâneas especiais, em particular apresentam-se aqueles que estão associados a modelos geohidráulicos profundos, com as suas características físicas e químicas principais presentes em elementos da literatura. Efetua-se o tratamento de resultados de modo a avançar com as temperaturas das águas em reservatório e respetivas profundidades. Para as situações consideradas de maior interesse, apresenta-se o potencial energético existente e ainda alguns aspetos ambientais. Por fim, tecem-se algumas considerações finais, apresentam-se algumas conclusões, e avança-se com propostas de estudos futuros, de modo a comprovar alguns cenários que aqui são apresentados.

## Palavras-chave

Energia Geotérmica; Potencial Geotérmico; Gradiente Geotérmico; Águas Subterrâneas Sulfúreas; Distrito da Guarda.



# Abstract

Renewable energies are increasingly viable alternatives for energy production. Geothermal energy is no exception, with many predicting studies indicating this will be one of the most viable types of energy, with very low environmental impact and relatively low costs, compared to other alternative forms of energy production.

Currently, in Portugal, anonymous individuals as well as several institutions, have demonstrated great effort trying to find alternatives to the traditional energy obtaining processes, because their economical and environmental advantages. Therefore, detailed studies about geothermal potential are necessary in district of Guarda, due to its granitic massif vast extension containing special water springs, in particular sulphurous groundwater. This water composition suggests an extensive course in depth, which indicates this waters run in locations with relatively high temperatures.

Thus, this research introduces the main geological elements in the district rocky massif, the recharge potential of groundwater and the inventory of special groundwater points, particularly those associated with profound geo-hydraulic models with their physic-chemical properties described in the literature. The results treatment allows the determination of geothermal reservoirs water temperatures as well as the respective depth. For the most relevant cases not only the energy potential is presented but also some other environmental aspects. At last, some final conclusions are drawn and future studies are proposed, in order to prove some of the presented scenarios.

## Keywords

Geothermal Energy, Geothermal Potential, Geothermal Gradient, Sulphurous Groundwater, District of Guarda



# Índice

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	1
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objetivo .....	1
1.2. A Relevância das Energias Renováveis .....	1
1.3. Metodologia do Trabalho .....	5
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	7
2. A ENERGIA GEOTÉRMICA .....	7
2.1. Introdução .....	7
2.2. Aspetos Históricos .....	8
2.3. Domínios da Geotermia.....	9
2.3.1. Perspetiva geológica .....	9
2.3.2. Perspetiva cultural e turística .....	13
2.3.3. Perspetiva terapêutica .....	15
2.3.4. Perspetiva energética .....	18
2.3.4.1. Geotermia de alta entalpia.....	21
2.3.4.2. Geotermia de baixa e muito baixa entalpia .....	27
2.3.5. Impactos ambientais .....	36
2.3.6. Limitações .....	38
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	39
3. A GEOTERMIA EM PORTUGAL.....	39
3.1. Introdução .....	39
3.2. Recursos Geotérmicos em Portugal Continental .....	40
3.2.1. Elementos hidrogeológicos.....	40
3.2.2. Nascentes termais .....	42
3.2.3. Aquíferos profundos.....	52
3.2.4. Aquíferos muito profundos e rochas secas em maciços cristalinos .....	54
3.2.5. Aquíferos e formações geológicas secas à temperatura normal .....	55
3.3. Recursos Geotérmicos no Arquipélago dos Açores .....	56
3.4. Recursos Geotérmicos na Ilha da Madeira.....	59

<b>CAPÍTULO 4</b> .....	61
<b>4. CASO DE ESTUDO - GEOTERMIA NO DISTRITO DA GUARDA</b> .....	61
4.1. Introdução .....	61
4.2. Enquadramento Geográfico.....	61
4.3. Aspetos Geológicos.....	63
4.4. Enquadramento Geomorfológico.....	68
4.5. Aspetos Hidrológicos.....	70
4.5.1. Elementos climáticos .....	70
4.5.2. Balanço hidrológico .....	75
4.6. Aproveitamentos Atuais .....	80
4.6.1. Situação global.....	80
4.6.2. Situação do aproveitamento de Longroiva.....	83
4.6.2.1. Introdução .....	83
4.6.2.2. Aspetos energéticos.....	86
4.6.2.3. Situação económica e ambiental .....	87
4.7. Aproveitamentos Potenciais .....	88
4.7.1. Elementos de base .....	88
4.7.2. Elementos geo-energéticos .....	102
4.7.3. Elementos sobre o potencial energético efetivo .....	120
4.7.4. Elementos ambientais .....	122
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	125
<b>5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	125
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	131

# Lista de Figuras

<b>Figura 1.1-</b> Previsão dos preços dos principais produtos energéticos para Portugal (R.P., 2009). .....	2
<b>Figura 1.2 -</b> Evolução da estimativa de energia proveniente de Fontes de Energia Renováveis no consumo bruto de energia final para Portugal (R.P., 2009). .....	3
<b>Figura 1.3 -</b> Estimativa da evolução para Portugal da potência instalada (MW) das diferentes tecnologias FER (R.P., 2009). .....	4
<b>Figura 2.1 -</b> Vista geral das torres de arrefecimento de uma central geotérmica em Larderello, Itália (Rio, 2011). .....	9
<b>Figura 2.2 -</b> Central Geotérmica da Ribeira Grande (Rio, 2011). .....	9
<b>Figura 2.3 -</b> Imagens sobre a tectónica de placas: i) principais sistemas de fraturas; ii) locais de ocorrência de vulcanismo e sismicidade nas várias regiões do planeta (Ferreira Gomes, 2007a). .....	10
<b>Figura 2.4 -</b> Exemplos de manifestações violentíssimas de libertação de energia do interior da terra, a partir de vulcões ativos (Ferreira Gomes, 2007a). .....	11
<b>Figura 2.5 -</b> Exemplos de manifestações moderadas de libertação de energia do interior da terra, a partir de ressurgências de fluidos quentes associados a antigos vulcões (Ferreira Gomes, 2007a). .....	11
<b>Figura 2.6 -</b> Exemplo sobre esquema de princípio mostrando a intrusão magmática como uma rocha potencialmente de maior gradiente geotérmico que as rochas encaixantes (Ferreira Gomes, 2007b). .....	12
<b>Figura 2.7 -</b> Esquema de princípio mostrando o circuito natural de um fluido que acaba por ressurgir quente à superfície terrestre (Ferreira Gomes, 2007c). .....	13
<b>Figura 2.8 -</b> Termas de Bath (Speedy, 2013). .....	14
<b>Figura 2.9 -</b> Imagens de turistas em visita às estufas de frutos tropicais, climatizadas a partir do calor da água mineral quente, da concessão das Termas de S. Pedro do Sul (Ferreira Gomes, 2007b). .....	15
<b>Figura 2.10 -</b> Imagem sobre o quotidiano dos termalistas nos balneários romanos (Cunliffe, 1993). .....	16
<b>Figura 2.11 -</b> Diagrama de Lindal (Lindal, 1973). .....	20
<b>Figura 2.12 -</b> Principais aplicações da energia geotérmica em função da temperatura (Cruz, 2013). .....	20
<b>Figura 2.13 -</b> Esquema de princípio dos sistemas HDR, para produção de eletricidade a partir de vapor de água resultante do aquecimento de água fria injetada no maciço quente (Arena, 2003 <i>in</i> Albuquerque, 2011). .....	21
<b>Figura 2.14 -</b> Capacidade instalada (esquerda) e energia produzida (direita) para a produção de eletricidade e usos diretos através da energia geotérmica para os diferentes continentes;	

Consideram-se “Americas” a América do Norte, do Sul e do Centro (Fridleifsson e Ragnarsson, 2007). .....	22
<b>Figura 2.15</b> - Capacidade instalada para a produção de eletricidade em 2007 para os diferentes países (Bertani, 2007). .....	23
<b>Figura 2.16</b> - Capacidade de produção de energia elétrica a partir de Centrais Geotérmicas, por país, depois da Segunda Guerra Mundial, no mundo (Bertani, 2010). .....	24
<b>Figura 2.17</b> - Previsão para as 18 regiões de GEA, em TWh/ano: 2010 (a preto), 2015 (em azul) e 2050 (em vermelho). A energia referida na figura corresponde à potência efetiva de 10.7 GW por 2010, 18.4 GW para 2015 e 70 GW para 2050 (Bertani, 2010). .....	26
<b>Figura 2.18</b> - Previsão de instalação de potência para produção de energia elétrica a partir da geotermia até ao ano 2050 (Bertani, 2010). .....	27
<b>Figura 2.19</b> - Produção de energia geotérmica em uso direto nos vários domínios de aplicações, em todo o mundo, no período 1995-2010 (Lund <i>et al.</i> , 2010a). .....	29
<b>Figura 2.20</b> - Capacidade instalada: (i) em produção de energia geotérmica (ii) em uso direto nos vários domínios de aplicações, em todo o mundo, no ano de 2010 (Lund <i>et al.</i> , 2010a). ..	30
<b>Figura 2.21</b> - Desenvolvimento do uso da geotermia de baixa entalpia, nos Estados Unidos, no período de 1975 a 2010 (Lund <i>et al.</i> , 2010b). .....	31
<b>Figura 2.22</b> - Esquema do funcionamento geral de um sistema geotérmico (Moel <i>et al.</i> , 2010 in Cruz, 2013). .....	33
<b>Figura 2.23</b> - Esquema de princípio de sistemas geotérmicos em: (i) aquecimento; (ii) arrefecimento (Albuquerque, 2011). .....	33
<b>Figura 2.24</b> - Funcionamento no Inverno (i) e funcionamento no Verão (ii) (Cruz, 2013). .....	34
<b>Figura 2.25</b> - Esquema de captação horizontal (Cruz, 2013). .....	35
<b>Figura 2.26</b> - Esquema de captação vertical através de furo e estacas de fundação (Cruz, 2013). .....	35
<b>Figura 2.27</b> - Esquema de captação de água subterrânea com furo em aquífero com funcionamento no Verão e no Inverno (Albuquerque, 2011). .....	36
<b>Figura 3.1</b> - Principais unidades hidrogeológicas e seu enquadramento nas grandes unidades geológicas de Portugal Continental (Pires, 2014). .....	41
<b>Figura 3.2</b> - Localização das ocorrências de águas termais em território nacional, com temperatura superior a 20°C (IGM, 1999). .....	43
<b>Figura 3.3</b> - Resultados de prospeções hidrogeológicas e geotérmicas recentes em Portugal Continental: US - Unhais da Serra (em vários troços, pois o furo em profundidade desenvolve-se em três troços); Granjal - Termas de Granjal - Santa Comba Dão; SPSul - Termas de São Pedro do Sul; Águas - Termas da freguesia de Águas, Penamacor; Almeida- Termas de Almeida; Longroiva - Termas de Longroiva. ....	45
<b>Figura 3.4</b> - Exemplo de furo recente, na zona central do plutonito da região de Castro Daire (Viseu) com o objetivo de obter água termal (a partir de Ferreira Gomes <i>et. al.</i> , 2007). Nota:	

o furo foi realizado à rotopercussão da superfície até 132 m e daí para baixo em rotação com carotagem.....	46
<b>Figura 3.5</b> - Aproveitamentos geotérmicos em Portugal Continental, em 2010 (Lourenço <i>et al.</i> , 2010).....	47
<b>Figura 3.6</b> - Imagens das estufas do Pólo do Vau do CHGSPS, com aproveitamento geotérmico oficial, junto ao IGM (representado pela atual DGEG), desde 1998, em produção de frutos tropicais (Ferreira Gomes e Albuquerque, 2015). ....	49
<b>Figura 3.7</b> - Esquema de princípio dos sistemas exploração/produção de energia geotérmica no Pólo das Termas do CHGSPS (Ferreira Gomes e Albuquerque, 2015). ....	50
<b>Figura 3.8</b> - Imagem real da Central Geotérmica (a) e do seu interior em imagem virtual, associada ao sistema de controlo e monitorização de todos os processos geotérmicos (b), no Pólo das Termas do CHGSPS (Ferreira Gomes e Albuquerque, 2015). ....	50
<b>Figura 3.9</b> - Fotografia do interior da Central Geotérmica (i) e detalhe do principal permutador PP1a (ii), do Campo Hidromineral e Geotérmico de S. Pedro do Sul. ....	51
<b>Figura 3.10</b> - Áreas com potencial geotérmico em profundidade (IGM, 1998). ....	53
<b>Figura 3.11</b> - Carta Geológica da região de Lisboa e respetivo corte geológico-geotérmico (Martins de Carvalho e Nunes, 2010). ....	54
<b>Figura 3.12</b> - Enquadramento dos Açores no âmbito da tectónica de placas, no denominado ponto triplo onde confluem as placas da Eurásia, da Núbia e Norte Americana (i) e detalhe da relação das várias ilhas com a zona de cisalhamento dos Açores (ii) (Trota, 2009). ....	56
<b>Figura 3.13</b> - Esquema de princípio da Central Geotérmica do Novo Pico Vermelho, Açores (Bicudo da Ponte, 2010). ....	58
<b>Figura 3.14</b> - Evolução da produção de energia elétrica no dia 11 de maio de 2008 na ilha de S. Miguel, Açores (Bicudo da Ponte, 2010). ....	58
<b>Figura 3.15</b> - Relação entre a temperatura da água de ressurgências da Ilha da Madeira e a altitude, mostrando que há alguns pontos que saem da tendência geral, por terem potencial geotérmico (Teixeira Nascimento <i>et al.</i> , 2013). ....	60
<b>Figura 4.1</b> - Localização do Distrito da Guarda (adaptado de AEP, 2004). ....	62
<b>Figura 4.2</b> - Enquadramento do Distrito da Guarda na divisão territorial por NUTS II e NUTS III (a partir de INE, 2015). ....	62
<b>Figura 4.3</b> - Enquadramento do Distrito da Guarda nas Unidades Estruturais do Ocidente Peninsular. 1 - Zona Cantábrica; 2 -Zona Oeste-Asturiana-Leonesa; 3 - Zona Centro Ibérica; 4 - Zona de Ossa-Morena; 5 - Zona Sul Portuguesa; 6 - Orla Ocidental; 7 - Orla Algarvia; 8 - Bacias Terciárias; 9 - Desligamento; 10 - Falha ou Flexura (Abrantes, 1996). ....	63
<b>Figura 4.4</b> - Carta Geológica da Região Centro-Leste de Portugal (Abrantes, 1996). ....	65
<b>Figura 4.5</b> - Unidades litológicas predominantes na área de estudo. 1 - Aluviões; 2 - Areias, calhaus rolados, arenitos pouco consolidados, argilas; 3 - Cascalheiras de planalto, arcoses da Beira Baixa, arenitos, calcários; 4 - Depósitos glaciares; 5 - Granitos e rochas afins; 6 - Quartzitos; 7 - Rochas carbonatadas; 8 - Xistos, grauvaques (adaptado de Henriques, 2011). ....	66

<b>Figura 4.6</b> - Enquadramento geológico da zona de estudo (adaptado de Ferreira Gomes, 2014). .....	67
<b>Figura 4.7</b> - Enquadramento do distrito da Guarda na Carta Hipsométrica de Portugal (adaptado de SNIRH, 2016). .....	69
<b>Figura 4.8</b> - Implantação das estações meteorológicas consideradas para o cálculo da precipitação ponderada a usar no balanço hidrológico para as áreas das três principais bacias: Douro, Mondego e Tejo. ....	70
<b>Figura 4.9</b> - Definição dos polígonos de Thiessen para calculo da precipitação mensal ponderada para a zona de estudo. ....	72
<b>Figura 4.10</b> - Enquadramento da zona alvo de estudo em relação à temperatura média diária anual (adaptado de SNIRH, 2016). ....	74
<b>Figura 4.11</b> - Resultados do balanço hidrológico sequencial mensal para a bacia do Douro abrangida no distrito. ....	77
<b>Figura 4.12</b> - Resultados do balanço hidrológico sequencial mensal para a bacia do Mondego abrangida no distrito. ....	77
<b>Figura 4.13</b> - Resultados do balanço hidrológico sequencial mensal para a bacia do Tejo abrangida no distrito. ....	78
<b>Figura 4.14</b> - Localização dos pontos de água em exploração no distrito da Guarda (adaptado de DGEG, 2015). ....	81
<b>Figura 4.15</b> - Imagens sobre o Complexo Termal de Longroiva (a partir de Ferreira Gomes, 2015). ....	84
<b>Figura 4.16</b> - Esquema de princípio sobre o Plano de Exploração do global do recurso do Furo AC1A, de Longroiva, com integração da geotermia (Ferreira Gomes,2015). ....	85
<b>Figura 4.17</b> - Implantação dos pontos de água no distrito da Guarda à partida com potencial geotérmico. ....	89
<b>Figura 4.18</b> - Comparação de todos os pontos de água inventariados em relação ao pH. ....	93
<b>Figura 4.19</b> - Comparação de todos os pontos de água inventariados em relação à temperatura. ....	94
<b>Figura 4.20</b> - Comparação de todos os pontos de água inventariados em relação à condutividade. ....	95
<b>Figura 4.21</b> - Comparação de todos os pontos de água inventariados em relação à mineralização total.....	97
<b>Figura 4.22</b> - Comparação de todos os pontos de água inventariados em relação ao resíduo seco a 180 °C. ....	98
<b>Figura 4.23</b> - Comparação de todos os pontos de água inventariados em relação à sílica (SiO <sub>2</sub> ). ....	99
<b>Figura 4.24</b> - Comparação de todos os pontos de água inventariados em relação ao sódio (Na <sup>2+</sup> ). ....	100
<b>Figura 4.25</b> - Comparação de todos os pontos de água inventariados em relação ao potássio (K <sup>+</sup> ). ....	101

<b>Figura 4.26</b> - Evolução da temperatura em profundidade no maciço granítico na zona de Longroiva a partir de registos no Furo AC1-A, à medida que este foi sendo realizado em 1999 (Coelho Ferreira <i>et al.</i> , 2015). .....	104
<b>Figura 4.27</b> - Comparação de todos os pontos de água inventariados em relação à temperatura de reservatório (Tr). .....	108
<b>Figura 4.28</b> - Modelos experimentados por Rybach (1990) para cálculo das profundidades de aquíferos: i) modelo de fratura plana (conduta plana) ; ii) modelo de tubo vertical (conduta cilíndrica). .....	110
<b>Figura 4.29</b> - Ábacos de modelo de tubo vertical (conduta cilíndrica) com os pontos de água da: i) bacia do Douro - águas sulfúreas; ii) bacia do Douro - águas hipossalinas; iii) bacia do Douro - águas isso-ácido-alcalino sódicas, cloretadas, bicarbonatadas, sulfatadas e hiperácidas; iv) bacia do Mondego - águas Sulfúreas e hipossalinas. ....	113
<b>Figura 4.30</b> - Ábacos de modelo de tubo vertical (conduta cilíndrica) com os pontos de água da bacia do Tejo - águas sulfúreas e hipossalinas. ....	114
<b>Figura 4.31</b> - Ábacos de modelo de fratura plana (conduta plana) com os pontos de água considerados mais relevantes, aos quais se adapta melhor este mesmo modelo. ....	114
<b>Figura 4.32</b> - Profundidades de reservatório obtidos para os pontos de água estudados do distrito da Guarda tendo em consideração a divisão por bacia hidrográfica. ....	115
<b>Figura 4.33</b> - Gradientes geotérmicos obtidos para os locais de pontos de água estudados do distrito da Guarda tendo em consideração a divisão por bacia hidrográfica. ....	119
<b>Figura 4.34</b> - Esquema de princípio sobre aproveitamentos em cascata a partir de fluido com temperaturas inferiores a 100C de interesse em aplicar em locais de potencial geotérmico do distrito da Guarda (Ferreira Gomes, 2005). ....	128



## Lista de Tabelas

<b>Tabela 2.1-</b> Vocações terapêuticas das águas minerais naturais (Albuquerque, 2011). .....	17
<b>Tabela 2.2</b> - Tratamentos e Técnicas aplicadas nas principais vocações terapêuticas usadas nas Termas (Albuquerque, 2011).....	18
<b>Tabela 2.3</b> - Classificações dos aproveitamentos geotérmicos consoante a temperatura máxima do fluido na boca da captação, segundo vários autores (referências 1 a 5, <i>in</i> Rocha, 2011). .....	19
<b>Tabela 2.4</b> - Os 15 países com maior utilização de energia geotérmica no ano de 2005 (Bertani, 2005; Lund <i>et al.</i> , 2005a). .....	23
<b>Tabela 2.5</b> - Listagem dos campos geotérmicos com centrais de produção superior a 100 GWh/ano em 2010 (Bertani, 2010). .....	25
<b>Tabela 2.6</b> - A utilização de energia geotérmica nas 18 regiões GEA (Bertani, 2010). .....	26
<b>Tabela 2.7</b> - Capacidade instalada e produção de energia geotérmica em uso direto nos vários domínios de aplicações, em todo o mundo, no período 1995-2010 (Lund <i>et al.</i> , 2010a). .....	28
<b>Tabela 2.8</b> - Síntese do uso da geotermia de baixa entalpia e muito baixa (inclui as bombas de calor), nos Estados Unidos, nos últimos 35 anos (Lund <i>et al.</i> , 2010b).....	31
<b>Tabela 3.1-</b> Ocorrências de águas termais inventariadas pelo IGM com temperatura superior a 20°C (IGM, 1999). .....	44
<b>Tabela 3.2</b> - Aproveitamentos geotérmicos em Portugal de baixa entalpia em 2015 (a partir de DGEG, 2015). .....	48
<b>Tabela 4.1</b> - Características das estações meteorológicas usadas no presente estudo (SNIRH, 2016). .....	71
<b>Tabela 4.2-</b> Registo da precipitação média mensal em cada polígono com a respetiva denominação (SNIRH, 2016).....	73
<b>Tabela 4.3-</b> Precipitação mensal ponderada para cada bacia e respetiva área de influência. 73	
<b>Tabela 4.4</b> - Temperaturas a partir de registos para a estação climática da Guarda e valores considerados para cada bacia em termos de balanço hidrológico (a partir de SNIRH,2016). .	74
<b>Tabela 4.5</b> - Evapotranspiração potencial (ETP) a partir do método de Thornthwaite, para a região em estudo nos diferentes setores de acordo com as áreas do território de diferentes bacias. ....	76
<b>Tabela 4.6</b> - Balanço hidrológico sequencial mensal (L/m <sup>2</sup> ) para a região em estudo de acordo com as bacias envolvidas.....	76
<b>Tabela 4.7</b> - Valores relativos à recarga anual média e ao caudal unitário para cada bacia da área em estudo.....	80
<b>Tabela 4.8</b> - Características dos pontos de água licenciados.....	82

<b>Tabela 4.9</b> - Energias térmicas em kWh/ano, a ser usadas de acordo com a disponibilidade do recurso e sistemas implementados nas Termas e Hotel Rural de Longroiva (Ferreira Gomes, 2015). .....	87
<b>Tabela 4.10</b> - Energias máximas possíveis a ser usadas de acordo com a disponibilidade do recurso e sistemas implementados no Balneário Novo das Termas de Longroiva (Ferreira Gomes, 2015). .....	88
<b>Tabela 4.11</b> - Principais pontos de água inventariados, organizados de acordo com Almeida e Almeida (1975), e suas características físico-químicas mais relevantes (1/2). .....	90
<b>Tabela 4.12</b> - Classificação dos tipos de água de acordo com a temperatura de emergência (Carvalho <i>et al.</i> , 1961). .....	92
<b>Tabela 4.13</b> - Classificação da água mineral em relação à mineralização total (Custódio e Llamas, 2001). .....	96
<b>Tabela 4.14</b> - Classificação da água mineral em relação ao resíduo seco (Custódio e Llamas, 2001). .....	96
<b>Tabela 4.15</b> - Equações para estimar a temperatura de reservatório a partir da composição química das águas minerais utilizando geotermómetros (in Ferreira Gomes <i>et al.</i> , 2015). ...	102
<b>Tabela 4.16</b> - Temperaturas de reservatório (Tr-°C) a partir de equações de vários autores (tabela 4.15) admitindo à partida as águas em estudo com circulação profunda dos pontos de água sulfúrea do distrito da Guarda (*). .....	103
<b>Tabela 4.17</b> - Temperatura da água do furo AC1A ao longo do tempo no setor de Longroiva desde o momento da sua construção (1999) (Coelho Ferreira <i>et al.</i> , 2015). .....	105
<b>Tabela 4.18</b> - Temperaturas de reservatório (Tr - °C) a partir de equações de vários autores (tabela 4.15) admitindo à partida as águas em estudo com circulação relativamente profunda dos pontos de água hipossalina do distrito da Guarda (*). .....	106
<b>Tabela 4.19</b> - Temperaturas de reservatório (Tr- °C) a partir de equações de vários autores (tabela 4.15) admitindo à partida as águas em estudo com circulação profunda dos pontos de água iso-ácida-alcalino-sódica, cloretada, bicarbonatada, sulfatada e hiperácida, do distrito da Guarda (*). .....	107
<b>Tabela 4.20</b> - Parâmetros para o cálculo da variável $\theta$ para estimar a profundidade de reservatório de água mineral, considerando os modelos termodinâmicos de Rybach (1990), para os pontos de água do distrito da Guarda (1/2). .....	111
<b>Tabela 4.21</b> - Síntese dos elementos sobre potencial geotérmico para os locais dos pontos de água da bacia do Douro do Distrito da Guarda. ....	117
<b>Tabela 4.22</b> - Síntese dos elementos sobre potencial geotérmico para os locais dos pontos de água da bacia do Mondego do Distrito da Guarda. ....	118
<b>Tabela 4.23</b> - Síntese dos elementos sobre potencial geotérmico para os locais dos pontos de água da bacia do Tejo do Distrito da Guarda. ....	118
<b>Tabela 4.24</b> - Gradientes geotérmicos em diferentes situações segundo vários autores (in Ferreira Gomes <i>et al.</i> , 2015) .....	120

# Lista de Acrónimos

a.C.	Antes de Cristo
AEP	Associação Empresarial de Portugal
Ag	Prata
Al	Alumínio
As	Arsénio
B	Boro
Ba	Bário
Be	Berílio
Bi	Bismuto
BCG	Bombas de calor geotérmico
°C	Graus centígrados
Ca	Cálcio
CaCO <sub>3</sub>	Carbonato de cálcio
Cd	Cádmio
CGPV	Central Geotérmica do Pico Vermelho
CGRG	Central Geotérmica da Ribeira Grande
CHGSPS	Centro Hidromineral e Geotérmico de S. Pedro do Sul
Cl	Cloro
cm	Centímetro
CMA	Crista Médio-Atlântica
Co	Cobalto
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CO <sub>3</sub>	Carbonato
Cr	Cromo
Cs	Césio
Cu	Cobre
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
EEM	Empresa de Eletricidade da Madeira
EGS	Sistemas Geotérmicos Estimulados
F	Flúor
Fe	Ferro
FER	Fontes de Energia Renováveis
FG	Falha da Glória
GAP	Bombas de Calor Geotérmicas
GEA	Avaliação Global de Energia
GHP	Bombas de Calor Geotérmicas

GW	Giga Watt
GWh	Giga Watt-hora
HDR	Hot Dry Rock
HCO <sub>3</sub>	Bicarbonato
Hg	Mercúrio
HS	Sulfidrato
H <sub>2</sub> S	Sulfeto de hidrogénio
IGM	Instituto Geológico e Mineiro
INE	Instituto Nacional de Estatística
INOVA	Instituto das Novas Tecnologias
J	Joule
K	Potássio
Kcal	Quilocalorias
Kg	Quilograma
KJ	Quilo Joule
Km	Quilómetro
Km <sup>2</sup>	Quilometro quadrado
KW	Quilo Watt
L	Litro
Li	Lítio
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
m	Metro
Mg	Magnésio
mg/L	Miligrama por litro
Mn	Manganês
ml/L	Mililitro por litro
Mo	Molibdénio
MW	Mega Watt
Na	Sódio
Nb	Nióbio
Ni	Níquel
NH <sub>4</sub>	Amónio
NO <sub>2</sub>	Nitrito
NO <sub>3</sub>	Nitrato
NUTS	Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos
OCR	Organic-Rankine-Cycle
Pb	Chumbo
PGRG	Projeto Geotérmico da Ribeira Grande
pH	Potencial de hidrogénio
PNEAR	Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis

Rb	Rubídio
RECAPE	Relatórios de Conformidade Ambiental dos Projetos de Execução
RT	Rift da Terceira
Sb	Antimónio
Se	Selénio
SiO <sub>2</sub>	Dióxido de silício
Sn	Estanho
SO <sub>4</sub>	Sulfato
S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Tiosulfato
Sr	Estrôncio
Ta	Tântalo
Te	Telúrio
TJ	Tera Joule
Tl	Tálio
TSJ	Falha transformante de S. Jorge
TWh	Tera Watt-hora
U	Urânio
UE	União Europeia
V	Vanádio
Y	Ítrio
W	Tungsténio
WEC	Conferência Mundial de Energia
ZFF	Zona de fratura do Faial
ZFFA	Zona de fratura este dos Açores
ZFNA	Zona de fratura norte dos Açores
Zn	Zinco
Zr	Zircónio



# **CAPÍTULO 1**

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1. Objetivo**

No presente trabalho pretende-se realizar um estudo relativo ao potencial energético do Distrito da Guarda, partindo das águas subterrâneas relativamente profundas e potencialmente quentes mediante a sua localização em termos geológicos e aplicação de geotermómetros com base no quimismo das referidas águas.

Os aproveitamentos energéticos potenciais incluem-se na temática das novas energias, nomeadamente na geotermia, podendo ser de diversas tipologias, dependendo intimamente das temperaturas dos fluidos originais, de forma que se torna imprescindível abordar este assunto.

Pretende-se ainda focar as situações de climatização de edifícios, assim como o aquecimento das suas águas sanitárias, uma vez que as energias renováveis são um recurso viável e com um grande potencial para a energia geotérmica, podendo esta ser fulcral na sustentabilidade e eficiência energética.

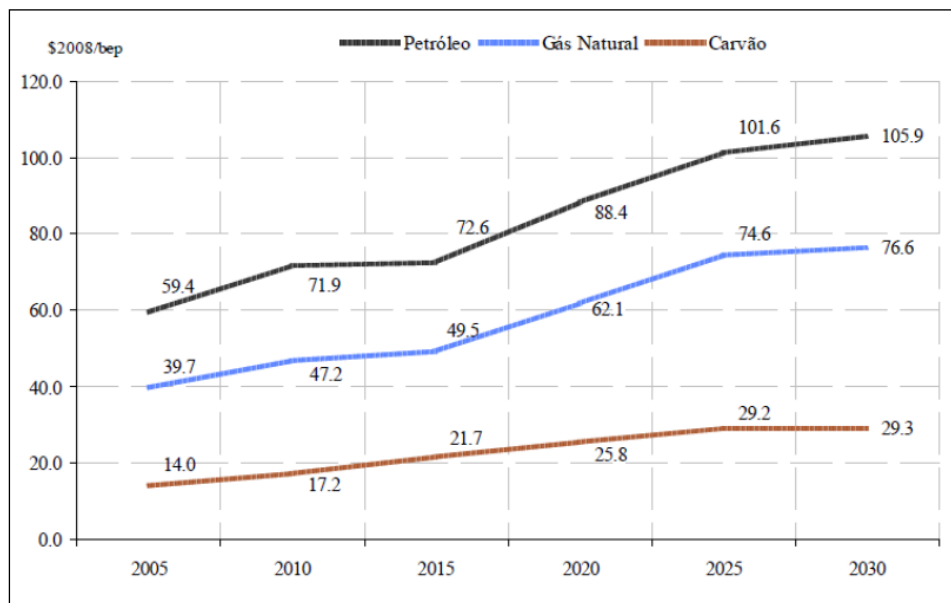
### **1.2. A Relevância das Energias Renováveis**

O acesso à energia continua a ser uma condição essencial para a existência humana, visto que é necessária para a satisfação das diversas necessidades, nomeadamente das mais básicas. No entanto, a crescente e imparável queima de combustíveis fósseis continua a afetar o equilíbrio ecológico e a economia da Terra. O aquecimento global tem potenciado inúmeras catástrofes em todo o mundo e tem vindo a pressionar os países em desenvolvimento a reduzirem as emissões de dióxido de carbono, que têm como uma das principais responsáveis a queima de matérias-primas derivadas do petróleo. Por outro lado, é de salientar o esgotamento das reservas mundiais dessas mesmas matérias-primas, não podendo dessa forma garantir uma produção energética infinita e muito menos sustentável.

Tanto a diminuição dos recursos energéticos como o aumento das emissões de gases com efeito de estufa, tornam-se ainda mais problemáticos por se antever que as necessidades mundiais de energia se ampliarão até 2060 para o dobro ou para o triplo dos níveis atuais, devido ao aumento da população e do progresso económico dos países menos desenvolvidos (JOUE, 2005). Desta forma, a inevitável necessidade de energia a nível mundial levará a que

os preços dos combustíveis fósseis continuem a aumentar mediante previsões adotadas pela Comissão Europeia para as análises prospetivas de evolução da procura e do consumo final de energia. Evidencia-se ainda que as previsões atuais comprovam que o acréscimo considerável das necessidades não poderá ser contrabalançado somente pelo aumento da eficiência e pela poupança de energia (JOUE, 2005).

Na figura 1.1 pode ser observada a previsão dos preços dos principais produtos não renováveis para Portugal até ao ano de 2030.



**Figura 1.1-** Previsão dos preços dos principais produtos energéticos para Portugal (R.P., 2009).

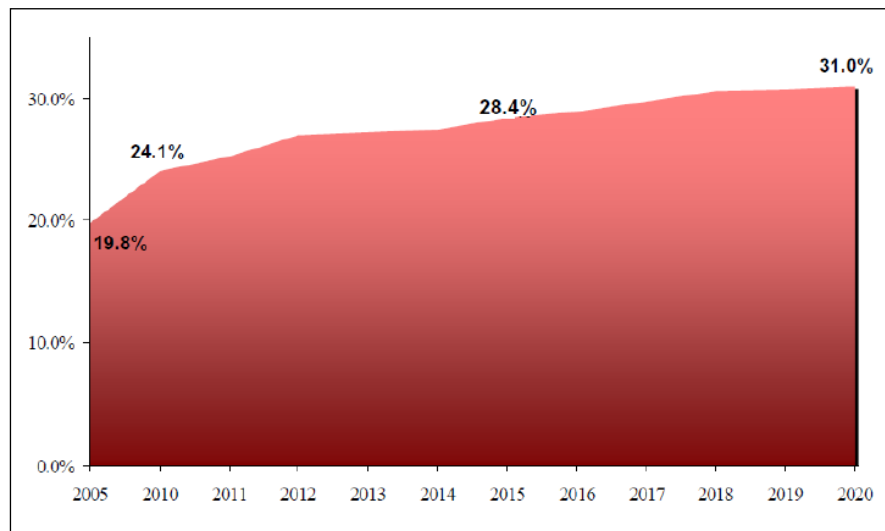
Nos dias de hoje a procura de energias alternativas é cada vez mais uma questão de substancial importância para a sociedade. Dada a grande procura de energia, as fontes energéticas renováveis são relevantes desde que sejam viáveis, uma vez que poderão reduzir o consumo da queima de combustíveis poluentes, possibilitando o acesso a energias mais limpas às populações.

É fundamental manter a qualidade e aumentar a criação de energia por meio da produção e utilização de potências energéticas renováveis que são sensivelmente mais adequadas ao meio ambiente já tão danificado. Mediante estes dois fatores, não restam dúvidas quanto à necessidade de implantação de novas fontes de energia.

No entanto, a falta de unanimidade quanto à questão energética que se verifica mesmo no interior dos Estados-Membros da União Europeia (UE), complica essa mesma mudança. Predomina, no entanto um acordo, tanto a nível nacional como comunitário, de que todas as opções devem continuar a ser analisadas. Um dos principais objetivos da UE é aumentar manifestamente, a médio e longo prazo, a utilização de energias renováveis, com benefícios

também para a proteção ambiental realçando que a energia geotérmica assume um papel relevante para a obtenção desses mesmos objetivos (JOUE, 2005).

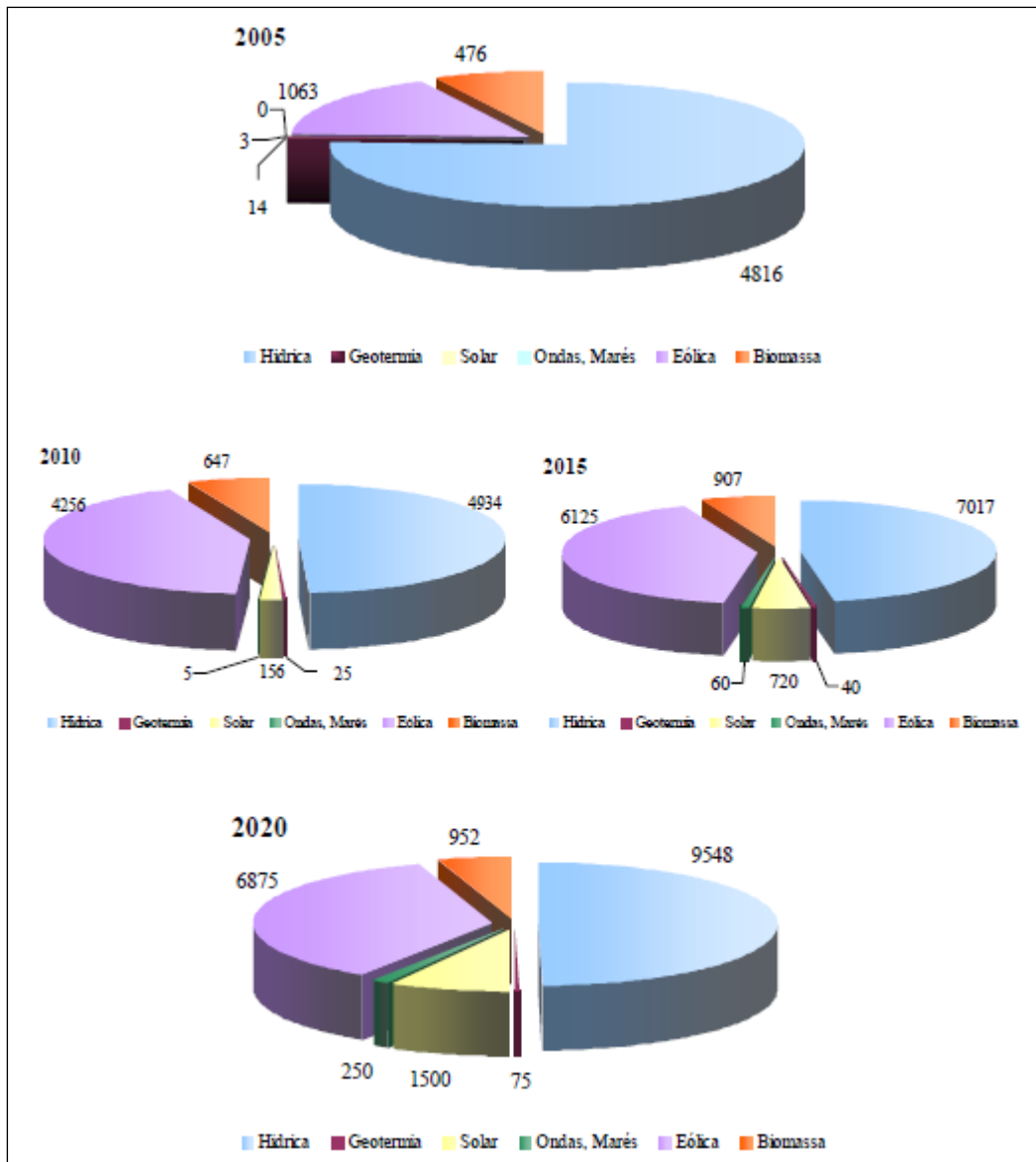
Ao abrigo da Diretiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Abril de 2009 referente à promoção da utilização de energia resultante de fontes renováveis, delibera-se no seu artigo 4º que os Estados-Membros deveriam aprovar e apresentar à Comissão Europeia um Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER) até 30 de Junho de 2010, segundo o qual se definia a meta para Portugal de 31 % para a quota de energias renováveis no consumo final bruto de energia, a ser atingida em 2020, como se pode observar na figura 1.2 (R.P., 2009).



**Figura 1.2** - Evolução da estimativa de energia proveniente de Fontes de Energia Renováveis no consumo bruto de energia final para Portugal (R.P., 2009).

No referido PNAER surgem ainda as estimativas do contributo total das diferentes tecnologias baseadas nas Fontes de Energia Renováveis (FER) para cumprimento dos objetivos fixados para Portugal, tendo em conta a disponibilidade dos recursos, a maturidade das tecnologias, os planos específicos previstos e a respetiva calendarização para a introdução das várias medidas de promoção das FER (R.P., 2009).

Na figura 1.3 podem observar-se as estimativas da evolução da potência instalada das distintas tecnologias FER. Em relação à energia elétrica produzida mediante a geotermia para o ano de 2020 antevê-se que corresponda a 4,9 % do valor global das FER (R.P., 2009).



**Figura 1.3** - Estimativa da evolução para Portugal da potência instalada (MW) das diferentes tecnologias FER (R.P., 2009).

Pode ainda salientar-se que com a implementação da energia geotérmica garantem-se diversas vantagens como, a autonomia em relação às condições climatéricas e às estações do ano, contrariamente à energia solar ou eólica, servindo para o evidente aprovisionamento em carga de base, o facto de não ser necessário recorrer a processos tradicionais de produção de calor, como a combustão ou fusão nucleares com os seus custos e impactos ambientais inerentes, bastando aproveitar o calor já armazenado a alguns quilómetros da superfície, não havendo transporte nem acumulação de materiais perigosos, e ainda o facto de se tratar de reservatórios de calor virtualmente inesgotáveis e continuamente renovados, cuja exploração pode dar, teoricamente falando, um contributo essencial ao aprovisionamento energético (Albuquerque, 2011).

Desta forma, pode acentuar-se que as reservas de energia geotérmica tanto do subsolo próximo como do subsolo profundo correspondem a componentes exemplares para um conceito energético que não deteriora o meio ambiente.

Noutro sentido, de um ponto de vista de segurança de abastecimento, num país como Portugal que não oferece recursos ou reservas fósseis relevantes, a função das fontes renováveis é fundamental para reforçar os níveis de segurança, ao mesmo tempo que fomenta a diversificação energética e contribui para ampliar a sustentabilidade ligada à produção, transporte e consumo de energia (Albuquerque, 2011).

Assim, apela-se à formação de incentivos iniciais, que diminuirão ao longo do tempo, para a introdução da energia geotérmica no mercado e para a sua regulamentação, para estimular os investimentos privados e tornar cativante a venda desta forma de energia, permitindo desta forma, a prova, a melhoria e a avaliação do potencial económico desta forma de energia (JOUE, 2005).

### **1.3. Metodologia do Trabalho**

No que diz respeito à organização e metodologia do trabalho, divide-se em três fases essenciais.

Na primeira fase realiza-se uma pesquisa do estado de arte, fazendo-se uma recolha de todos os trabalhos de interesse, em particular sobre as águas minerais e termais portuguesas, dando maior ênfase e detalhe aos elementos do Distrito da Guarda.

Numa segunda fase são realizados estudos de campo, onde se realizam visitas aos locais principais com geotermia em Portugal, no sentido de adquirir sensibilidade e conhecimento sobre a presente temática, nomeadamente aplicações geotérmicas em funcionamento.

Na terceira parte são efetuados estudos de gabinete, com orientação para fazer a avaliação do potencial geotérmico, usando de entre outros, resultados de análises físico-químicas das águas minerais, e o uso de geotermómetros e outros elementos associados.



# CAPÍTULO 2

## 2. A ENERGIA GEOTÉRMICA

### 2.1. Introdução

A Terra não pode ser de maneira nenhuma considerada como um grande corpo inativo. Todo o calor que é gerado e transferido no interior do planeta controla uma variadíssima série de processos geodinâmicos. Tais processos responsabilizam-se pela atividade sísmica, vulcânica, formação de cordilheiras, intrusão e pelo metamorfismo. Este calor interno terrestre pode ter como origem a desintegração de isótopos radioativos, o calor libertado na formação do planeta, os movimentos diferenciais entre o núcleo e o manto, e a cristalização do núcleo externo que se encontra no estado líquido (Trillo e Angulo, 2008).

A Geotermia equivale a uma palavra que provém do Grego, decomposta em “Geo” que significa Terra e “Termia” que corresponde a calor. Desta forma, pode falar-se no calor proveniente do interior da Terra, devendo-se a duas causas fundamentais, sendo elas a energia libertada pela desintegração de elementos radioativos e o calor originado aquando da origem do planeta, podendo ser consideradas como as mais relevantes em relação às enumeradas anteriormente (Albuquerque, 2011).

O domínio da Geotermia pode ser encarado segundo vários pontos de vista, tais como o natural contemplando uma simples análise geológica, o terapêutico ligado ao termalismo, o cultural e turístico, o energético e o ambiental (Ferreira Gomes, 2007a).

A Geotermia é a designação utilizada para as ciências e técnicas que estudam e exploram o calor proveniente da terra ou a energia geotérmica (IGM, 1998). Este tipo de energia define-se pela Comissão Europeia como a energia armazenada na forma de calor imediatamente abaixo da superfície terrestre (Cruz, 2013).

Torna-se ainda fundamental referir que este tipo de energia mostra algum grau de competitividade comparativamente às energias provenientes dos combustíveis fósseis, vantagem que tem vindo a aumentar devido ao acréscimo dos preços dos derivados do petróleo.

## 2.2. Aspetos Históricos

Desde o início da civilização que as fontes hidrotermais são aproveitadas para balneoterapia e usos domésticos, através da utilização direta do calor proveniente da Terra. Na Europa Romana as águas termais foram desde sempre utilizadas e existem indícios de termas com grande importância por toda a Europa, incluindo Portugal.

No entanto, apenas nos séculos XVI e XVII, durante as escavações das primeiras minas, alguns metros abaixo da superfície, o ser humano se apercebeu que a temperatura da Terra aumentava com a profundidade. Em 1740 efetuaram-se as primeiras medições com termómetro, numa mina perto de Belfort, em França, por De Gensanne. Somente em 1870 foi possível estudar o regime térmico do planeta através de métodos científicos mais modernos (Dickson e Fanelli, 2004).

No ano de 1827, em Larderello, Itália, uma indústria química que extraía boro de águas quentes incrementou um sistema para aproveitar o calor desses fluídos através do seu processo de evaporação, revezando a madeira como combustível (Dickson e Fanelli, 2004). No início do século XX, em 1904, no mesmo local, surgiu a primeira tentativa de gerar eletricidade a partir de fontes geotérmicas. No entanto, esforços para produzir uma máquina para aproveitar tais fontes foram mal sucedidos. Em 1913, uma central elétrica de 250 kW foi construída com êxito, e durante a Segunda Guerra Mundial 100 MW estavam a ser produzidos. Desde então houve um aumento significativo na produção de energia geotérmica (Bertani, 2013). A figura 2.1 apresenta as torres de refrigeração dessa mesma central geotérmica.

Em relação ao primeiro furo geotérmico, foi realizado em Beppu, no Japão, em 1919, não tendo nessa altura grande sucesso. Em 1928, a Islândia iniciou a exportação de fluidos geotérmicos, nomeadamente água quente, para aquecimento doméstico (Dickson e Fanelli, 2004).

No ano de 1930, em Reiquejavique, Islândia, surge a primeira rede moderna de aquecimento urbano fornecida por energia geotérmica. Era um passo marcante que levaria ao aparecimento de outras redes de aquecimento um pouco por todo o mundo (Trillo e Angulo, 2008).

Em Portugal, a aquisição de eletricidade a partir de recursos geotérmicos sucedeu pela primeira vez no arquipélago dos açores, mais exatamente na Ilha de São Miguel, no ano de 1980. O primeiro furo que colocou a descoberto o reservatório geotérmico existente nas proximidades da cidade da Ribeira Grande foi efetuado em 1973 no âmbito das sondagens geológicas realizadas pela Universidade de Dallhousie, apresentando temperaturas superiores a 200 °C (Pavão, 2010).

Atualmente, existem duas centrais geotérmicas na Ilha de São Miguel, cidade da Ribeira Grande, com uma produção de 37% de eletricidade consumida na ilha, e vários projetos para aplicação dos Sistemas Geotérmicos Estimulados (EGS) em Portugal Continental (Bicudo da Ponte, 2010). Uma das centrais pode ser observada na figura 2.2.



**Figura 2.1** - Vista geral das torres de arrefecimento de uma central geotérmica em Larderello, Itália (Rio, 2011).



**Figura 2.2** - Central Geotérmica da Ribeira Grande (Rio, 2011).

## 2.3. Domínios da Geotermia

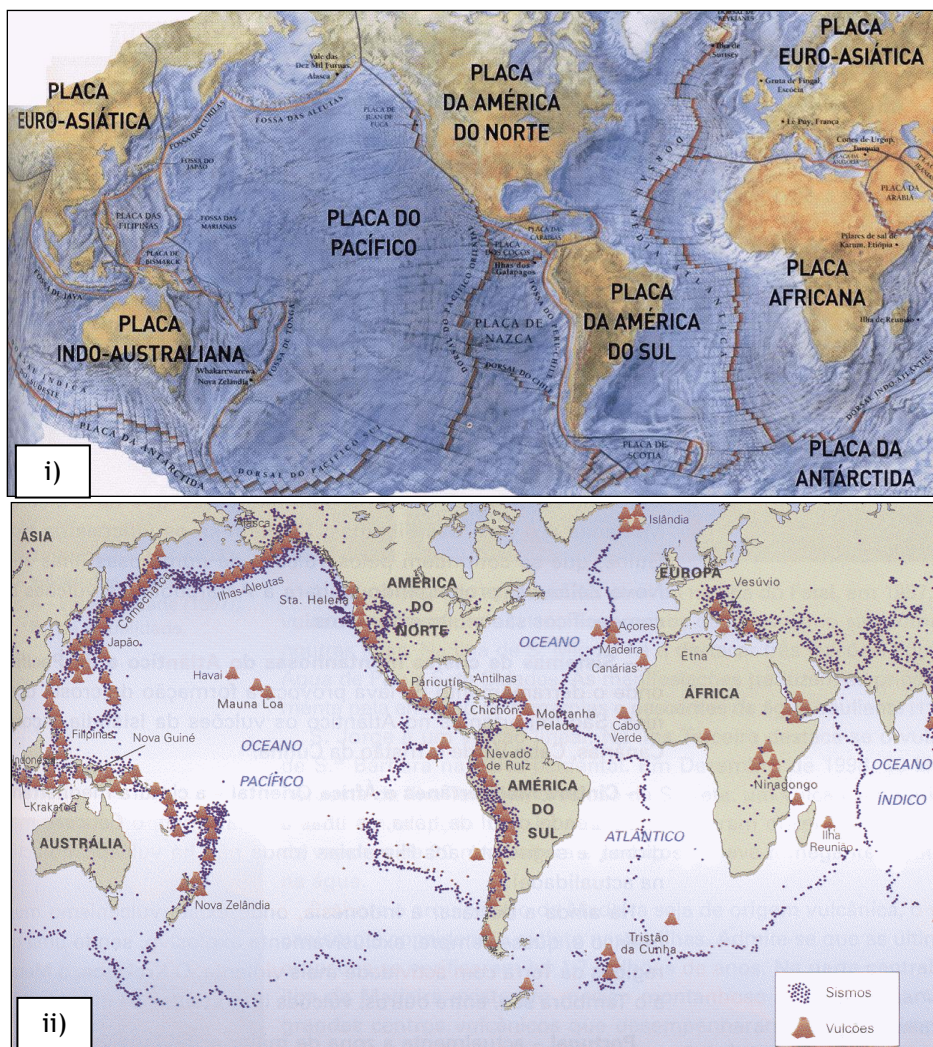
### 2.3.1. Perspetiva geológica

De acordo com um ponto de vista natural e sob os diversos aspetos puramente geológicos, a análise da geotermia encaminha ao estudo do ciclo geológico da Terra com relevância no conhecimento da tectónica geral de placas, revelando-se bastante importante para ter uma perceção que a Terra tem bastante energia interna, manifestando-se a mesma das mais variadas formas. Os sismos e os vulcões ocorrem especialmente nas fronteiras das placas

tectónicas, mostrando-se estes fenómenos naturais como a prova da existência de grandes quantidades de energia acumulada no interior do Planeta (Albuquerque, 2011).

Assim sendo os locais mais favoráveis para a exploração do calor proveniente do interior da Terra para aproveitamento geotérmico estão diretamente relacionados com a localização dos limites dessas placas tectónicas, verificando-se nesses mesmos locais grandes gradientes geotérmicos, conseguindo-se obter temperaturas bastante elevadas a profundidades relativamente reduzidas (Pires, 2014).

Na figura 2.3, torna-se possível visualizar os limites das placas tectónicas existentes, e os vários locais de ocorrência de vulcanismo e sismicidade. Realça-se que um desses locais se situa em Portugal, mais concretamente no Arquipélago dos Açores, relacionado à junção tripla das placas Norte-Americana, Euroasiática e Africana.

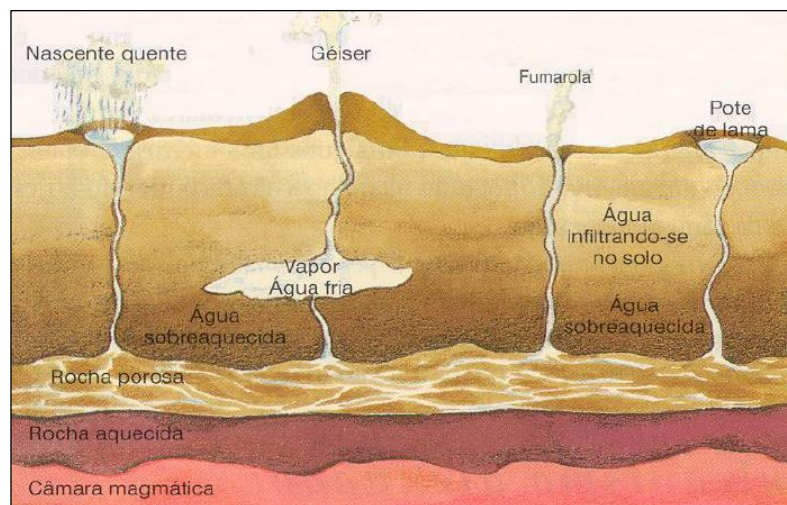


**Figura 2.3** - Imagens sobre a tectónica de placas: i) principais sistemas de fraturas; ii) locais de ocorrência de vulcanismo e sismicidade nas várias regiões do planeta (Ferreira Gomes, 2007a).

Os vulcões já referidos anteriormente e presentes na figura 2.4 são exemplo de grandes manifestações de energia calorífica, mas também as ocorrências de ressurgências de fluidos quentes à superfície como é o caso de géisers, fumarolas ou mesmo pequenas nascentes de água quente que se apresentam na figura 2.5, não estando estas últimas relacionadas necessariamente com fenómenos de vulcanismo, podendo acontecer em locais de rochas sedimentares e outros, especialmente em rochas plutónicas, em associação com situações geológicas singulares com profundas e vastas fraturas e em locais de gradientes geotérmicos acima do normal (Albuquerque, 2011).

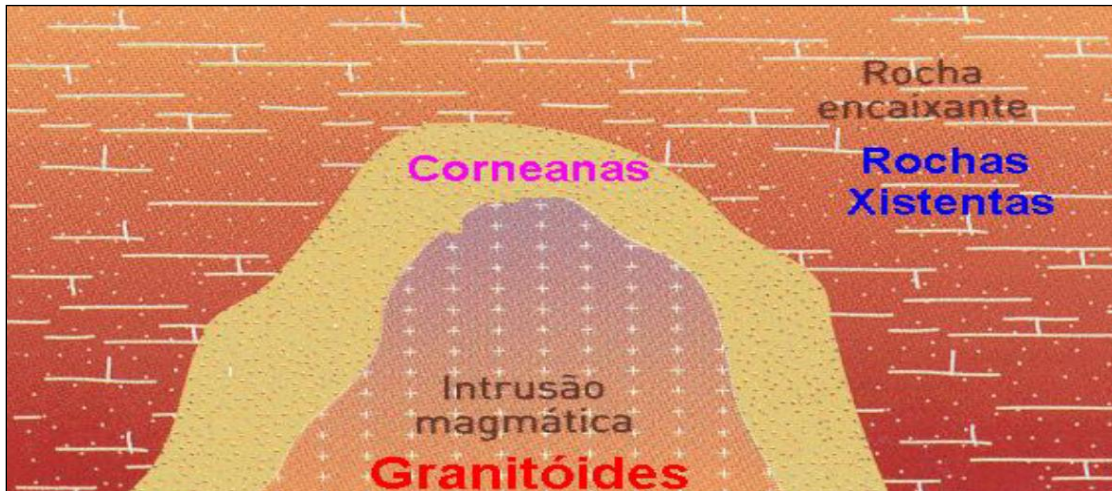


**Figura 2.4** - Exemplos de manifestações violentíssimas de libertação de energia do interior da terra, a partir de vulcões ativos (Ferreira Gomes, 2007a).



**Figura 2.5** - Exemplos de manifestações moderadas de libertação de energia do interior da terra, a partir de ressurgências de fluidos quentes associados a antigos vulcões (Ferreira Gomes, 2007a).

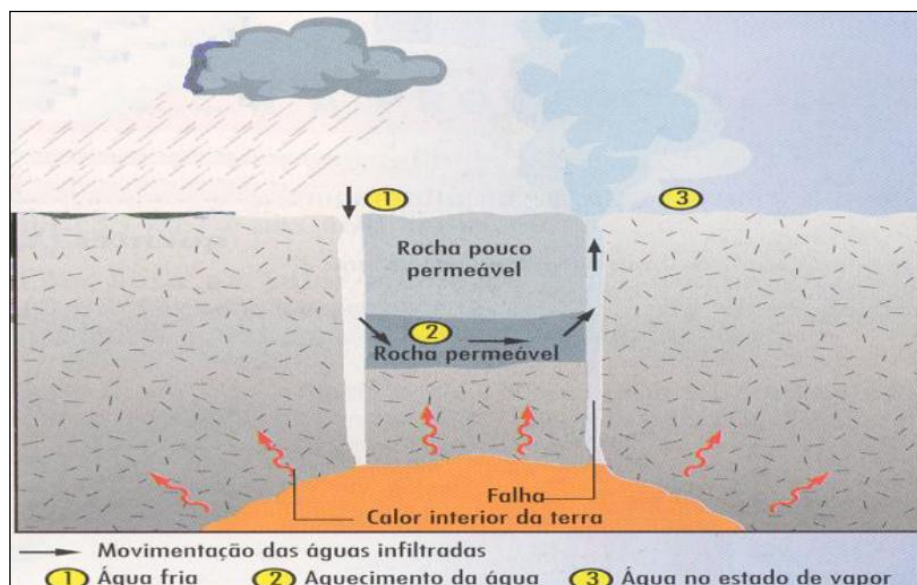
É bastante importante referir que o caso da ocorrência do plutonismo, como se apresenta na figura 2.6, fornece condições com um significativo potencial geotérmico. A maioria dos granitoides portugueses, apresentam um gradiente geotérmico potencial acima dos parâmetros normais e muito maior comparativamente às restantes rochas envolventes. Facilmente se pode afirmar que os granitoides, tendo origem numa intrusão de magma com temperaturas elevadíssimas, e que foi arrefecendo ao longo de grandes períodos de tempo, apresentam uma grande probabilidade de ter um gradiente geotérmico superior ao da sua envolvente (Albuquerque, 2011).



**Figura 2.6** - Exemplo sobre esquema de princípio mostrando a intrusão magmática como uma rocha potencialmente de maior gradiente geotérmico que as rochas encaixantes (Ferreira Gomes, 2007b).

Na figura 2.7 é possível observar um esquema do princípio genérico que esclarece como é possível existirem ressurgências à superfície muito quentes de uma forma natural. No início é fundamental existir água de superfície para posteriormente se entranhar até grandes profundidades, sendo este processo auxiliado se o terreno for muito fraturado, em especial se existirem fraturas profundas de modo a levar os fluidos até zonas bastante quentes. Em profundidade, a água alcança temperaturas elevadas ficando em condições de subir, sendo esse processo mais rápido e eficaz quando a água subterrânea quente consegue atingir zonas de fraturas extensas e com ligação direta à superfície (Albuquerque, 2011).

Estes tipos de formações geológicas são bastante comuns em todo o distrito da Guarda, alvo de estudo deste trabalho, e nesse caso torna-se importante mencionar que esse aspeto motivou em grande parte a elaboração do mesmo.



**Figura 2.7** - Esquema de princípio mostrando o circuito natural de um fluido que acaba por ressurgir quente à superfície terrestre (Ferreira Gomes, 2007c).

### 2.3.2. Perspetiva cultural e turística

A utilização de águas quentes sempre foi uma atividade com longa tradição por toda a Europa e também em Portugal, devendo-se em grande parte à diversidade do quimismo das águas minerais naturais, consequência das condições geológicas observadas no território. Como é óbvio, Portugal não se exclui, uma vez que apresenta uma grande possibilidade e potencial para acolher vários espaços termais (Fernandes, 2011).

O tão falado lazer e bem-estar bastante apreciado para férias e tempos livres tornou-se prática comum nas estâncias termais ainda no século XVIII, como é o caso das termas de Bath e Walls na Inglaterra, Baden-Baden na Alemanha e Vichy na França. Estes espaços apresentam edifícios magníficos e luxuosos, onde se justifica a grande afluência por parte da classe social mais abastada, verificando-se assim a procura do luxo e do glamour oferecidos pelos mesmos. Com o decorrer do tempo, estes espaços foram apresentando melhorias nas instalações e foram-se tornando mais acessíveis em termos económicos, começando a ser frequentados por utentes de outras classes sociais, dando origem a um tipo de atividade termal de lazer que nos dias de hoje está intimamente relacionada com o turismo termal (Fernandes, 2011). Na figura 2.8 podem ser observadas as termas de Bath na Inglaterra, com água naturalmente quente, sendo visitadas turisticamente por centenas de pessoas diariamente.

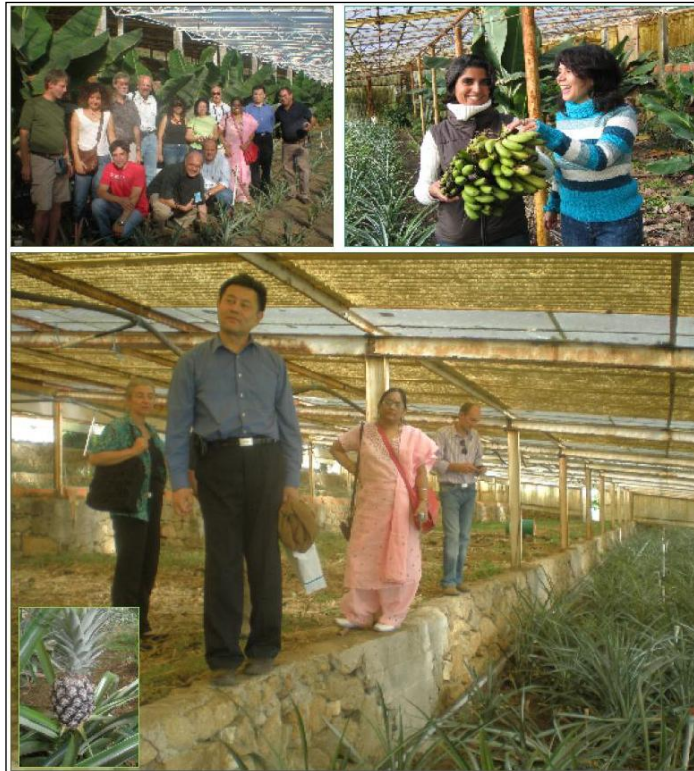


**Figura 2.8** - Termas de Bath (Speedy, 2013).

Torna-se bastante evidente que existe um património que corresponde a marcos relevantes na história dos lugares. Pode salientar-se que onde permanece água mineral termal quente, existe uma vasta história das sociedades associadas a esses elementos. Desta forma, os aspetos históricos e culturais são relevantes no sentido de tirar partido deles próprios para o benefício das populações, mantendo as mesmas informadas sobre cenários de turismo cultural, tornando-se estas situações invariavelmente benéficas para as economias locais (Albuquerque, 2011).

Uma outra situação com interesse turístico verifica-se quando se mostra às pessoas a existência de emergências naturais quentes, despertando bastante curiosidade e vontade de entender os fenómenos envolvidos. Para o senso comum, é naturalmente surpreendente constatar que em determinadas regiões, como por exemplo na Beira Alta, existam nascentes de águas quentes, o que provoca estranheza e vontade de fotografar estes locais, podendo observar-se a vontade de permanência por alguns minutos a sentir a água, colocando a mão, enquanto se conversa sobre o assunto (Albuquerque, 2011).

Pode salientar-se o exemplo das estufas de frutos tropicais ligadas às Termas de S. Pedro do Sul, onde fica bem presente o turismo científico, mas também o turismo corrente, quando se pode ver e realizar a colheita um ananás ou de bananas na Beira Alta, como se pode ver na figura 2.9. Em relação ao turismo científico pode falar-se igualmente na procura, por grupos de escolas e incluindo universidades estrangeiras, de visitas a centrais geotérmicas, mostrando o interesse nas mesmas pela forma como funcionam e no que podem originar (Albuquerque, 2011).



**Figura 2.9** - Imagens de turistas em visita às estufas de frutos tropicais, climatizadas a partir do calor da água mineral quente, da concessão das Termas de S. Pedro do Sul (Ferreira Gomes, 2007b).

Tendo por base o presente estudo interessa mencionar a importância económica da geotermia, não só a nível energético, mas também em relação ao termalismo que se liga intimamente ao sector do turismo. Assim, pode falar-se no turismo de saúde, cada vez mais associado ao bem-estar, tornando-se numa nova atividade em grande ascensão (Fernandes, 2011).

### **2.3.3. Perspetiva terapêutica**

Quando se fala em Geotermia é inevitável referir os aspetos medicinais visto que em muitos locais o termalismo, sendo este uma forma de aplicar a medicina com água mineral natural como sua terapia principal, está intimamente interligado às nascentes de águas quentes. É pouco provável que qualquer nascente quente não tenha sido utilizada como suporte a balneários que em alguns casos resultariam em ótimos hospitais termais.

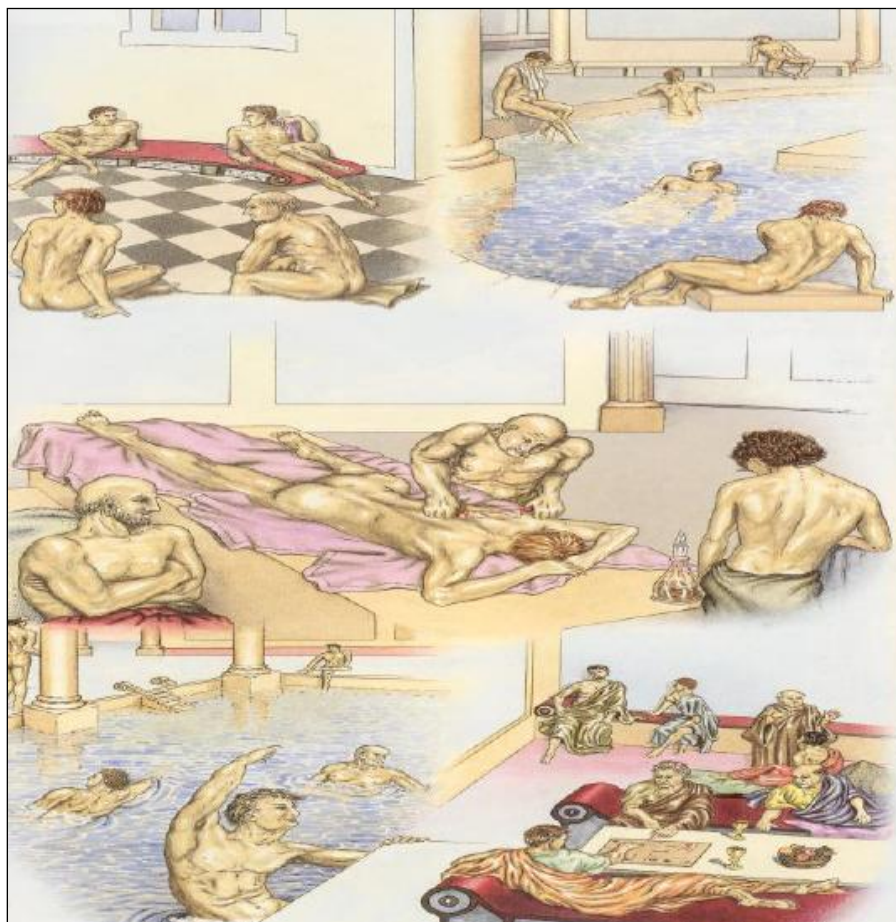
Em termos de banhos públicos, os primeiros aconteceram na Grécia no século VI a.C., associados a praticas relacionadas com estética e cuidados com o corpo (Cunha Gomes, 2008).

Posteriormente e com a evolução das condições de áreas de lazer, os banhos passaram a realizar-se em espaços ligados às mesmas, havendo várias construções de piscinas.

Um dos mais conceituados médicos da antiguidade e considerado o pioneiro da Medicina, Hipócrates estudou as águas minero-medicinais e anotou razões fundamentadas para o uso destas para certas terapias, conduzindo mesmo a curas de certas enfermidades. Desta forma, receitavam-se tratamentos envoltórios, compressas, e também banhos quentes e frios. Constata-se assim, já desde aquele período, a relevância para a medicina das águas quentes naturalmente (Schneider, 1977).

Refere-se ainda a notabilidade dos Romanos, uma vez que foi na sua época que apareceram balneários com uma dinâmica física e organizacional bastante semelhante às melhores termas da atualidade.

Na figura 2.10, retrata-se o quotidiano dos romanos nas suas termas, partindo de um documento acerca das antigas Termas de Bath, em Inglaterra, mostrando um ambiente bastante descontraído e relaxante, com temperaturas agradáveis ao corpo humano, possibilitado naturalmente pelas águas existentes nestes locais tão próprios (Cunliffe, 1993).



**Figura 2.10** - Imagem sobre o quotidiano dos termalistas nos balneários romanos (Cunliffe, 1993).

As águas minerais naturais podem ter várias aplicações a nível medicinal, podendo ser empregues em diversos espaços termais, nomeadamente em patologias do foro reumatismal, das vias respiratórias, do aparelho circulatório, do aparelho digestivo, nefro-urinárias, de pele, do sistema nervoso, entre outras. Essas aplicações dependem das características das águas, podendo ser organizadas quimicamente em sulfúreas, bicarbonatadas, gasocarbónicas, cloretadas e hipossalinas, sendo as mais comuns em Portugal Continental as sulfúreas (Albuquerque, 2011).

As vocações terapêuticas deste tipo de águas no nosso país, e a relação com o seu tipo de componentes químicos, podem ser observados na tabela 2.1.

**Tabela 2.1-** Vocações terapêuticas das águas minerais naturais (Albuquerque, 2011).

DOENÇAS REUMÁTICAS / MÚSCULO - ESQUELÉTICAS	
Tipo de água mineral natural	Localização
Sulfúrea	S. Pedro do Sul, Alcafache, Aregos, Canaveses, Cartão, Cavaca, Felgueira, Manteigas, Monção, Caldas da Rainha, Sangemil, S. Jorge, Caldas da Saúde, Taipas, Vizela, Cabeço de Vide, Carvalhal, S. Vicente, Unhais da Serra, Eirogo, Entre-os-Rios, Monchique, Nisa e Monte da Pedra
Gasocarbónicas	Chaves
Hipossalinas	Luso e Ladeira de Enwendos
Cloretadas	Cucos e Piedade
Sulfatadas	Monte Real e Cúria
DOENÇAS DO APARELHO RESPIRATÓRIO	
Tipo de água mineral natural	Localização
Sulfúrea	S. Pedro do Sul, Alcafache, Aregos, Cavaca, Felgueira, Manteigas, Moledo, Monção, Caldas da Rainha, Caldas da Saúde, S. Jorge, Taipas Vizela, Cabeço de Vide, Carvalhal, Eirogo, Entre-os-Rios, S. Vicente, Monchique, Sangemil, Nisa e Monte da Pedra
Gasocarbónicas	Vidago
Hipossalinas	Luso
Cloretadas	Vimeiro
DOENÇAS METABÓLICAS - ENDÓCRINAS	
Tipo de água mineral natural	Localização
Sulfúrea	S. Pedro do Sul, Alcafache, Gerês e Nisa
Gasocarbónicas	Melgaço e Pedras Salgadas
Cloretadas	Cucos
Sulfatadas	Cúria
DOENÇAS NEFRO - URINÁRIAS	
Tipo de água mineral natural	Localização
Hipossalinas	Luso
Sulfatadas	Cúria
DOENÇAS DE PELE	
Tipo de água mineral natural	Localização
Sulfúrea	Canaveses, Cartão, Moledo, Taipas, S. Jorge, Vizela, Cabeço de Vide, Carvalhal, Eirogo e Nisa
Bicarbonatadas	Carvalhelhos
Gasocarbónicas	Vidago
Hipossalinas	Caldelas, Ladeira de Enwendos e Monfortinho
Cloretadas	Vimeiro e Piedade
DOENÇAS DE SANGUE	
Tipo de água mineral natural	Localização
Hipossalinas	Vale da Mó
DOENÇAS DO SISTEMA NERVOSO	
Tipo de água mineral natural	Localização
Gasocarbónicas	Vidago
DOENÇAS DO APARELHO CIRCULATÓRIO	
Tipo de água mineral natural	Localização
Sulfúrea	Gerês e Unhais da Serra
Bicarbonatadas	Carvalhelhos
Hipossalinas	Luso
Cloretadas	Vimeiro
Sulfatadas	Curia
DOENÇAS DO APARELHO DIGESTIVO	
Tipo de água mineral natural	Localização
Sulfúrea	Cavaca, Gerês, Carvalhal e Unhais da Serra
Bicarbonatadas	Monchique, Carvalhelhos e Caldelas
Gasocarbónicas	Chaves, Melgaço, Pedras Salgadas e Vidago
Hipossalinas	Ladeira de Enwendos, Monfortinho e Vale da Mó
Cloretadas	Vimeiro e Piedade
Sulfatadas	Monte Real

Falando da confluência da saúde com a geotermia, torna-se essencial referir que existem vários tipos de técnicas utilizadas para as diversas terapias, podendo estar associado a cada técnica, o uso das águas minerais com as temperaturas mais adequadas. Os tipos de tratamentos e técnicas mais comuns nas termas apresentam-se na tabela 2.2.

**Tabela 2.2** - Tratamentos e Técnicas aplicadas nas principais vocações terapêuticas usadas nas Termas (Albuquerque, 2011).

Tipo de Tratamento / Técnica	
Balneoterapia de Grupo	Piscina Termal
	Corredores de marcha
	Mini-Piscinas SPA
	Banho indo-romano (imersão a 10 °C e 40 °C, alternadamente)
Balneoterapia individual	Banho de imersão c/ hidromassagem
	Duche com massagem Vichy
	Duche sub-aquático (Massagem em banheira, com jacto de pressão)
	Duche Regional e local
	Duche Escocês (jacto de água quente combinado com água fria)
	Duche circular
	Manilúvia
	Pedilúvia
Técnicas de vapor individuais	Vapor parcial à coluna
	Vapor parcial aos membros
	Bertholaix (coluna, ombros, cervical, ancas)
Técnicas de vapor de grupo	Banho Turco (câmara saturada de vapor a 45 °C)
	Banho hammam (câmara saturada de vapor a 41 °C)
	Sauna (câmara de madeiras exóticas perfumadas aquecida a 80°C)
Sala de ORL Vias Respiratórias	Irrigação nasal
	Pulverização nasal
	Nebulização
	Aerossóis
Tratamentos especializados (ORL)	Duche faríngeo
	Insuflação
	Manobra de Proetz
Hidropinía	Ingestão oral

### 2.3.4. Perspetiva energética

Existem diversos critérios para a classificação dos sistemas geotérmicos, destacando-se a temperatura e a entalpia dos fluidos de captação.

De uma forma resumida, a entalpia pode definir-se como a quantidade de energia térmica que um fluido ou objeto pode permutar com a sua vizinhança, expressando-se em kJ/kg ou kcal/kg (Trillo e Angulo, 2008).

Na tabela 2.3, podem ser observadas as diferentes classificações dos recursos geotérmicos, assinalando-se que a temperatura mínima para se poder gerar eletricidade torna-se relevante para definir como fronteira a alta e a baixa entalpia, sendo até alguns anos atrás de 150°C, como referido anteriormente. No entanto, assistiu-se a uma evolução da tecnologia, e tendo em conta que nos dias de hoje já se disponibilizam turbinas do tipo “Organic-Rankine-Cycle (ORC)” que geram eletricidade com temperaturas na ordem dos 100°C, pode considerar-se este valor como limite entre a alta e a baixa entalpia (Albuquerque, 2011).

No que diz respeito a um novo patamar na classificação, quando a temperatura existente num ponto de água é de 20°C, podendo este ser considerado como ponto anómalo ou não, pode admitir-se a designação de uma nova zona de muito baixa entalpia (Albuquerque, 2011). Assim, mediante alguns estudos desta temática, salienta-se que os sistemas GHP, que são cada vez mais utilizados, podem ser considerados como uma “nova geotermia” (Martins de Carvalho e Carvalho, 2004).

**Tabela 2.3** - Classificações dos aproveitamentos geotérmicos consoante a temperatura máxima do fluido na boca da captação, segundo vários autores (referências 1 a 5, *in* Rocha, 2011).

Classificação	Muffer e Cataldi (1978) (1)	Hochstein (1990) (2)	Benderitter e Cormv (1990) (3)	Nicholson (1993) (4)	Axelsson e Gunnlaugsson (2000) (5)	Ferreira Gomes (2007) (6)
Muito Baixa	-	-	-	-	-	< 20°C
Baixa Entalpia	< 90°C	< 125°C	<100°C	≤150°C	≤190°C	20- 100°C
Entalpia Intermédia	90-150°C	125-225°C	100-200°C	-	-	-
Alta Entalpia	>150°C	>225°C	>200°C	> 150°C	> 190°C	> 100°C

Na elaboração deste trabalho a classificação seguida é a de Ferreira Gomes (2007a, 2007b, 2007c), considerando-se os aproveitamentos geotérmicos inseridos em três grandes grupos de acordo com a alta entalpia, com temperaturas superiores a 100°C, havendo a possibilidade de produzir energia elétrica, a baixa entalpia, com temperaturas entre os 20 e os 100°C com aplicações diversas dependentes do valor da temperatura presente na água subterrânea e a muito baixa entalpia, com temperaturas inferiores a 20°C, com aplicações nomeadamente na climatização de edifícios.

Este tipo de energia, como já se referiu, pode ter diferentes utilizações, e demonstrando este facto, Lindal (1973) desenvolveu um diagrama, denominado por Diagrama de Lindal, que evidencia que a utilização ideal para a energia geotérmica é realizada em cascata, com

temperaturas progressivamente mais baixas, até cerca de 20°C (Martins de Carvalho e Carvalho, 2004).

No referido diagrama a produção de eletricidade pode ser gerada a partir dos 90°C, evidenciando-se que, nos dias de hoje, a criação de energia eléctrica também pode ser realizada a baixas temperaturas, como pode ser observado na figura 2.11 (Rocha, 2011).

Na figura 2.12, apresentam-se mais detalhadamente as principais aplicações do calor terrestre, nas distintas atividades da sociedade, em função da temperatura apresentada.

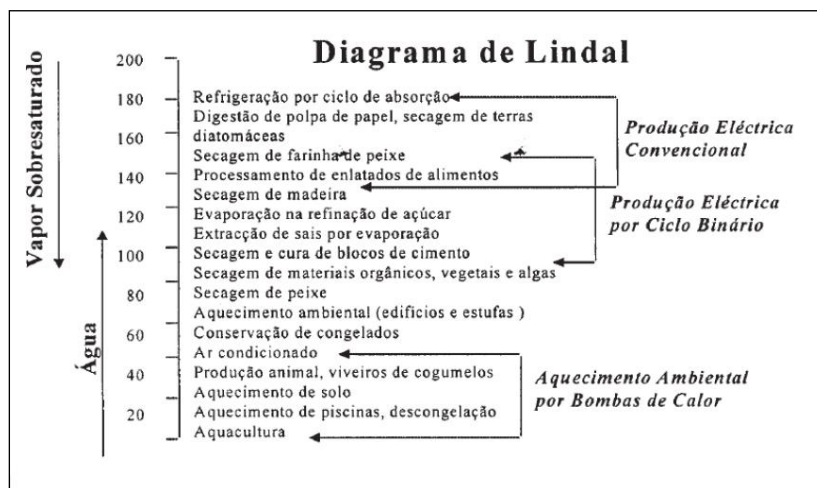


Figura 2.11 - Diagrama de Lindal (Lindal, 1973).

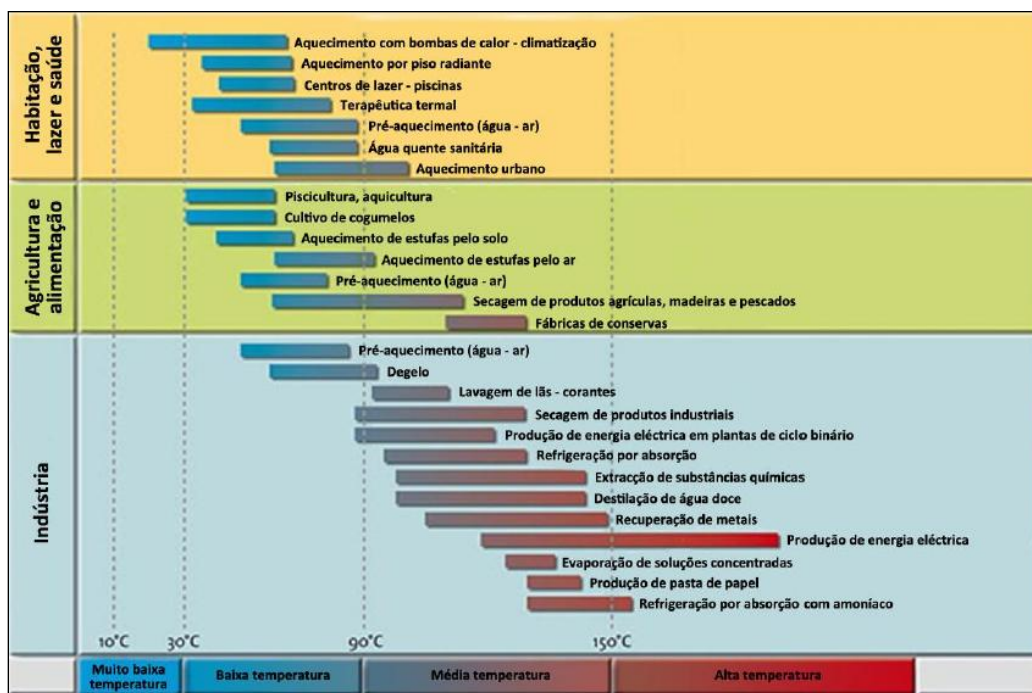
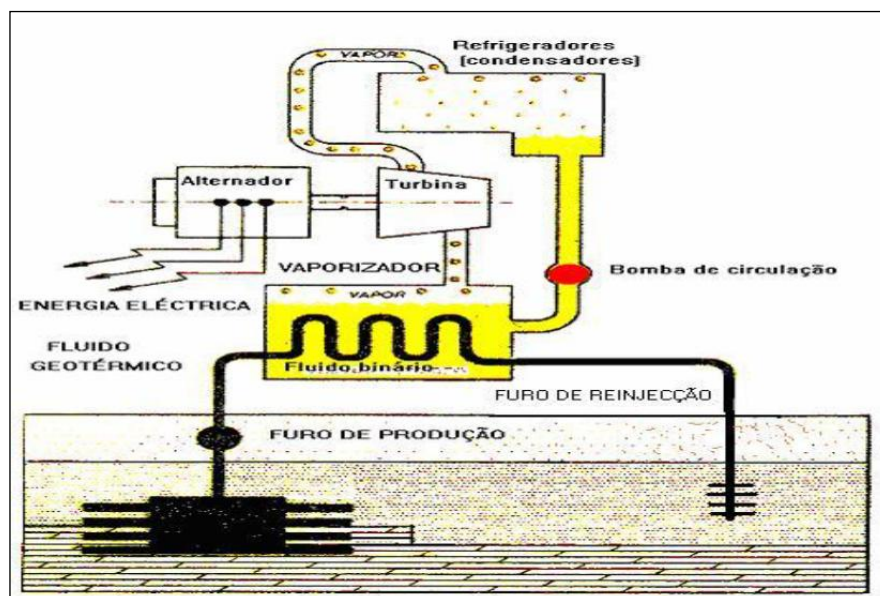


Figura 2.12 - Principais aplicações da energia geotérmica em função da temperatura (Cruz, 2013).

### 2.3.4.1. Geotermia de alta entalpia

A nível económico a geotermia de alta entalpia é sem dúvida a aplicação energética com mais visibilidade e importância, tratando-se da produção de electricidade mediante o vapor de água de origem geotérmica, em centrais com turbinas a vapor e unidade de condensação, mas também a partir do vapor de água em centrais binárias (Martins de Carvalho e Carvalho, 2004).

Correntemente, para gerar electricidade utiliza-se o fluido desde captações instaladas em reservatórios de água bastante quente ou vapor de água, mas mais recentemente tem-se vindo assistir ao desenvolvimento dos sistemas HDR (Hot Dry Rock), sendo estes aproveitamentos geotérmicos em reservatórios formados por rochas quentes e secas, onde primeiramente não existe água disponível, mas uma vez injetada mediante um furo a profundidades elevadas e recuperada por outro furo, pode possibilitar aproveitamentos relevantes no domínio da alta entalpia e em particular na produção de electricidade. O esquema apresentado na figura 2.13 mostra o princípio dos sistemas HDR assim como eles funcionam.

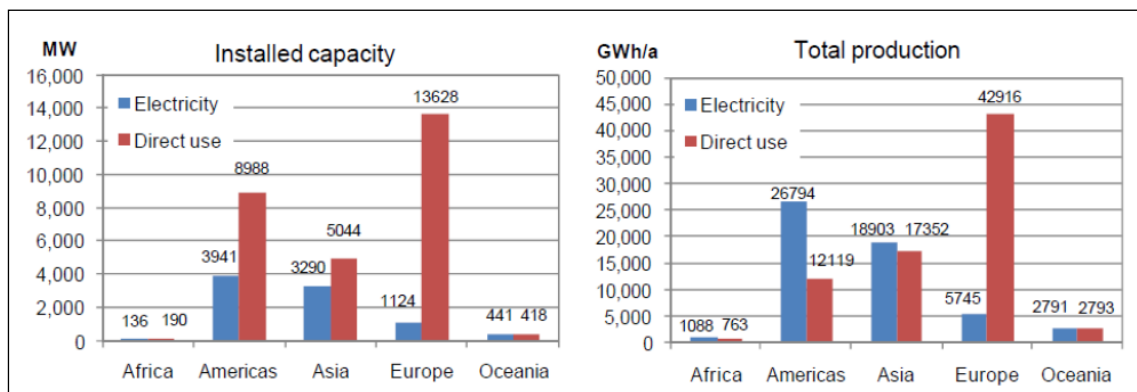


**Figura 2.13** - Esquema de princípio dos sistemas HDR, para produção de electricidade a partir de vapor de água resultante do aquecimento de água fria injetada no maciço quente (Arena, 2003 in Albuquerque, 2011).

Desde 1913 que a produção de electricidade é gerada mediante o vapor de água proveniente de reservatórios geotérmicos, havendo um rápido aumento na utilização da energia geotérmica nas últimas três décadas, sendo identificados 90 países com recursos geotérmicos. No entanto, apenas 72 dos 90 países utilizam esses recursos e somente 24 produzem electricidade através deste tipo de energia (Bertani, 2009).

Cinco dos países em que a energia geotérmica é utilizada para criar eletricidade apresentam uma percentagem de geração de 15 a 22% no total da produção de cada um desses países, sendo eles a Costa Rica, El Salvador, a Islândia, o Quênia e as Filipinas (Bertani, 2009).

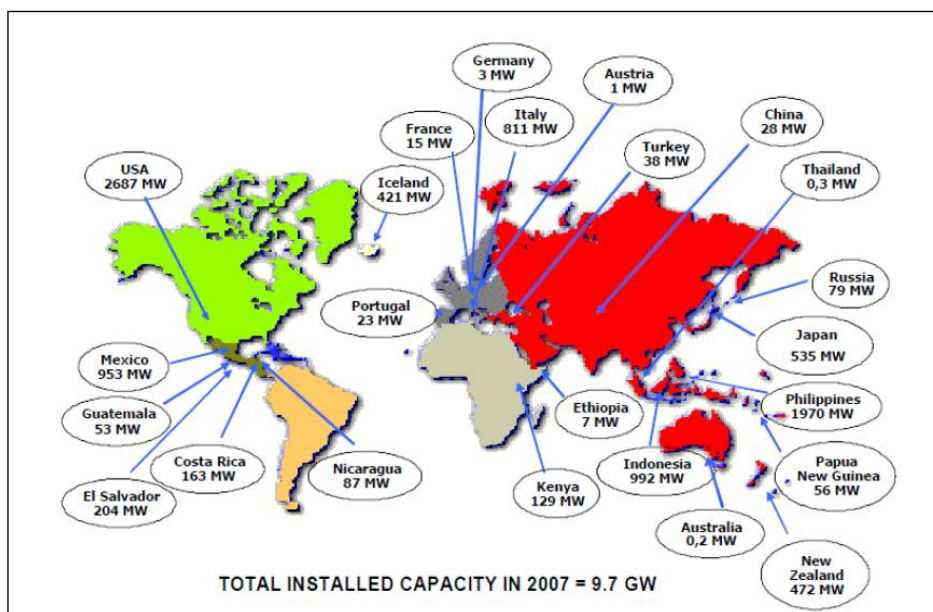
No ano de 2004, o consumo global deste tipo de energia renovável foi de aproximadamente 50 TWh/ano de eletricidade e 76 TWh/ano para uso direto. Na figura 2.14 observam-se a potência instalada e a produção total de eletricidade e uso direto da energia geotérmica para os diferentes continentes nesse ano (Bertani, 2009).



**Figura 2.14** - Capacidade instalada (esquerda) e energia produzida (direita) para a produção de eletricidade e usos diretos através da energia geotérmica para os diferentes continentes; Consideram-se “Americas” a América do Norte, do Sul e do Centro (Fridleifsson e Ragnarsson, 2007).

A produção mundial de eletricidade através da energia geotérmica tem vindo a aumentar anualmente, com uma taxa de crescimento de 3%, enquanto o uso direto da geotermia cresceu 7,5%, e apenas uma ínfima parte dos potenciais geotérmicos são aproveitados, o que tenderá para uma taxa de crescimento ainda maior nos próximos anos (Bertani, 2009).

Na figura 2.15 demonstra-se a potência instalada para a criação de eletricidade referente ao ano de 2007 para os países produtores de eletricidade através da energia geotérmica (Bertani, 2009).



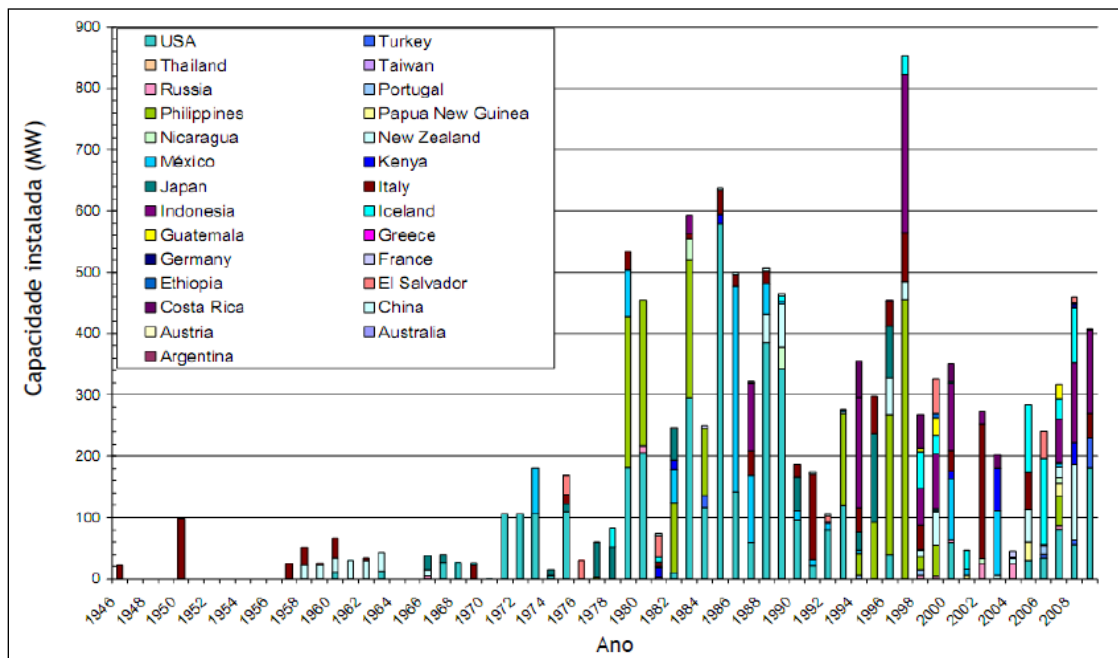
**Figura 2.15** - Capacidade instalada para a produção de eletricidade em 2007 para os diferentes países (Bertani, 2007).

Na tabela 2.4 representam-se os 15 países com maior produção de eletricidade e uso direto da energia geotérmica, referente ao ano de 2005, e na lista dos maiores produtores de eletricidade, 10 dos países referidos são países em desenvolvimento, enquanto na lista dos maiores produtores da aplicação do uso direto da geotermia, apenas 5 são considerados países em desenvolvimento (Bertani, 2009).

**Tabela 2.4** - Os 15 países com maior utilização de energia geotérmica no ano de 2005 (Bertani, 2005; Lund *et al.*, 2005a).

Produção eléctrica		Uso directo	
País	GWh/ano	País	GWh/ano
EUA	17,917	China	12,605
Filipinas	9,253	Suécia	10,000
México	6,282	EUA	8,678
Indonésia	6,085	Turquia	6,900
Itália	5,340	Islândia	6,806
Japão	3,467	Japão	2,862
Nova Zelândia	2,774	Hungria	2,206
Islândia	1,483	Itália	2,098
Costa Rica	1,145	Nova Zelândia	1,968
Quênia	1,088	Brasil	1,840
El Salvador	967	Geórgia	1,752
Nicarágua	271	Rússia	1,707
Guatemala	212	França	1,443
Turquia	105	Dinamarca	1,222
Guadalupe (França)	102	Suíça	1,175

O aumento médio desde o ano de 1990 é de aproximadamente 300 MW/ano e na figura 2.16 mostra-se a capacidade de produção de energia elétrica a partir de centrais geotérmicas dos vários países após o período da Segunda Guerra Mundial (Albuquerque, 2011).



**Figura 2.16** - Capacidade de produção de energia elétrica a partir de Centrais Geotérmicas, por país, depois da Segunda Guerra Mundial, no mundo (Bertani, 2010).

Na tabela 2.5 expõem-se os campos geotérmicos atuais com centrais de produção superior a 100 GWh/ano. Enfatiza-se que Portugal figura com a central da Ribeira Grande, no arquipélago dos Açores, inserida no grupo das centrais geotérmicas que possuem uma produção superior a 100 GWh/ano, com um valor de 175 GWh (Albuquerque, 2011).

Na tabela 2.6 e na figura 2.17 consta a rápida expansão, recentemente visualizada, assim como as previsões de produção de energia geotérmica para 18 regiões definidas na Avaliação Global da Energia - Global Energy Assessment (GEA), no âmbito da Conferência Mundial de Energia (WEC) (Albuquerque, 2011).

**Tabela 2.5** - Listagem dos campos geotérmicos com centrais de produção superior a 100 GWh/ano em 2010 (Bertani, 2010).

Campo Geotérmico	País	MW	GWh
CA-The Geysers	USA	1585	7062
Cerro Prieto	México	720	5176
Tongonan/Leyte	Philippines	716	4746
Larderello	Italy	595	3666
Java - Gunung Salak	Indonesia	377	3024
CA-Saltion Sea	USA	329	2634
CA-Coso	USA	270	2381
Mak-Ban/Laguna	Philippines	458	2144
Java - Darajat	Indonesia	260	2085
Java - Wayang Windu	Indonesia	227	1821
Hellisheidi	Iceland	213	1704
Wairakei	New Zealand	232	1693
Java - Kamojang	Indonesia	200	1604
Los Azufres	México	188	1517
Olkaria	Kenya	167	1430
Palinpinon/Negros Oriental	Philippines	193	1257
Travale-Radicondoli	Italy	160	1209
Miravalles	Costa Rica	166	1131
Oita	Japan	152	1106
Tiwi/Albany	Philippines	234	1007
Nesjavellir	Iceland	120	960
Mokai	New Zealand	111	927
Reykjanes	Iceland	100	800
Berlin	El Salvador	109	753
Mindanao/Mount Apo	Philippines	103	751
CA-Heber	USA	205	708
NV-Steamboat	USA	140	696
Ahuachapan	El Salvador	95	669
Svartsengi	Iceland	76	611
Akita	Japan	88	568
CA-East Mesa	USA	120	556
Reporoa	New Zealand	103	549
Java - Dieng	Indonesia	60	481
Sulawesi - Lahendong	Indonesia	60	481
Krafla	Iceland	60	480
Mt. Amiata-Piancastagnaio	Italy	68	475
Kawerau	New Zealand	122	473
Lihir Island	Papua New Guinea	56	450
Iwate	Japan	104	447
NV-Dixie Valley	USA	67	426
Bacon-Manito/Sorsogon/Albany	Philippines	152	390
Severo-Mutnovsky	Russia	62	381
Fukushima	Japan	65	363
Aydin-Germencik	Turkey	47	360
Kagoshima	Japan	60	347
UT-Roosevelt	USA	36	328
NV-Stillwater	USA	48	314
Los Humeros	México	40	313
Momotombo	Nicaragua	78	275
Rotokawa	New Zealand	35	273
HI-Puna	USA	35	237
CA-Mammoth	USA	40	236
NV-Blue Mountain	USA	50	177
Ribeira Grande	Portugal	29	175
Mt. Amiata-Bagnore	Italy	20	170
Amatitlán	Guatemala	24	158
Yangbajain	China	24	150
Northland	New Zealand	25	140
Zunil	Guatemala	28	131
NV-Beowawe	USA	17	129
NV-Brady Hot Spring	USA	26	122
Hokkaido	Japan	50	115
NV-Desert Peak	USA	23	106
Miyagi	Japan	13	104
Sumatra - Sibayak	Indonesia	13	104

Nota: Potência em MW e Energia produzida em GWh

Tabela 2.6 - A utilização de energia geotérmica nas 18 regiões GEA (Bertani, 2010).

Região GEA	Eletricidade (TWh/ano)				
	2000	2005	2010	2015	2050
USA	14.0	16.8	16.6	34.1	508
Canada	0.0	0.0	0.0	0.1	8.3
West Europe	3.9	7.1	10.9	13.3	125
Cen/East Eur.	0.0	0.0	0.0	0.1	25
ex URSS	0.0	0.1	0.4	1.2	67
North. Africa	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
East Africa	0.4	1.1	1.4	3.7	25
West/Cen Africa	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
South Africa	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Middle East	0.0	0.0	0.0	0.0	17
China	0.1	0.1	0.2	0.4	42
East Asia	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
India	0.0	0.0	0.0	0.0	17
South Asia	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Japan	1.7	3.5	3.1	3.4	17
Pacific Asia	8.3	15.4	20.4	37.8	166
Oceania	2.4	2.8	4.1	8.0	25
Latin Amer.	7.3	8.9	10.2	14.0	125
<b>World</b>	<b>38</b>	<b>56</b>	<b>67</b>	<b>116</b>	<b>1,167</b>

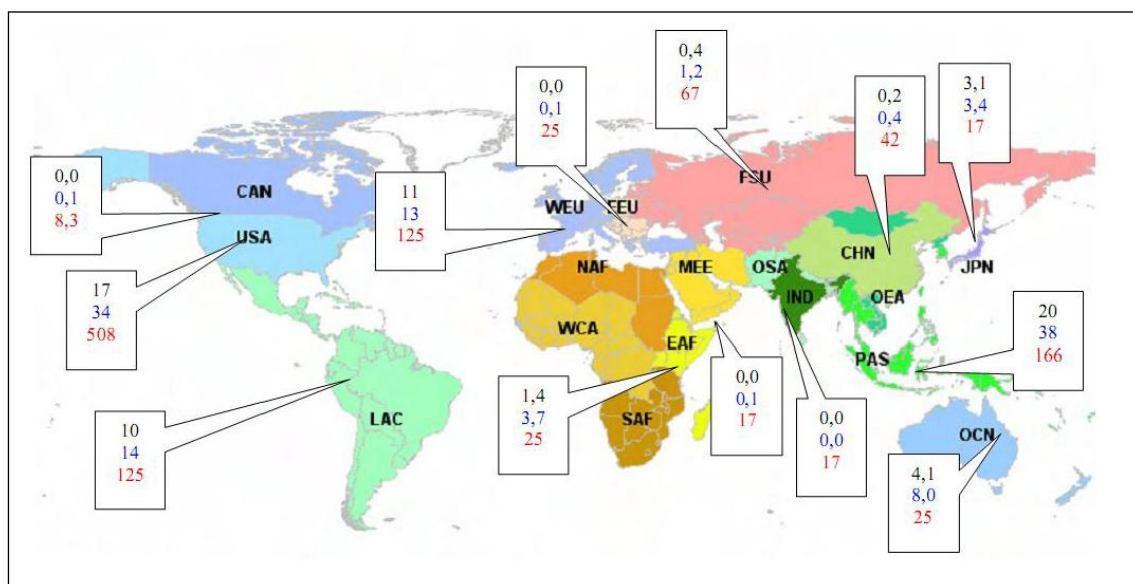
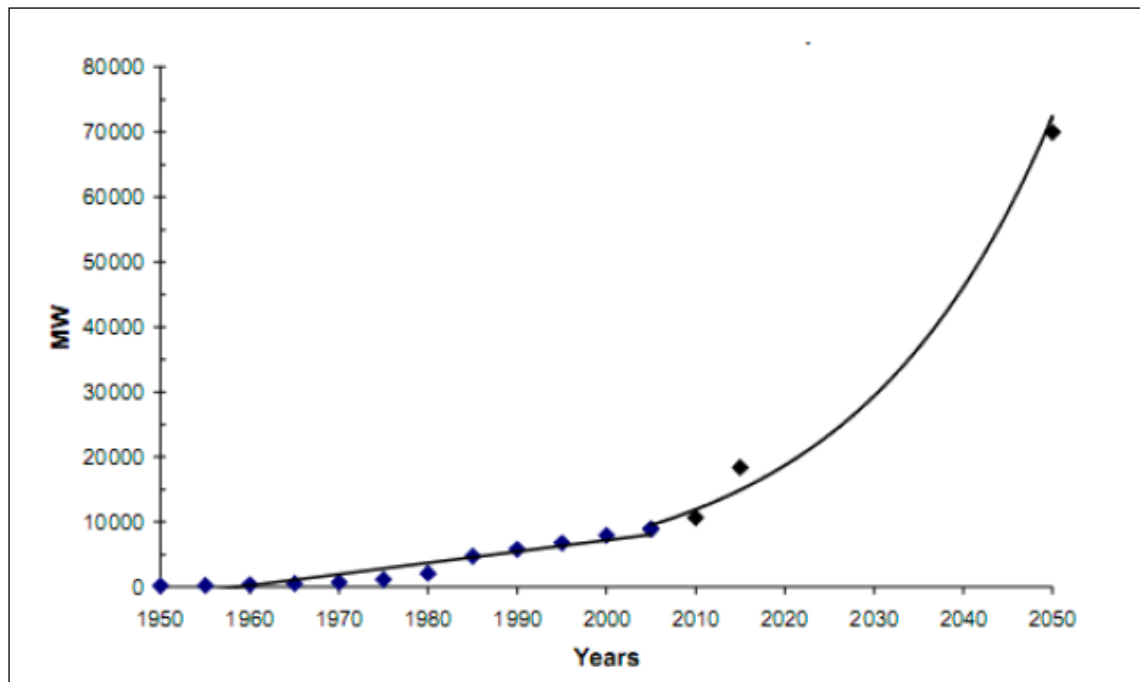


Figura 2.17 - Previsão para as 18 regiões de GEA, em TWh/ano: 2010 (a preto), 2015 (em azul) e 2050 (em vermelho). A energia referida na figura corresponde à potência efetiva de 10.7 GW por 2010, 18.4 GW para 2015 e 70 GW para 2050 (Bertani, 2010).

Refere-se ainda que as estimativas para o ano de 2050 são realizadas com algum grau de aproximação, existindo perspectivas um pouco distintas por outros autores, mas de qualquer forma, conduzem à relevância do verdadeiro potencial deste tipo de energia. A meta esperada para a instalação de 70 GW, em 2050, como se pode observar na figura 2.18, é bastante otimista, mas entretanto esta poderá oferecer à comunidade da energia geotérmica uma previsão da existência de um forte concorrente na procura de energias renováveis no futuro (Albuquerque, 2011).



**Figura 2.18** - Previsão de instalação de potência para produção de energia elétrica a partir da geotermia até ao ano 2050 (Bertani, 2010).

#### 2.3.4.2. Geotermia de baixa e muito baixa entalpia

Trabalhos e estudos recentes têm revelado progressos incentivadores na temática dos sistemas geotérmicos superficiais, ou seja, em pequenas profundidades. O subsolo, mesmo a baixas profundidades, mostra-se como uma fonte de energia bastante estável, podendo ser aproveitada para benefício do conforto térmico do ser humano (Cruz, 2013).

Na maioria, a Europa apresenta solos com temperaturas aproximadamente constantes a profundidades entre os 10 e os 15 metros. A pouco mais de 50 metros os valores rondam os 10 e os 15 °C, podendo estas temperaturas ser utilizadas para a climatização dos edifícios, tendo em conta a eficiência energética (Brandl, 2006).

O uso direto da energia geotérmica é um dos mais antigos, mais versáteis, e também a forma mais corrente de utilização dessa mesma energia (Dickson e Fanelli, 2004).

A grande fama das bombas de calor geotérmicas (GHP) tornou-se o avanço mais significativo sobre o uso direto da energia geotérmica, devido a uma melhor comunicação e à capacidade dessas bombas utilizarem temperaturas das águas subterrâneas ou do solo associado em qualquer lugar do planeta (Albuquerque, 2011).

A grande inovação da energia geotérmica de muito baixa entalpia está na utilização das fundações dos edifícios para a extração da energia térmica do solo, e com esse facto aquecer e arrefecer a superestrutura em contacto com o ar ambiente interior dos edifícios, denominando este tipo de estruturas como termo-ativas. Esta solução tecnológica é normalmente aplicada em fundações profundas, que por atingirem profundidades maiores em comparação com outro tipo de fundações, obtêm melhor proveito do calor do subsolo, e por se inserirem permutadores de temperatura nesses elementos, o custo da solução na parte da aquisição térmica é bastante menor em comparação com a realização de furos artesianos para a colocação de permutadores, incluindo o seu reforço e proteção (Cruz, 2013).

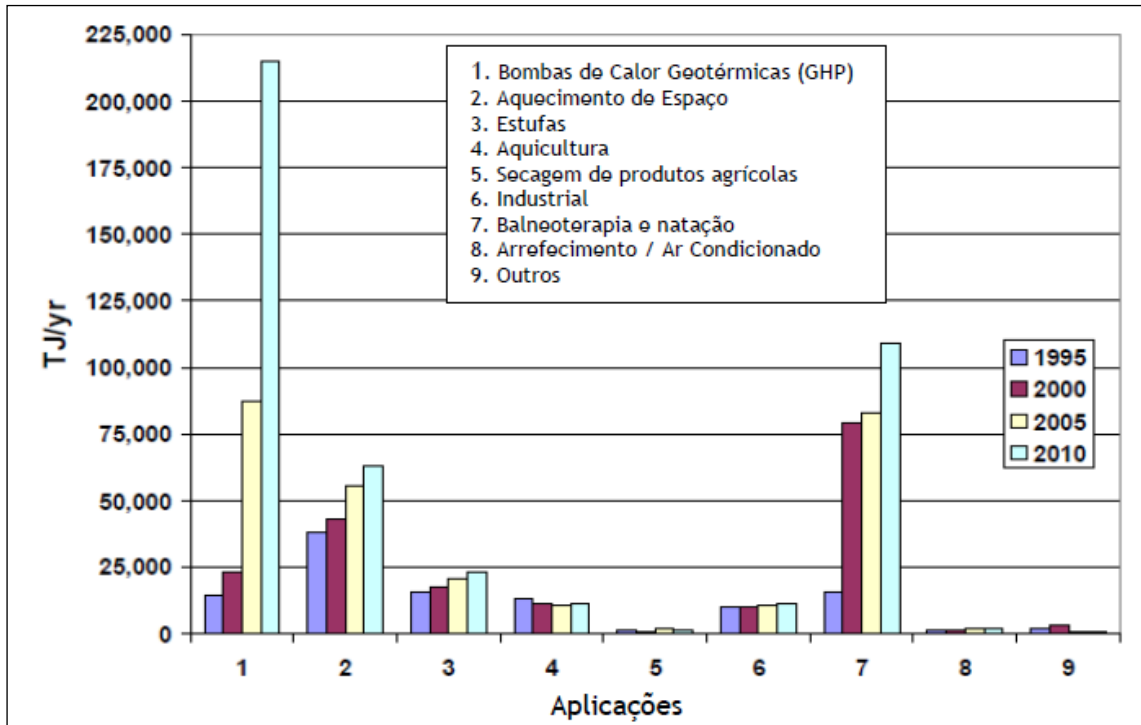
### Categorias de utilização

Na tabela 2.7 figuram os elementos acerca da potência instalada na produção de energia geotérmica nas várias aplicações desta no período de 1995 a 2010.

**Tabela 2.7** - Capacidade instalada e produção de energia geotérmica em uso direto nos vários domínios de aplicações, em todo o mundo, no período 1995-2010 (Lund *et al.*, 2010a).

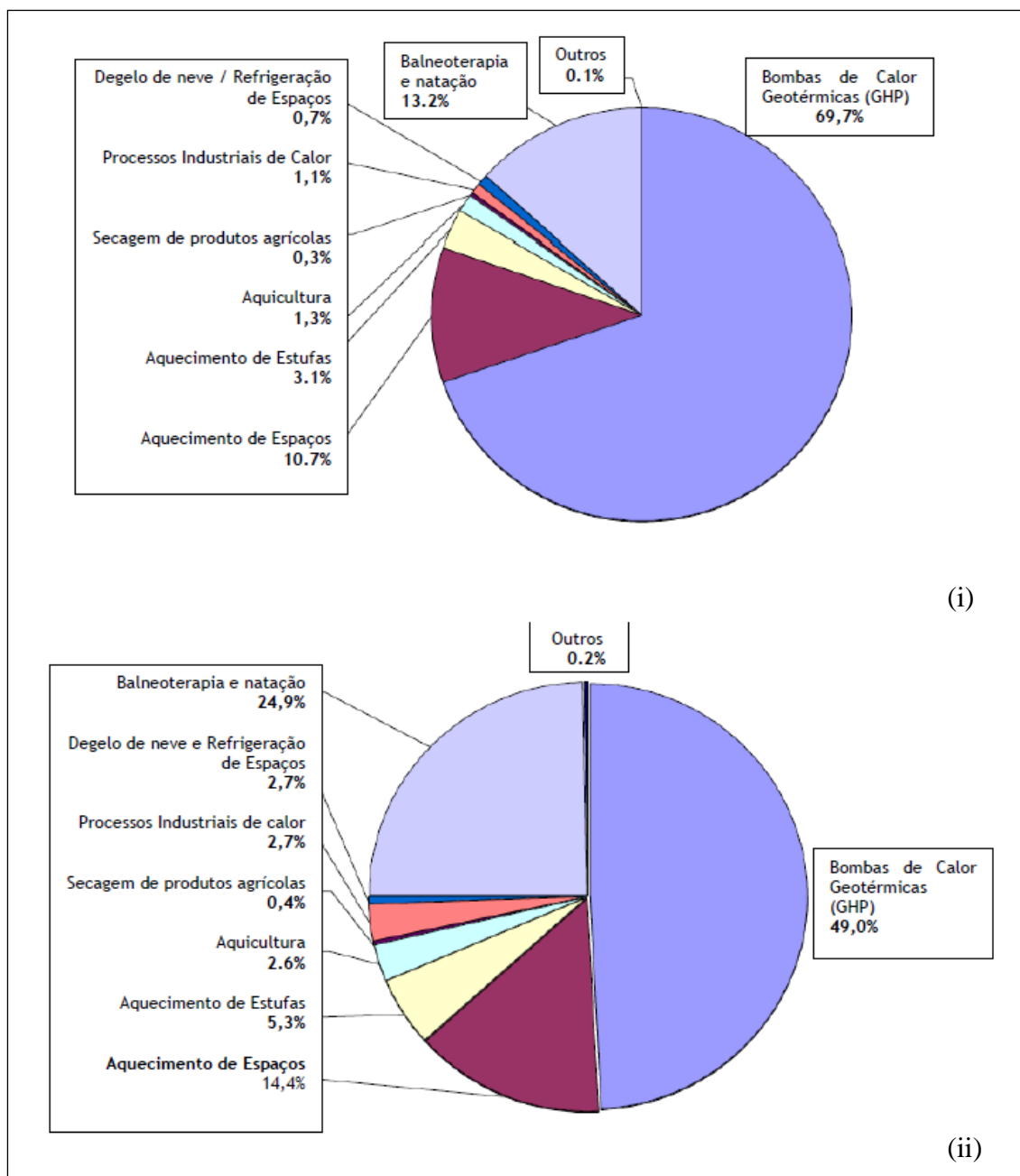
Capacidade, MWT				
	2010	2005	2000	1995
1. Bombas de Calor Geotérmicas (GHP)	35.236	15.384	5.275	1.854
2. Aquecimento de Espaços	5.391	4.366	3.263	2.579
3. Aquecimento de Estufas	1.544	1.404	1.246	1.085
4. Aquicultura	653	616	605	1.097
5. Secagem de Produtos Agrícolas	127	157	74	67
6. Processos Industriais de Calor	533	484	474	544
7. Balneoterapia e natação	6.689	5.401	3.957	1.085
8. Degelo de neve e Refrigeração de Espaços	368	371	114	115
9. Outros usos	41	86	137	238
<b>Total</b>	<b>50.583</b>	<b>28.269</b>	<b>15.145</b>	<b>8.664</b>
Utilizações, TJ/ano				
	2010	2005	2000	1995
1. Bombas de Calor Geotérmicas (GHP)	214.782	87.503	23.275	14.617
2. Aquecimento de Espaços	62.984	55.256	42.926	38.230
3. Aquecimento de Estufas	23.264	20.661	17.864	15.742
4. Aquicultura	11.521	10.976	11.733	13.493
5. Secagem de Produtos Agrícolas	1.662	2.013	1.038	1.124
6. Processos Industriais de Calor	11.746	10.868	10.220	10.120
7. Balneoterapia e natação	109.032	83.018	79.546	15.742
8. Degelo de neve e Refrigeração de Espaços	2.126	2.032	1.063	1.124
9. Outros usos	956	1.045	3.034	2.249
<b>Total</b>	<b>438.071</b>	<b>273.372</b>	<b>190.699</b>	<b>112.441</b>

Na figura 2.19 mostra-se, a nível gráfico, a produção de energia geotérmica em usos diretos nas diversas categorias de aplicação, em todo o planeta, no período de 1995 a 2010.



**Figura 2.19** - Produção de energia geotérmica em uso direto nos vários domínios de aplicações, em todo o mundo, no período 1995-2010 (Lund *et al.*, 2010a).

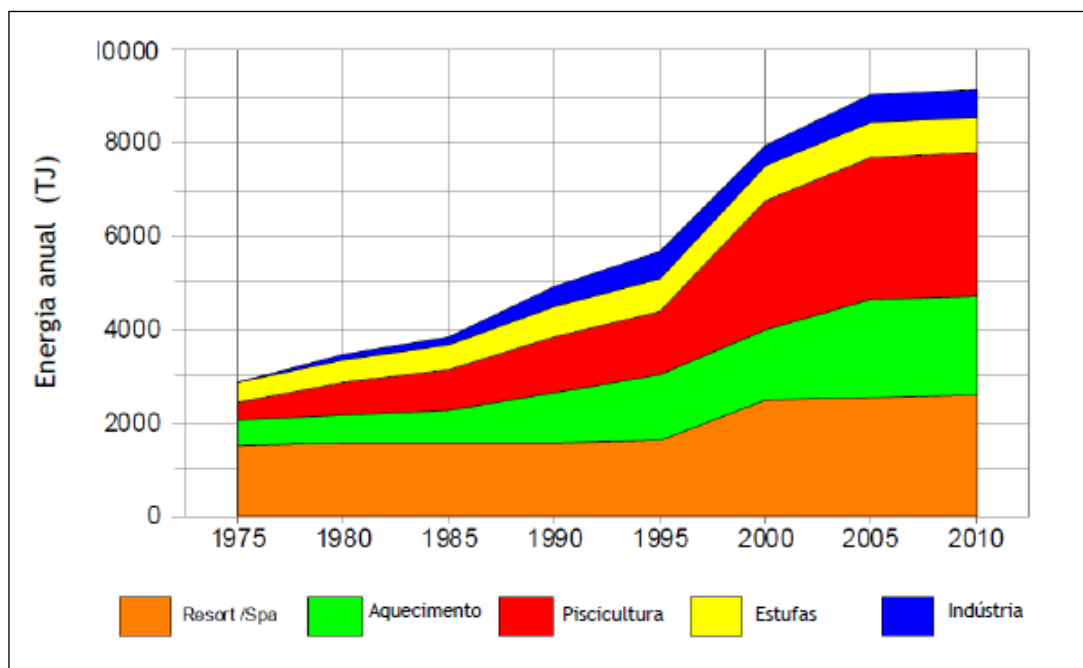
Na figura 2.20, apresenta-se a capacidade instalada e a produção de energia geotérmica nos usos diretos nas várias categorias de aplicação em todo o mundo, no ano de 2010. Destaca-se que as aplicações GHP apresentam uma grande componente na produção de energia, com 49% em comparação com todas as outras aplicações, seguindo-se a balneoterapia e natação, o aquecimento de espaços com importância relevante, e seguidamente o aquecimento de estufas, os usos industriais e a aquicultura e lagoas.



**Figura 2.20** - Capacidade instalada: (i) em produção de energia geotérmica (ii) em uso direto nos vários domínios de aplicações, em todo o mundo, no ano de 2010 (Lund *et al.*, 2010a).

Seguidamente, na figura 2.21 apresenta-se a situação dos Estados Unidos no período de 1975 a 2010, mostrando desta forma a evolução ao longo do tempo dos consumos de energia geotérmica nas várias aplicações.

Na tabela 2.8 figura um resumo dos usos diretos de calor por categoria, incluindo bombas de calor, também no período de 1975 a 2010.



**Figura 2.21** - Desenvolvimento do uso da geotermia de baixa entalpia, nos Estados Unidos, no período de 1975 a 2010 (Lund *et al.*, 2010b).

**Tabela 2.8** - Síntese do uso da geotermia de baixa entalpia e muito baixa (inclui as bombas de calor), nos Estados Unidos, nos últimos 35 anos (Lund *et al.*, 2010b).

Uso	Capacidade Instalada (MWt)	Energia Anual Usada (TJ/ano = $10^{12}$ J/ano)
Aquecimento de Espaços	139,89	1.360,60
Aquecimento Urbano	75,10	773,20
Ar Condicionado (Arrefecimento)	2,31	47,60
Aquecimento de Estufas	96,91	799,80
Aquicultura	141,85	307,00
Produção animal	0,00	0,00
Secagem de Produtos Agrícolas	22,41	292,00
Processos Industriais de Calor	17,43	227,10
Degelo de neve e refrigeração de espaços	2,53	20,00
Balneoterapia e natação	112,93	2.557,50
Outros usos	0,00	0,00
<b>Subtotal</b>	<b>611,46</b>	<b>9.151,80</b>
Bombas de Calor Geotérmico (GHP)	12.000,00	47.400,00
<b>Total</b>	<b>12.611,46</b>	<b>56.551,80</b>

## A geotermia em edifícios mediante bombas de calor geotérmicas

Quando se refere o aquecimento de edifícios mediante bombas de calor geotérmicas, associa-se claramente à grande utilização no domínio da muito baixa entalpia, não apenas por motivos económicos, mas também por uma razão funcional. Apesar de ser recente em Portugal, a tecnologia utilizada neste tipo de aproveitamentos conta já com alguns anos de experiência noutros países, sendo exemplo a Holanda e a Islândia, onde se torna relevante o desenvolvimento destes sistemas, uma vez que em Reiquiavique, capital da Islândia, 95% dos edifícios de habitação são climatizados recorrendo à geotermia (Albuquerque, 2011).

Dando ênfase aos locais que apresentam atividade vulcânica, o solo pode ser considerado como uma excelente reserva em termos energéticos que se conserva permanentemente ao longo do tempo e o geocalor acumulado no subsolo pode ser utilizado em qualquer lugar. Quando nos encontramos entre os 15 e os 20 metros de profundidade, obtém-se uma temperatura relativamente constante de aproximadamente 17°C, possibilitando-se dessa forma o funcionamento de aproveitamentos compostos por bombas de calor geotérmicas que permitem trocas de calor com o subsolo, disfrutando da temperatura a que este se encontra. Desta forma, num edifício torna-se bastante mais eficaz em termos energéticos atingir uma temperatura confortável, tanto no Verão por arrefecimento como no Inverno por aquecimento (Albuquerque, 2011).

Torna-se possível considerar que este tipo de sistemas representados nas figuras 2.22 e 2.23, são constituídos por três componentes principais, sendo elas a captação ou circuito primário, a bomba de calor e a emissão ou circuito secundário (Brandl, 2006; Albuquerque, 2011).

Mais detalhadamente, o circuito primário encontra-se no subsolo e é constituído pelos permutadores, normalmente representados por elementos estruturais, pelo solo envolvente e pela rede de tubagens, que mediante mecanismos de convecção e condução permitem trocas de calor entre o solo e as fundações dos edifícios, sendo a energia térmica transmitida ao fluido, normalmente água com ou sem anticongelante ou com uma mistura salina, que circula no interior das tubagens contidas no betão armado (Brandl, 2006; Moel *et al.*, 2010 *in* Cruz, 2013). A bomba de calor geotérmica é um dispositivo termodinâmico que tem dois componentes essenciais, sendo eles o compressor que comprime o líquido refrigerante, elevando a temperatura e a pressão que possibilitam a passagem do mesmo ao estado gasoso, sendo o calor gerado transportado para o circuito secundário, permitindo assim uma diminuição da temperatura no líquido refrigerante, e a válvula de expansão onde o gás expande e arrefece, retomando o estado líquido. Este ciclo repete-se (Brandl, 2006, 2008). Em relação ao circuito secundário que se localiza nos edifícios, o mesmo consiste numa segunda rede de tubagens, normalmente incluída no interior das lajes e paredes, apresentando como objetivo principal a emissão da energia térmica captada no circuito primário (Cruz, 2013).

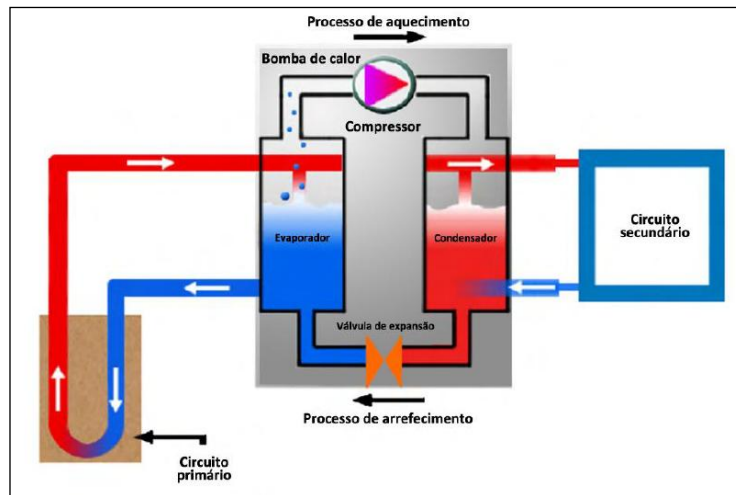


Figura 2.22 - Esquema do funcionamento geral de um sistema geotérmico (Moel *et al.*, 2010 in Cruz, 2013).

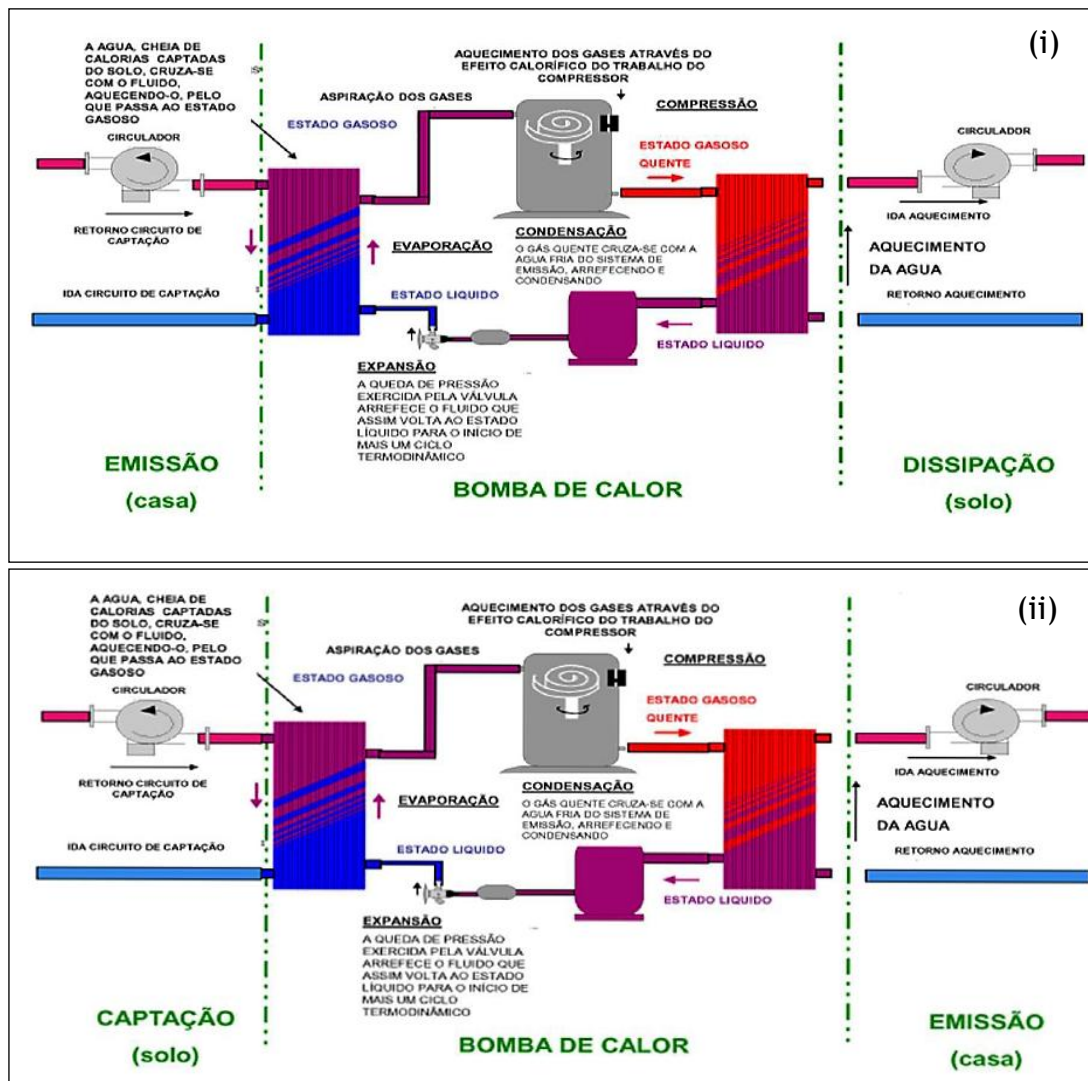
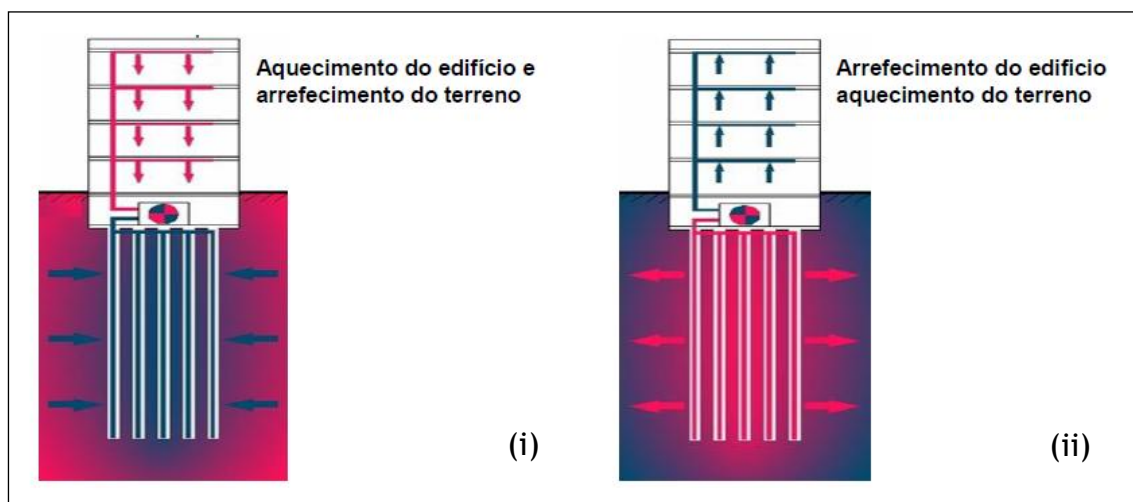


Figura 2.23 - Esquema de princípio de sistemas geotérmicos em: (i) aquecimento; (ii) arrefecimento (Albuquerque, 2011).

No Verão, este tipo de sistemas pressupõem um arrefecimento da temperatura ambiente no interior dos edifícios, uma vez que estes têm tendência para aquecer, sendo o arrefecimento realizado mediante o circuito secundário que transmite o excesso de temperatura ao circuito primário, que por sua vez o transfere para o solo envolvente das fundações, retirando dessa forma a energia térmica que não é necessária ao edifício, dissipando-se a mesma através do solo. No Inverno ocorre o oposto, ou seja, existe a necessidade de aquecimento dos edifícios devido às temperaturas baixas experimentadas no exterior, conseguindo-se ao extrair energia térmica do solo através do circuito primário, transferindo a mesma ao circuito secundário e assim aquecendo os edifícios (Cruz, 2013). Na figura 2.24 surge um esquema exemplificativo do funcionamento, tanto no aquecimento como no arrefecimento dos edifícios, mediante seja Inverno ou Verão respetivamente.

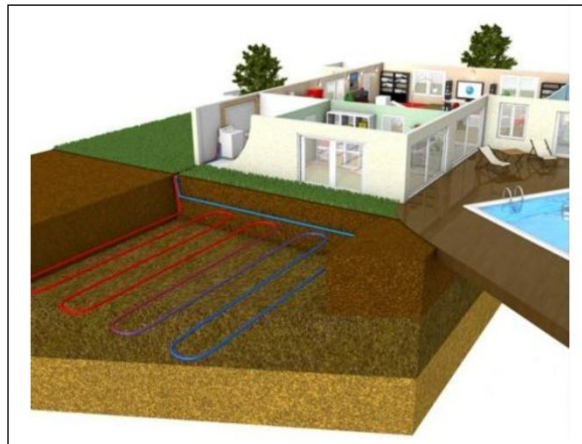


**Figura 2.24** - Funcionamento no Inverno (i) e funcionamento no Verão (ii) (Cruz,2013).

Fazendo referência aos modos de captação, o geocalor obtém-se partindo de três cenários distintos, sendo eles a captação horizontal, a captação vertical e ainda a exploração de água subterrânea de aquíferos, permitindo estes a climatização dos edifícios, mas também o aquecimento das águas sanitárias, de piscinas e estufas, revelando uma poupança relevante comparativamente com outro tipo de energia de uma forma benéfica para o meio ambiente (Albuquerque, 2011). Cada um desde métodos possui particularidades e exigências próprias, e a sua escolha depende da solução final que se pretende, assim como das condicionantes do terreno (Cruz, 2013). Seguidamente serão abordados, de uma forma mais detalhada, cada um destes métodos de captação.

A captação horizontal, representada na figura 2.25, pode ser composta por duas camadas de coletores com tubos aplicados horizontalmente com profundidades de 0,60 m para uma primeira camada e de 1,40 m para uma segunda, abrangendo uma área de 1,50 e 0,85 respetivamente, em relação à área útil do edifício em causa, sendo normalmente empregues tubos sob pressão em polietileno ou em cobre revestidos, aconselhando-se um afastamento

mínimo de 30 cm entre os mesmos (Albuquerque, 2011). Este tipo de captação funciona em circuito hidráulico fechado e a sua grande vantagem reside no baixo custo de instalação e na sua utilização em espaços com poucas exigências térmicas. As suas desvantagens mais notáveis são a extensão relativamente grande de terreno necessário e a oscilação da temperatura do solo superficial (Marzbanrad *et al.*, 2007 *in* Cruz,2013).



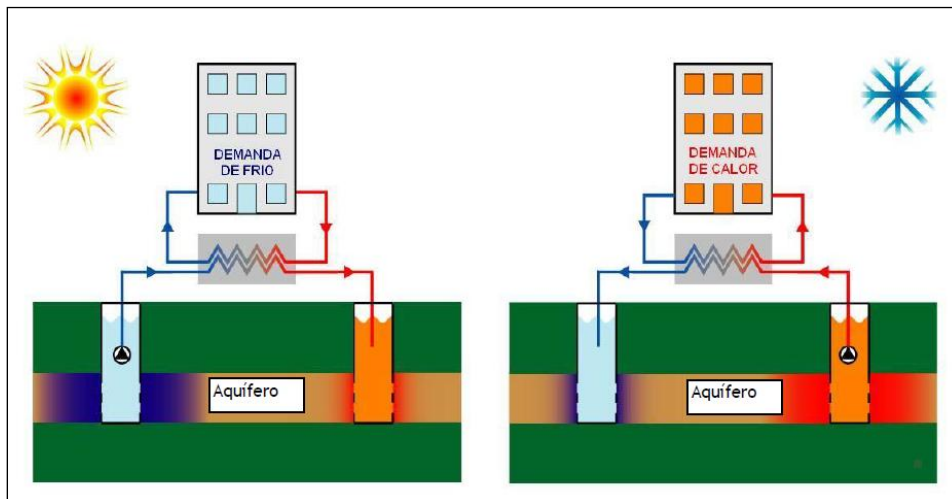
**Figura 2.25** - Esquema de captação horizontal (Cruz, 2013).

A captação vertical, apresentada na figura 2.26, é caracterizada pela execução de furos secos, com a profundidade definida mediante a área a que se destina a climatização, recorrendo-se a uma relação de 0,80 metros de profundidade por cada metro quadrado, sendo instalados coletores em circuito fechado no interior desses furos (Albuquerque, 2011). A rede de tubagens também pode ser introduzida em elementos estruturais. Este tipo de captação é normalmente o mais adotado, uma vez que utiliza uma área menor de terreno, os comprimentos dos tubos são menores, os custos de operação com o sistema de bombagem são mais reduzidos e as temperaturas do solo são bastante menos oscilantes (Cruz, 2013).



**Figura 2.26** - Esquema de captação vertical através de furo e estacas de fundação (Cruz, 2013).

A captação de água subterrânea em aquífero, presente na figura 2,27, é executada num furo profundo, normalmente com 50 metros, dependendo da localização, sendo o geocalor extraído da água que se preserva constante durante todo o ano, não sofrendo alterações com as condições climáticas à superfície. Este sistema bombeia a água partindo de um primeiro furo, e depois dessa transferência, lança a água para um segundo furo. Em relação às águas sanitárias, é possível realizar-se o seu pré-aquecimento pela instalação de permutadores, antecipando os tradicionais equipamentos de acumulação e aquecimento destas (Albuquerque, 2011).



**Figura 2.27** - Esquema de captação de água subterrânea com furo em aquífero com funcionamento no Verão e no Inverno (Albuquerque, 2011).

### 2.3.5. Impactos ambientais

No que diz respeito a questões ambientais, estas podem constituir-se como um fator relevante no desenvolvimento económico, social e demográfico da humanidade, nomeadamente quando se fala em sistemas utilizados na produção de energia elétrica. O desenvolvimento das sociedades nestes últimos séculos tem proporcionado graves problemas de carácter ambiental por todo o planeta, devidos a fatores evolutivos da demografia que se interliga a grandes índices de consumismo, assim como das constantes necessidades tecnológicas, podendo afirmar-se que a atividade humana apresenta consequências no ambiente, considerando uma relação bastante proporcional ao crescimento económico (Albuquerque, 2011).

Comparando com outras energias, a geotérmica pode ser assumida como uma energia renovável relativamente limpa, sendo bastante importante para o decréscimo relevante dos impactos negativos no meio ambiente, como é o exemplo da redução de emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

Assim, a energia geotérmica pode ser considerada como uma fonte energética bastante conveniente. Devido aos grandes índices de desperdícios quando o fluido geotérmico é transportado para destinos mais afastados mediante condutas especializadas, este tipo de energia deve ser imediatamente aproveitada o mais próximo possível do campo geotérmico, restringindo os impactos ambientais apenas às proximidades das fontes.

Existem no entanto algumas contraindicações que devem ser tomadas em conta. Em relação a grandes centrais de produção elétrica, podem ocorrer determinados problemas que serão apresentados de seguida (Freitas e Freitas, 2011). Em relação à poluição do ar, pode mencionar-se que normalmente todos os fluxos geotérmicos possuem gases dissolvidos, sendo os mesmos emitidos em conjunto com o vapor de água, acabando por ir para a atmosfera. Ao libertar o vapor de água e o CO<sub>2</sub>, os seus valores não se tornam significativos comparativamente à escala apropriada das centrais geotérmicas. No entanto, o cheiro desagradável e os efeitos corrosivos causam algumas preocupações, podendo mesmo ser nocivos à saúde. Falando na poluição da água, em consequência da mineralização dos fluidos geotérmicos e da exigência de disposição de fluidos gastos, existe a probabilidade de contaminação das águas existentes nas vizinhanças das centrais geotérmicas. Não se descarta a hipótese de encontrar arsénio, mercúrio ou mesmo boro em pequenas quantidades mas significativas em termos ambientais, verificando-se assim a possibilidade de contaminação dos meios aquáticos. Existe a possibilidade de ocorrer um abalo sísmico quando uma notável quantidade de fluido é retirada dos maciços, podendo originar problemáticos aluimentos de terra. No que diz respeito à poluição sonora, não se podem descartar os testes de perfuração das fontes, sendo estas operações potencialmente ruidosas. Existem silenciadores e abafadores de vapor com instalações possíveis e simples de aplicar, podendo também em muitos casos bloquear o caminho do som com recurso a estudos cuidadosos da topografia natural. No entanto, por norma as áreas geotérmicas localizam-se a alguma distância das áreas urbanas, ficando este tipo de problemas minimizados.

Apesar das centrais geotérmicas em produção de eletricidade rejeitarem por diversas vezes maior calor por unidade de uso comparando com outras centrais térmicas, como é o caso das centrais nucleares, a quantidade torna-se insignificante em escala absoluta, verificando-se a perda de calor para a atmosfera, mas considerando que as torres de resfriamento sejam meios de rejeição de calor gasto na central, diminuindo desta forma os impactos causados pela poluição térmica.

Existe ainda a possibilidade de acontecimentos catastróficos, sendo que os que provocariam maiores danos no ambiente seriam aqueles que se associam eventuais ruturas de tubagens, a falhas de equipamentos ou mesmo a indutância sísmica causada da falta de prática e técnica com os mesmos.

Por fim, em relação às situações de alta entalpia, resta referir que embora exista sempre algum impacto ambiental interligado às centras geotérmicas de produção de energia, eles são menos nefastos em relação aos associados às tecnologias de outras formas de gerar energia, nomeadamente a fósil e a nuclear. Apresentam assim uma pegada ecológica pequena, podendo operar de uma maneira livre de emissões de gases com efeito de estufa.

Em relação às instalações de baixa e muito baixa entalpia, descarta-se por completo qualquer tipo de emissão de gases, uma vez que os sistemas de transferência de calor acontecem em circuitos fechados. Na fase inicial dos trabalhos pode verificar-se algum grau de ruído, mas normalmente são períodos curtos. Em relação à sua exploração existe pouca probabilidade de ocorrerem situações perigosas, e refere-se ainda que essa exploração é de fácil manutenção (Albuquerque, 2011).

### **2.3.6. Limitações**

Embora os impactos ambientais negativos sejam pouco relevantes, é certo que existem limitações significativas no que diz respeito à exploração da energia geotérmica.

O campo geotérmico apresenta uma duração limitada, visto que o calor extraído pode diminuir, uma vez que as rochas são condutoras do calor mas de uma forma bastante lenta, pois a temperatura do magma não se extingue mas a sua transmissão às rochas permeáveis dá-se de uma forma bastante morosa (Cardoso, 1999).

Também a exploração da energia geotérmica calorífica fica condicionada ao local da sua extração, podendo tornar o transporte da mesma para grandes distâncias num processo pouco rentável mediante as perdas energéticas, uma vez que muitas das vezes os utilizadores deste tipo de energia ficam a uma grande distância destes recursos geotérmicos.

Por fim, mas não menos importante, não se pode de maneira nenhuma descartar a hipótese deste recurso cobrir somente uma pequena área do planeta, ficando muitos dos locais onde se manifesta bastante inacessíveis. Paralelamente, a grande parte, não oferece água subterrânea em abundância para possibilitar a sua aplicação nos projetos geotérmicos ou mesmo para a produção de energia elétrica.

# CAPÍTULO 3

## 3. A GEOTERMIA EM PORTUGAL

### 3.1. Introdução

A crise energética ocorrida no início dos anos 70 do século passado, interligada com a vontade de aproveitar os recursos geotérmicos no Arquipélago dos Açores para a produção de eletricidade, conduziu à definição do primeiro diploma legal relativo à geotermia (D.L., 1976), onde se estabelece o regime a que ficou sujeita a prospeção, pesquisa e exploração desses mesmos recursos, determinando a sua integração no domínio público do Estado (Lourenço *et al.*, 2010). No entanto assistiu-se a algumas evoluções em relação à temática da geotermia, incluindo em Portugal, de onde resultou legislação atualizada, Decreto-Lei nº 87/90 (D.L., 1990a) e Decreto-Lei nº 90/90 (D.L., 1990b), ambos de 16 de Março, onde se define os recursos geotérmicos como fluidos ou formações geológicas do subsolo que apresentam temperaturas elevadas, sendo o seu calor suscetível de aproveitamento. Entretanto o Decreto-Lei nº 90/90 foi recentemente substituído pelo Decreto-Lei nº 54/2015 (D.L., 2015) onde apresenta a definição de recursos geotérmicos na sua alínea o) do artigo 2 (Definições) como “os fluidos e as formações geológicas do subsolo, cuja temperatura é suscetível de aproveitamento económico”. São os Decretos-Lei nº 87/90 e o 54/2015 que incluem as tramitações e aspetos legais a seguir para se explorarem os recursos geotérmicos em Portugal.

Salienta-se ainda que a Portaria nº 865/2009, de 13 de Agosto (I.N., 2009), reconhece a relevância da energia geotérmica, principalmente em relação ao desenvolvimento de sistemas geotérmicos para a obtenção de eletricidade, com tecnologia emergente, como os sistemas HDR (Hot Dry Rock). Mais recentemente, a 31 de Dezembro de 2010, foi publicado o Decreto-Lei nº 141/2010 (D.L., 2010), vindo este definir metas para a produção de energia mediante as fontes renováveis e possibilitar aos utilizadores, instrumentos para avaliar a quantidade de energia originária de fontes renováveis na oferta energética de um certo fornecedor. De acordo com este último Decreto-Lei, a energia geotérmica captada por bombas de calor, pode ser considerada renovável se a energia final gerada exceder consideravelmente a energia primária empregue no funcionamento dessas mesmas bombas (Albuquerque, 2011).

A organização dos recursos geotérmicos, ou seu potencial, pode efetuar-se de acordo com o tipo de ocorrências: a existência de nascentes termais, aquíferos profundos, rochas secas e quentes e ainda aquíferos e terrenos secos à temperatura normal, dependendo também da sua entalpia.

Este capítulo pretende destacar a situação de Portugal, uma vez que sem o conhecimento dos seus recursos geotérmicos, torna-se impossível estudar, compreender e mesmo executar projetos que envolvam o subsolo. Desta forma, e devido à distinta geologia do território, constituído pelo Continente e pelas Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira, as utilizações da geotermia e o potencial geotérmico dessas regiões também difere, fazendo-se de seguida uma apresentação mais detalhada de algumas utilizações deste tipo de recursos.

## **3.2. Recursos Geotérmicos em Portugal Continental**

### **3.2.1. Elementos hidrogeológicos**

Como se apresentou no item anterior um dos modos de analisar o potencial do recursos geotérmicos é função do tipo de ocorrência e naturalmente que os aspetos geológicos e hidrogeológicos são absolutamente fundamentais nesse sentido. Assim neste item apresentam-se os principais aspetos ou unidades geológicas e hidrogeológicas de Portugal Continental.

Os estudos baseados na geologia e na hidrogeologia, devem-se iniciar com o adequado conhecimento das ocorrências do país. Portugal está dividido em quatro zonas relevantes, sendo elas o Maciço Antigo, a Orla Ocidental, a Bacia Tejo-Sado e a Orla Meridional, como se pode observar na figura 3.1.

O Maciço Antigo localiza-se em grande parte do território português, norte a sul, excluindo grande parte do litoral, sendo fundamentalmente constituído por rochas cristalinas, ígneas e metamórficas bastante fraturadas, apresentando ainda pontualmente formações sedimentares de origem continental (Pires, 2014).

A Orla Meridional ocupa a costa algarvia na sua totalidade e é constituída por formações plioquaternárias (areias e cascalheiras continentais e areias de duna), formações miocénicas (fundamentalmente de fácies marinhas), formações detríticas e carbonatadas cretácicas e ainda formações calcárias e dolomíticas do Jurássico (Pires, 2014).

A Orla Ocidental encontra-se situada na zona litoral do país entre Aveiro e Setúbal, sendo constituída por rochas detríticas, terciárias e quaternárias (areias, areias de duna, terraços e aluviões), arenitos, calcários cretácicos e ainda calcários do Jurássico (Pires, 2014).

A Bacia Tejo-Sado localiza-se no distrito de Lisboa entre a Orla Ocidental e o Maciço Antigo, sendo fundamentalmente constituída por formações quaternárias (aluviões e terraços), e por formações terciárias, nomeadamente pliocénicas e miocénicas (grés de ota, calcários de Almoester e serie greso-calcária) (Pires, 2014).



Salienta-se que a figura 3.1 apresenta ainda os principais sistemas aquíferos de Portugal Continental. Estes apresentam água subterrânea comum e à partida na maioria das situações sem interesse sobre o ponto de vista geotérmico. De qualquer modo o conhecimento dos mesmos e da qualidade química das suas águas são fundamentais para se identificarem os locais de nascentes termais que são pontuais e claramente distintos e diferentes na composição química em relação às águas subterrâneas comuns.

### 3.2.2. Nascentes termais

Em Portugal Continental ocorrem diversas nascentes termais localizadas em diversos tipos litológicos, tanto no Maciço Antigo como nas faixas sedimentares Ocidental e Meridional, salientando-se a sua ligação à existência de complexos termais.

O IGM (1999) identificou 52 ocorrências com temperatura superior a 20°C no nosso país, entre as quais a grande maioria surge em nascentes termais, sendo a sua localização associada à temperatura na boca de captação detalhada na figura 3.2 e na tabela 3.1.

Em Chaves assiste-se à temperatura mais elevada de 76°C, existindo 17 ocorrências com temperatura superior a 35°C.

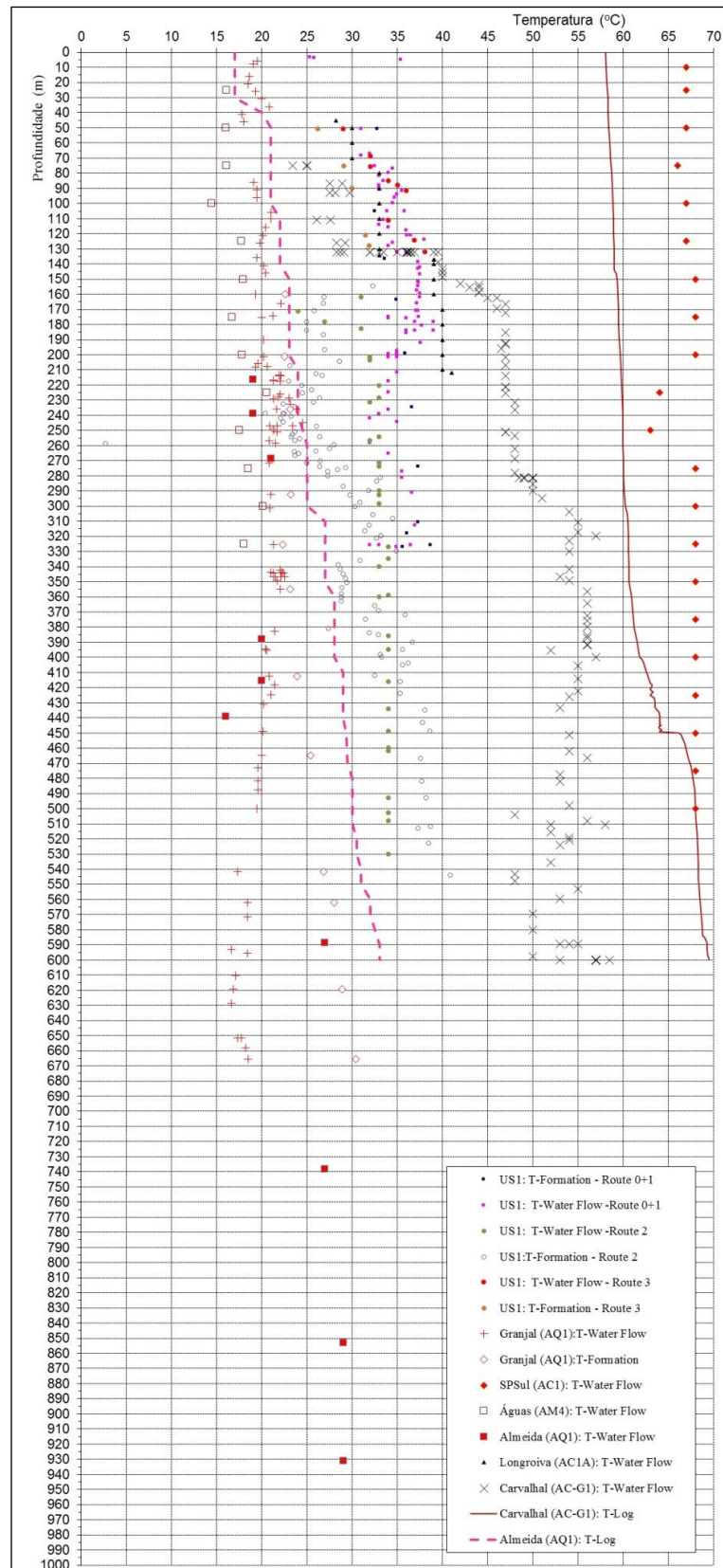
A necessidade de novas energias e em particular da geotermia, associada às novas tendências do turismo de saúde ligadas ao termalismo tem levado estes últimos anos a novas prospeções hidrogeológicas no sentido de se obter água subterrânea quente de modo a reforçar os caudais para as termas, mas também de forma a que se possa usufruir da temperatura destas águas para viabilizar a abertura dos balneários todo ano com a climatização dos edifícios e o aquecimento das águas sanitárias a partir de sistemas geotérmicos. Exemplos nesse sentido são os resultados apresentados por Ferreira Gomes *et al.* (2015) como se pode observar na figura 3.3, onde se mostra o resultado de prospeções que foram quase a 1000 m de profundidade como no caso das Termas de Almeida, a outras situações como o caso de furo de 600m nas Termas do Carvalhal que permitiu atingir resultados mais positivos. Este último furo permite obter um caudal de 15 L/s a uma temperatura à boca de captação de 60°C; os resultados detalhados desse furo foram apresentados em Ferreira Gomes (2007c) e em Ferreira Gomes *et al.* (2007). Na figura 3.4 podem ser observadas as características mais relevantes do referido furo, salientando-se que na zona mais profunda atingiu uma temperatura de 69,5°C.



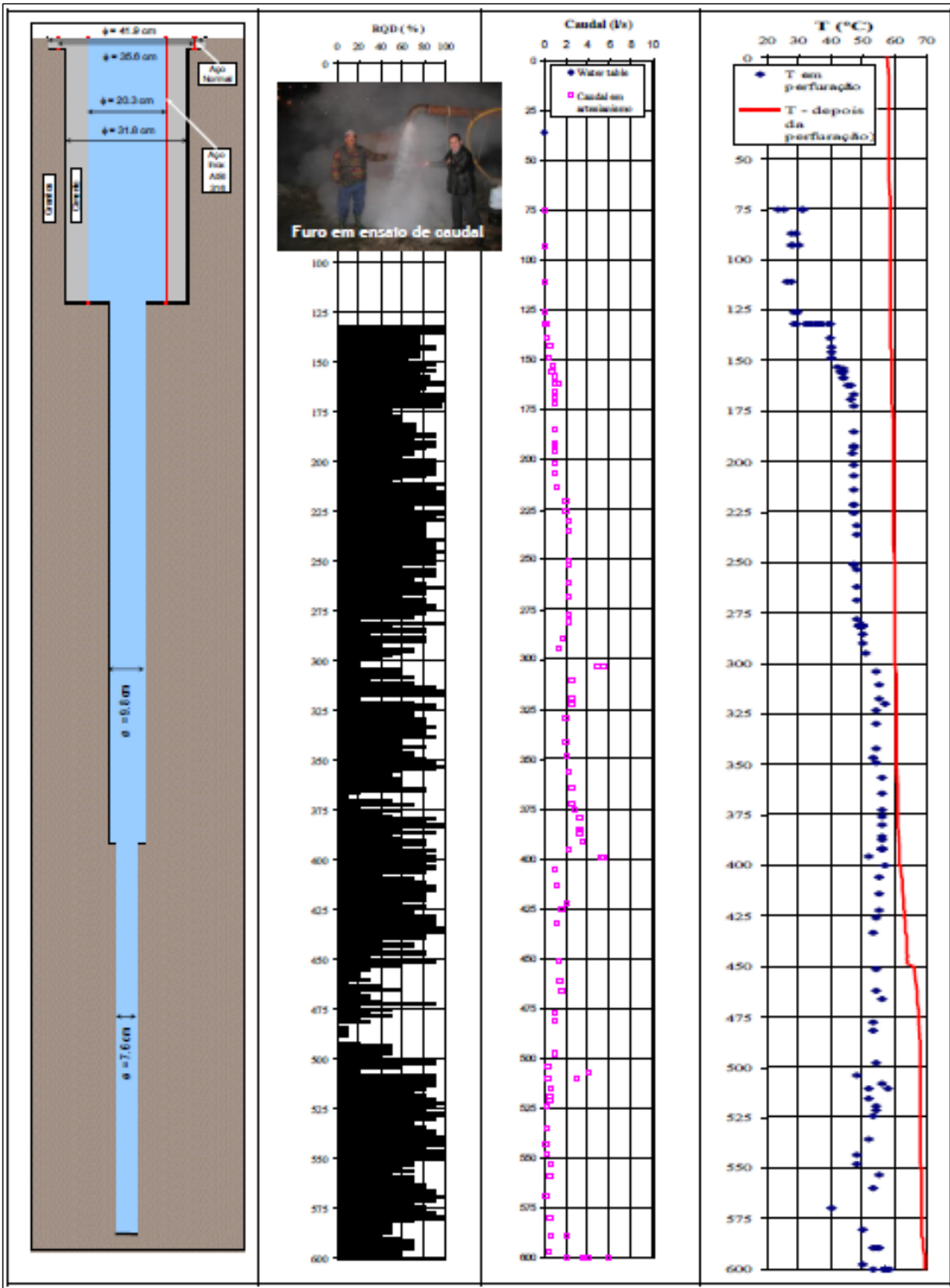
Figura 3.2 - Localização das ocorrências de águas termais em território nacional, com temperatura superior a 20°C (IGM, 1999).

**Tabela 3.1-** Ocorrências de águas termais inventariadas pelo IGM com temperatura superior a 20°C (IGM, 1999).

<b>Emergência</b>	<b>Localização</b>	<b>Temperatura máxima (°C)</b>	<b>Características</b>
1	Monção	50	H <sub>2</sub> S, HCO <sub>3</sub> , Na, F
2	Chaves	76	CO <sub>2</sub> , HCO <sub>3</sub> , Na, F
3	Gerês	47	S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , HCO <sub>3</sub> , Na, F
4	Carvalhelhos	22	HCO <sub>3</sub> , Na, F
5	Caldelas	33	HCO <sub>3</sub> , Ca, F
6	Eirogo	25	H <sub>2</sub> S, HCO <sub>3</sub> , Na, F, Cl
7	Taipas	32	H <sub>2</sub> S, HCO <sub>3</sub> , Na, F
8	S. Miguel das Aves	22	H <sub>2</sub> S, HCO <sub>3</sub> , Na
9	Vizela	62	H <sub>2</sub> S, HCO <sub>3</sub> , Na, F
10	Caldinhas	30	H <sub>2</sub> S, Cl, Na, F
11	Carião	29	H <sub>2</sub> S, HCO <sub>3</sub> , Na, F
12	S. Loureço	30	H <sub>2</sub> S, HCO <sub>3</sub> , Na, K
13	Canavezes	35	H <sub>2</sub> S, HCO <sub>3</sub> , Na, F
14	Moledo	45	H <sub>2</sub> S, HCO <sub>3</sub> , Na, F
15	Fonte Sta. Do Seixo	21	H <sub>2</sub> S, HCO <sub>3</sub> , Na
16	Aregos	62	H <sub>2</sub> S, HCO <sub>3</sub> , Na, F
17	Longroiva	34	H <sub>2</sub> S, HCO <sub>3</sub> , Na
18	S. Jorge	23	H <sub>2</sub> S, Cl, Na
19	Carvalhal	60	H <sub>2</sub> S, HCO <sub>3</sub> , Na, F
20	Cavaca	29	H <sub>2</sub> S, HCO <sub>3</sub> , Na, F
21	S. Pedro do Sul	69	H <sub>2</sub> S, HCO <sub>3</sub> , Na, F
22	Alcafache	51	H <sub>2</sub> S, HCO <sub>3</sub> , Na, F
23	Sangemil	50	H <sub>2</sub> S, HCO <sub>3</sub> , Na, F
24	Cró	23	H <sub>2</sub> S, HCO <sub>3</sub> , Na
25	Felgueira	36	H <sub>2</sub> S, HCO <sub>3</sub> , Na, F
26	Manteigas	48	H <sub>2</sub> S, HCO <sub>3</sub> , Na, F
27	Luso	27	SiO <sub>2</sub> , Cl, Na, F
28	S. Paulo	23	H <sub>2</sub> S, HCO <sub>3</sub> , Na
29	Unhais da Serra	37	H <sub>2</sub> S, HCO <sub>3</sub> , Na
30	Amieira	27	Cl, Ca, Na
31	Bicanho	28	Cl, Ca, Na, Mg
32	Azenha	29	Cl, Na
33	Monfortinho	28	SiO <sub>2</sub> , Cl, Na, F
34	Fonte Quente	24	HCO <sub>3</sub> , Na, Cl
35	Salgadas	23	Cl, Na
36	Envendos	22	SiO <sub>2</sub> , Cl, Na, F
37	Piedade	27	HCO <sub>3</sub> , Na, Cl
38	Salir	20	Cl, Na
39	Caldas da Rainha	36	H <sub>2</sub> S, Cl, SO <sub>4</sub>
40	Arrábidos (Gaeiras)	29	H <sub>2</sub> S, Cl, Na
41	Vimeiro	26	HCO <sub>3</sub> , Na, Cl
42	Cucos	40	Cl, Na, F
43	Alçaçarias	30	Cl, Na
44	Hosp. Força Aérea	50	HCO <sub>3</sub> , Ca, Mg
45	Oeiras - S.S.F.A.	30	HCO <sub>3</sub> , Na
46	Estoril	35	Cl, Na
47	Santa Comba	22	HCO <sub>3</sub> , Ca
48	Malhada Quente	28	HCO <sub>3</sub> , Na, SO <sub>4</sub>
49	Alferce	27	HCO <sub>3</sub> , Na
50	Monchique	32	H <sub>2</sub> S, Cl, SO <sub>4</sub>
51	Santo António	25	HCO <sub>3</sub> , Ca
52	Fte. Sta. Quarteira	21	HCO <sub>3</sub> , Na, Ca



**Figura 3.3** - Resultados de prospeções hidrogeológicas e geotérmicas recentes em Portugal Continental: US - Unhais da Serra (em vários troços, pois o furo em profundidade desenvolve-se em três troços); Granjal - Termas de Granjal - Santa Comba Dão; SPSul - Termas de São Pedro do Sul; Águas - Termas da freguesia de Águas, Penamacor; Almeida- Termas de Almeida; Longroiva - Termas de Longroiva (Mêda); e Carvalhal - Termas de Carvalhal - Castro Daire (Ferreira Gomes *et al.*, 2015).



**Figura 3.4** - Exemplo de furo recente, na zona central do plutonito da região de Castro Daire (Viseu) com o objetivo de obter água termal (a partir de Ferreira Gomes *et. al.*, 2007). Nota: o furo foi realizado à rotopercussão da superfície até 132 m e daí para baixo em rotação com carotagem.

Em Portugal, nos últimos anos, é possível observar o crescente interesse na elaboração de estudos e projetos que visam o aproveitamento deste tipo de energia para usos diretos, como é o caso não só do aquecimento dos próprios complexos termais, mas também das unidades hoteleiras associadas, das piscinas e de estufas agrícolas (Albuquerque, 2011).

De acordo com os resultados oficiais mais recentes, no ano de 2015, existem cinco concessões de recursos geotérmicos em Portugal Continental sendo elas (tabela 3.2): Termas de Chaves, Termas de S. Pedro do Sul, Termas de Alcaface (S. João da Lourosa, Viseu), Termas de Longroiva e Termas de Vizela. Entretanto, outras termas com água mineral e quente tem feito alguns esforços no sentido de operacionalizar seus sistemas e os legalizar como geotérmicos, é o caso das Caldas de Monção e Caldas de Aregos (figura 3.5).

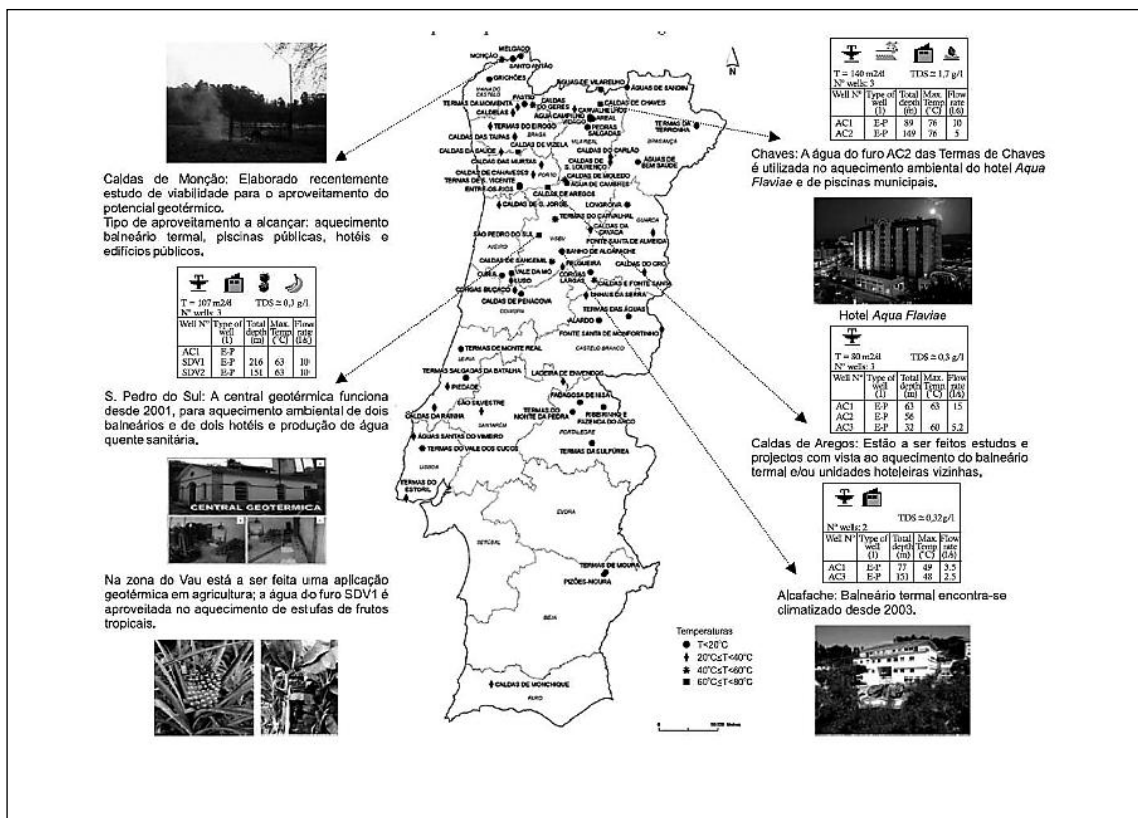


Figura 3.5 - Aproveitamentos geotérmicos em Portugal Continental, em 2010 (Lourenço *et al.*, 2010).

**Tabela 3.2** - Aproveitamentos geotérmicos em Portugal de baixa entalpia em 2015 (a partir de DGEG, 2015).

Distrito	Concelho	Freguesia	Quimismo da água	Captações	Temperatura água à saída da Captação (°C)	Energia disponível (Kcal)*10 <sup>5</sup>	Energia Aproveitada (Kcal)*10 <sup>5</sup>	Coef. Utilização (%)	Utilização do Fluido Geotérmico
Vila Real	Chaves	Sta. Maria Maior	Bicarbonatada Gasocarbónica	AC1 AC2	76 70	26 963 280	6 296 918	23,35	Aquecimento ambiental e Produção de água quente das seguintes infraestruturas com recurso a permutador: - Hotel Aqua Flaviae - Piscina Municipal (AC2) - Balneário Termal - Hotel Jaime e no Termalismo em balneoterapia
Viseu	São Pedro do Sul	Várzea	Sulfúrea	SDV1 AC1 + Nascente Tradicional	67	31 813 517	3 867 435	12,16	<b>Polo das Termas</b> Aquecimento ambiental e de águas sanitárias (AQS) com recurso a permutadores (aproveitamento em cascata): - Hotel do Parque - Hotel Vila do Banho Aquecimento Ambiental com recurso a permutador (aproveitamento em cascata): - Balneário Rainha D. Amélia - Balneário D. Afonso Henriques (Centro Termal) <b>Polo do Vau</b> Aquecimento ambiental sem recurso a permutador - utilização direta: - Estufas (Frutos tropicais)
Viseu	Viseu	S. João de Lourosa	Sulfúrea	AC01 AC02	51	5 476 606	2 726 680	49,79	Aquecimento ambiental do Balneário Termal: Climatização, Piso radiante + camas aquecidas
Guarda	Meda	Longroiva	Sulfúrea	AC1-A	47	5 817 692	1 614 249	27,75	Aquecimento ambiental do Balneário Termal e da Piscina e corredor de marcha.* Produção de água quente para Balneário Termal (utilização direta). *com recurso a permutador
Braga	Vizela	S.João e S. Miguel	Sulfúrea	AC2 GO/01 GO-AP Lameiras 2	49,7 46 43,5 48	4 538 711	660 417	14,55	Aquecimento ambiental do balneário e do edifício central. Aquecimento de água para banhos. Aquecimento da piscina exterior
<b>TOTAL:</b>							<b>15 165 699</b>		

Um bom exemplo de uso de geotermia em parceria com o termalismo é o caso de São Pedro do Sul, onde a água subterrânea naturalmente quente está legalizada como dois recursos: i) água mineral com aplicações em termalismo, e ii) recurso geotérmico com aplicações em climatização de edifícios, estufas e aquecimento de águas sanitárias. Aquele espaço, segundo Ferreira Gomes e Albuquerque (2015) é designado por Campo Hidromineral e Geotérmico de S. Pedro do Sul (CHGSPS), situado entre S. Pedro do Sul e Vouzela, na região centro-interior de Portugal, ocupa uma área total de 1137 ha e tem dois setores produtivos: o Pólo das Termas e o Pólo do Vau. O Pólo das Termas é usado em várias aplicações: termalismo, produção de produtos cosméticos e também em aproveitamentos geotérmicos quer em aquecimento do interior de edifícios quer ainda no aquecimento das águas sanitárias. O Pólo do Vau é usado apenas na climatização de estufas com produção de frutos tropicais. Elementos sobre os vários aproveitamentos geotérmicos no CHGSPS foram apresentados em vários trabalhos, merecendo referência Ferreira Gomes (1997, 1998, 2007, 2014), Albuquerque (2011) e Albuquerque *et al.* (2013).

O uso da geotermia oficialmente em São Pedro do Sul verificou-se a partir de 1998 no Pólo do Vau, com o aquecimento de estufas para produção de frutos tropicais, como a banana e o

ananás (Ferreira Gomes e Albuquerque, 2015); a imagem da figura 3.6 mostra as estufas do Polo do Vau com o aproveitamento dos frutos tropicas.



**Figura 3.6** - Imagens das estufas do Pólo do Vau do CHGSPS, com aproveitamento geotérmico oficial, junto ao IGM (representado pela atual DGEG), desde 1998, em produção de frutos tropicais (Ferreira Gomes e Albuquerque, 2015).

O uso da geotermia no Pólo das Termas segundo Ferreira Gomes e Albuquerque (2015) verificou-se oficialmente em 2001, com o aquecimento de algumas unidades hoteleiras e das suas águas sanitárias. A figura 3.7 apresenta um esquema de princípio do referido aproveitamento. Genericamente este baseava-se na captação do calor da água mineral quente (inicialmente a 67°C) para um fluido constituído por água normal, a partir de um permutador água/água (PP1a) no interior de um espaço fechado designado por Central Geotérmica. A Central Geotérmica, de entre vários equipamentos, inclui um coletor de ida e outro coletor de retorno, para se fazer a distribuição de geocalor (energia calorífica contabilizada em kW/h) para os vários consumidores, a partir da circulação de água normal aquecida, em circuito fechado. Aquele fluido, água normal quente, numa primeira fase possibilita o aquecimento ambiental dos edifícios com base num permutador (PP2) e no seguimento, numa segunda fase, esta a água normal, já menos quente, mas ainda com temperatura frequentemente suficiente, possibilita o aquecimento de água da rede com base em outro permutador (PP3), para assim ser usada como água sanitária. A Fig.3.8 apresenta uma imagem real do exterior da caseta que constitui a Central Geotérmica e uma imagem virtual do seu interior, onde se discrimina o principal permutador e os coletores. A figura 3.9 apresenta uma imagem real do interior da Central Geotérmica e ainda uma foto detalhada do permutador PP1a, que é um dos elementos principais no processo dado que é este permutador de placas que transfere o calor da água mineral do Furo AC1 para o fluido primário que vai aos hotéis, de modo a que estes efetuem o aquecimento do seu ambiente e das suas águas sanitárias.

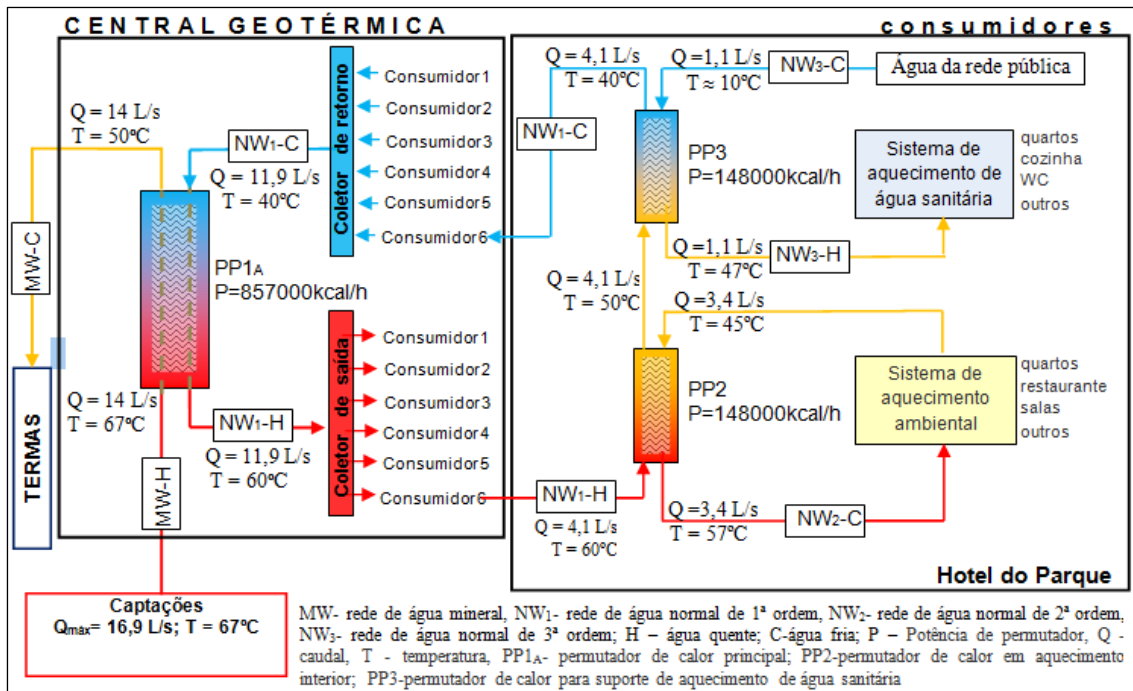


Figura 3.7- Esquema de princípio dos sistemas exploração/produção de energia geotérmica no Pólo das Termas do CHGSPS (Ferreira Gomes e Albuquerque, 2015).

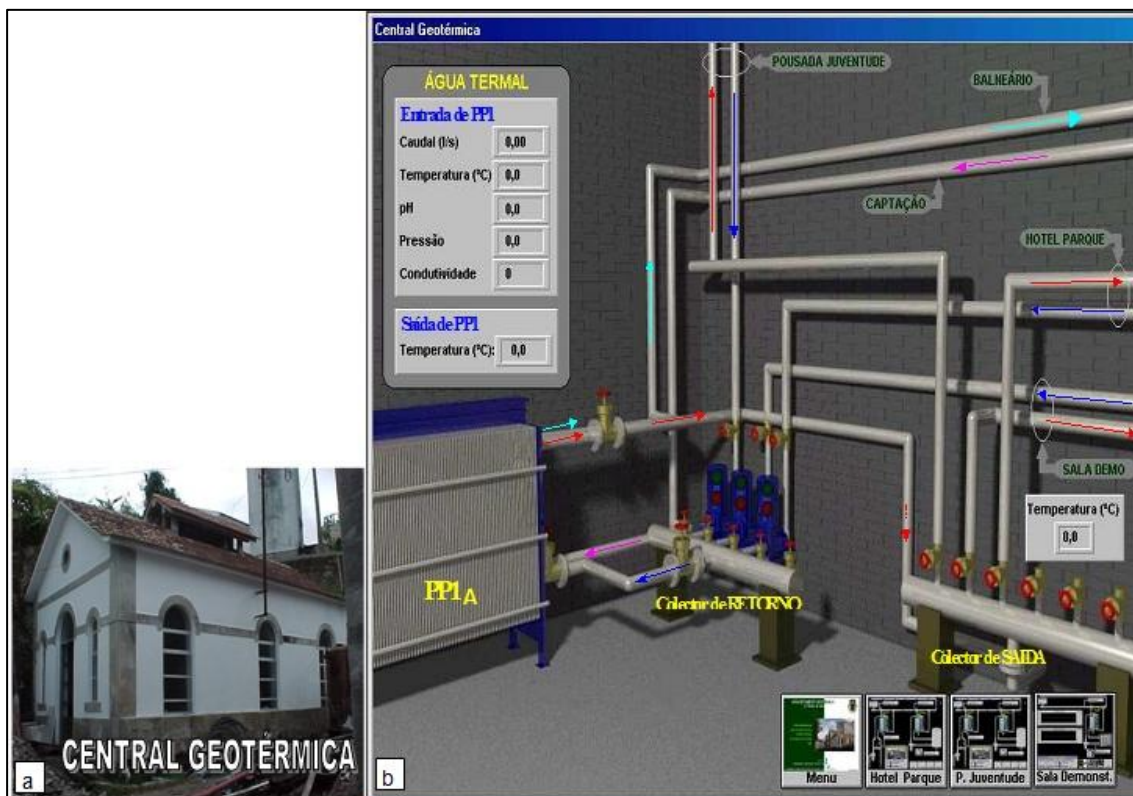


Figura 3.8 - Imagem real da Central Geotérmica (a) e do seu interior em imagem virtual, associada ao sistema de controlo e monitorização de todos os processos geotérmicos (b), no Pólo das Termas do CHGSPS (Ferreira Gomes e Albuquerque, 2015).



**Figura 3.9** - Fotografia do interior da Central Geotérmica (i) e detalhe do principal permutador PP1a (ii), do Campo Hidromineral e Geotérmico de S. Pedro do Sul.

Sobre a energia disponível no CHGSPS segundo Ferreira Gomes e Albuquerque (2015), considerando os planos de exploração em vigor com a capacidade de produção de água quente a 67°C, com 1,5 L/s e 16,9 L/s, respetivamente no Pólo do Vau e no Pólo das Termas, e considerando a possibilidade de retirar a carga térmica do fluido água mineral, até à temperatura de 20°C, obtém-se como energia disponível de 2585683,9 kWh/ano para o Pólo do Vau e 29132039,1 kWh/ano para o Pólo das Termas. Salienta-se que o Pólo do Vau, distanciado cerca de 1,3 km do Pólo das Termas, tem potencial semelhante a este, sem interferência um no outro, sendo uma questão de fazer captações adequadas para exploração de água mineral quente em caudal de ordem de grandeza ao explorado no Pólo das Termas.

### 3.2.3. Aquíferos profundos

O aparecimento de águas termais descarregadas de forma natural nas Orlas Meridional e Ocidental orienta para a existência de aquíferos profundos que possivelmente apresentam um potencial geotérmico bastante relevante, que no entanto ainda não se conhece (Martins de Carvalho e Carvalho, 2004). As decorrentes sondagens petrolíferas têm trazido importantes informações acerca da distribuição dos gradientes geotérmicos típicos dessas áreas.

Do mapa representado na figura 3.10 é possível retirar a noção genérica sobre a grandeza das temperaturas esperadas em profundidade, nomeadamente na zona das orlas referidas. Desta forma, em geral, pode constatar-se que a 1500 metros de profundidade, as temperaturas aproximam-se dos 50°C atribuídos a gradientes geotérmicos na ordem dos 2,1°C por cada 100 metros, sendo que esses mesmos gradientes chegam a ultrapassar os 3,5°C por cada 100 metros no seu limite máximo (Martins de Carvalho e Carvalho, 2004).

Na Península de Setúbal verifica-se uma das grandes anomalias geotérmicas, sendo considerada uma das mais importantes de Portugal Continental. Constata-se a existência de aquíferos relevantes, com um certo reconhecimento desde o Mio-Pliocénico até, pelo menos, ao Aptiano-Albiano. Refere-se que é de esperar temperaturas de 75°C a profundidades de aproximadamente 2800 metros em toda a região de Lisboa, uma vez que no Barreiro foi realizada uma sondagem que comprovou a existência de aquíferos saturados com águas constituídas por 5 gramas por litro de cloretos e com temperaturas nessa ordem de grandeza, relativamente à profundidade referida (Albuquerque, 2011). Na figura 3.11 é possível observar a situação acabada de referir.

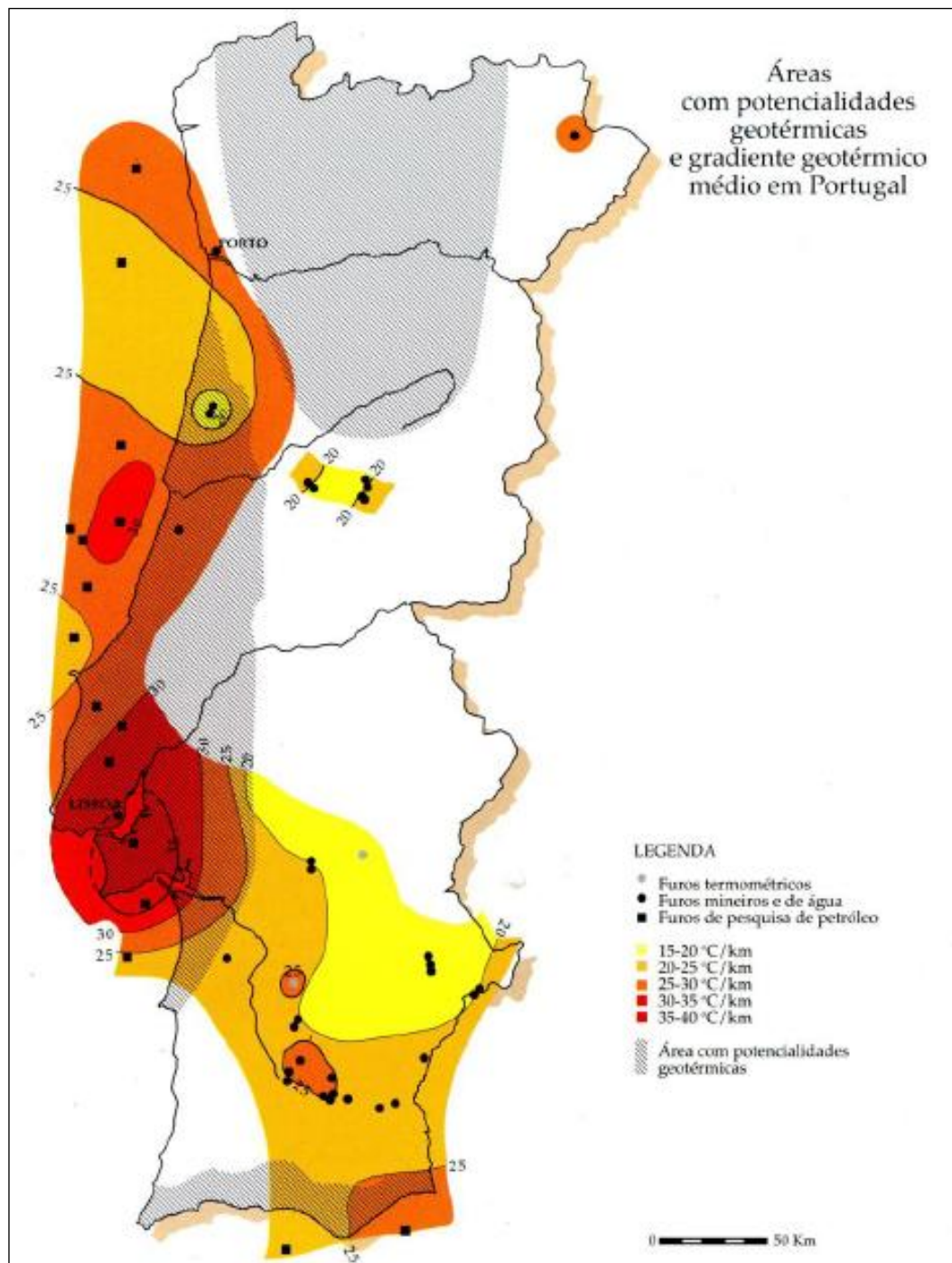
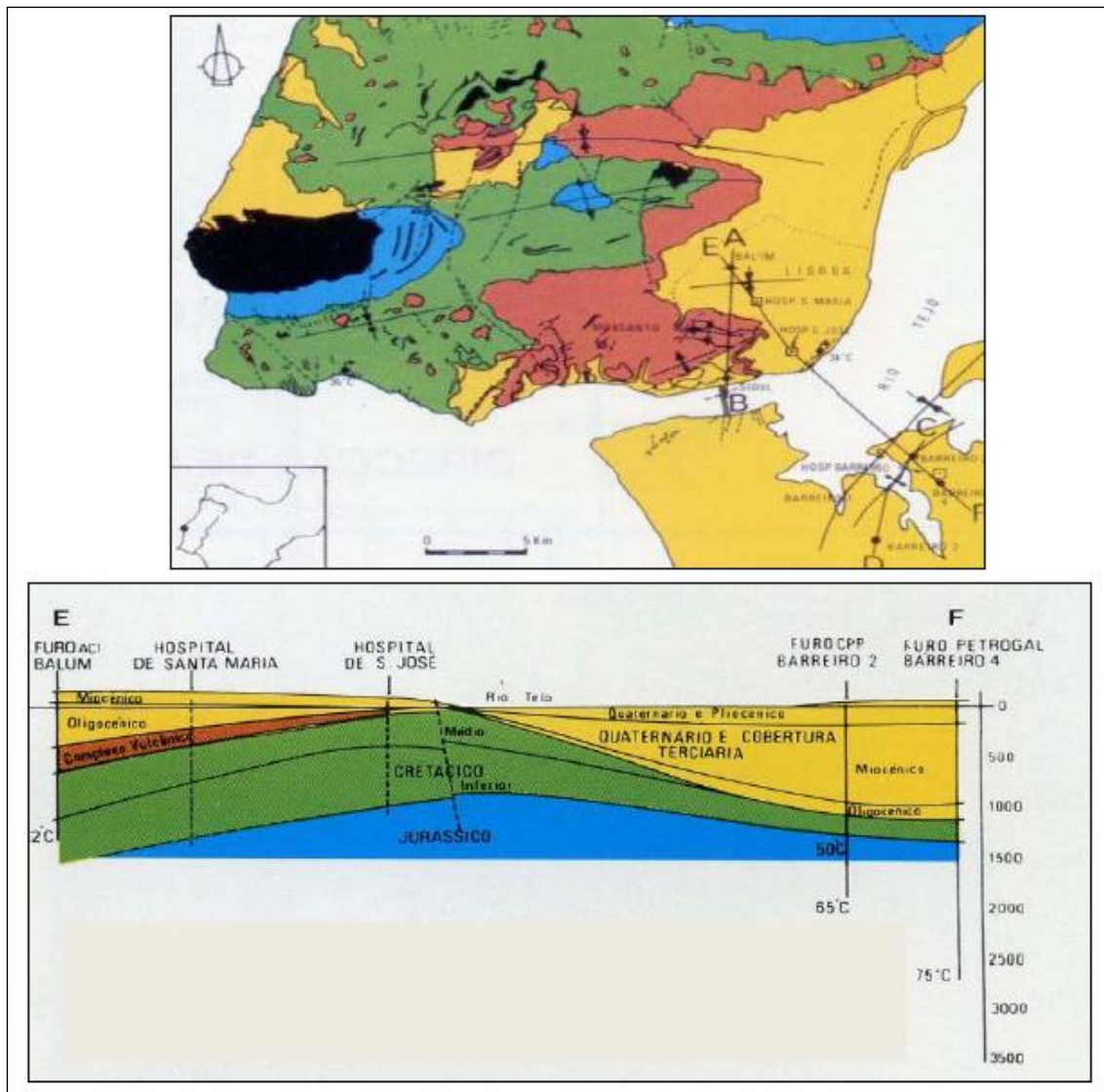


Figura 3.10- Áreas com potencial geotérmico em profundidade (IGM, 1998).



**Figura 3.11** - Carta Geológica da região de Lisboa e respetivo corte geológico-geotérmico (Martins de Carvalho e Nunes, 2010).

### 3.2.4. Aquíferos muito profundos e rochas secas em maciços cristalinos

Neste grupo de aproveitamentos, inserem-se os sistemas HDR e o objetivo dos mesmos prende-se na obtenção de calor geotérmico a partir de rochas cristalinas a profundidades compreendidas entre os 4 e os 5 km, sendo para isso programado um sistema de troca realizada de uma forma artificial através de fracturação hidráulica. A sua aplicação pode ser bastante complicada, se não resultar de imediato a interseção do recurso na realização das perfurações, e ainda a verificação de que a fracturação do maciço é favorável, de modo que a injeção de água fria no mesmo seja facilitada por meio de um furo e a recuperação dessa água, agora já aquecida, através de outro furo, ambos em contacto através da fracturação do maciço. O adequado estudo da localização é também necessário para tornar menores os custos de investimento muitas das vezes elevados, proporcionados pelas sondagens profundas,

com o objetivo de que estes possam ser equilibrados com a exploração do recurso com algum grau de potencial, devido à sua grande disponibilidade e os seus baixos custos de operação (Albuquerque, 2011).

Devido à constatação deste tipo de potencial no país, a vários investigadores privados foram atribuídos direitos de prospeção e estudo dos recursos geotérmicos, no total de 5 áreas perfazendo um somatório de 2 851, 288 km<sup>2</sup>, onde ocorrem trabalhos com algum grau de detalhe, com os quais se aguarda que revelem a existência de reservatórios, para possibilitarem a geração de eletricidade de uma fonte renovável (Albuquerque, 2011). Algumas das áreas em questão estão localizadas em áreas de granitoides, fundamentalmente nos concelhos de Carregal do Sal, Mangualde, Nelas e Santa Comba Dão, todos eles no distrito de Viseu, merecendo alguma relevância a licença exclusiva, dada à Geoinvita, pela Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG), com o objetivo de explorar a energia em causa, numa área de 500 km<sup>2</sup> na região interior do país, mais precisamente nas Beiras (Albuquerque, 2011). Entretanto com a mudança sucessiva de governos em Portugal, tanto quanto se sabe, estes projetos da Geoinvita estão aparentemente parados.

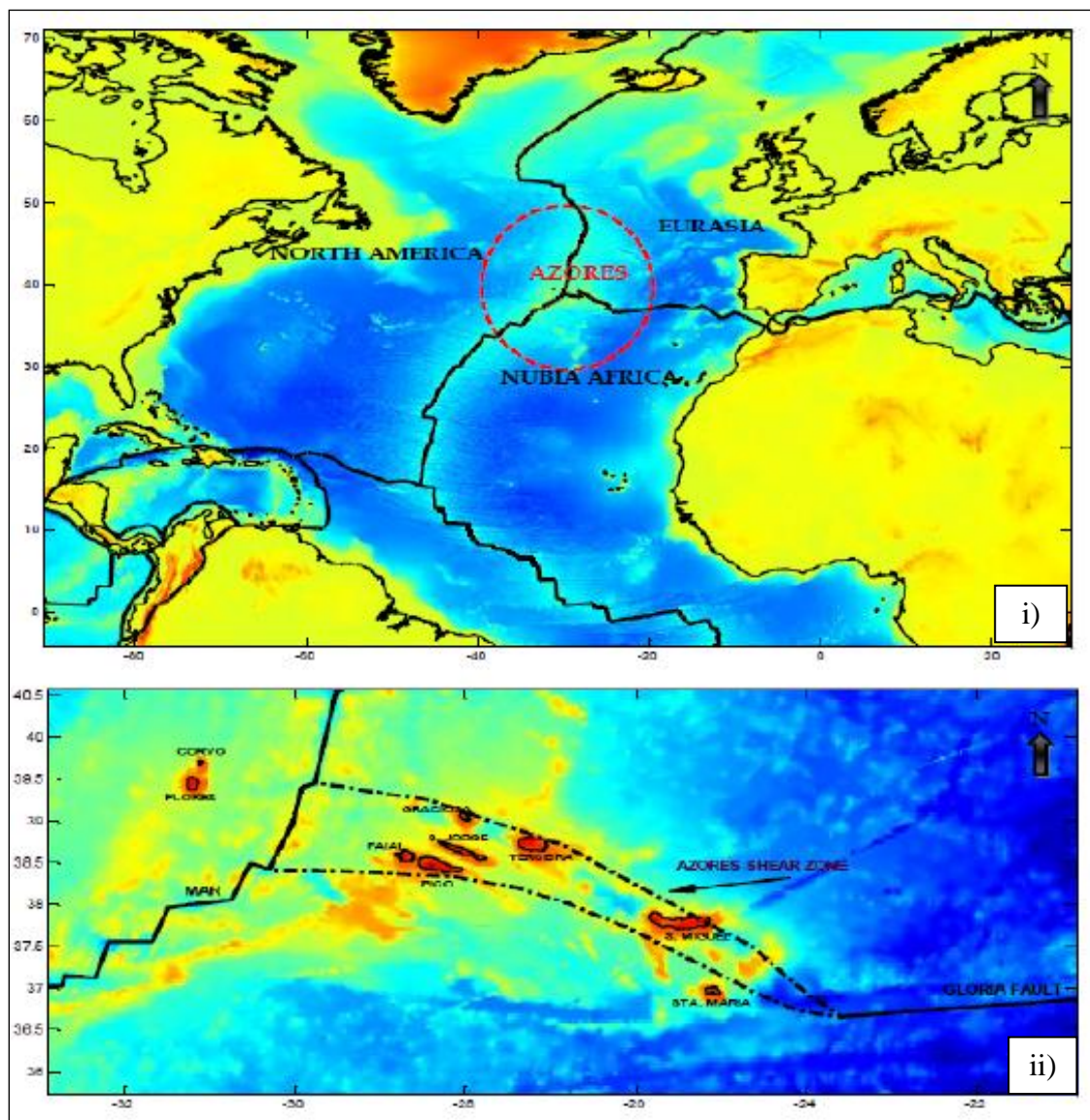
### **3.2.5. Aquíferos e formações geológicas secas à temperatura normal**

Neste tipo de formações, o geocalor é aproveitado através dos sistemas de bombas de calor geotérmico (BCG), sendo este método bastante usual em diversos países do mundo, como se referiu anteriormente, e em Portugal, há aproximadamente uma década, várias empresas por todo o país têm vindo a implementar estes sistemas, uma vez que as vulgares empresas de sistema de climatização de edifícios e aquecimento das águas sanitárias, estão a adaptar-se a esta nova tecnologia de uma forma bastante fácil e eficaz (Albuquerque, 2011).

No entanto, não existem dados estatísticos concisos acerca deste tipo de utilizações, uma vez que o uso de recursos geotérmicos que apresentam temperaturas abaixo dos 20°C ainda não é reconhecido superiormente como tal, não sendo sujeito a inventariação ou mesmo certificação, como acontece com a geotermia de baixa e muito alta, junto à DGEG (Albuquerque, 2011). Foi realizado em 2013, no LNEG, o 1º Seminário da Plataforma Portuguesa de Geotermia Superficial (PPGS) no sentido em especial, de entre outros, se criar um grupo de trabalho para produzir uma proposta de legislação neste setor da geotermia de muito baixa (inferior a 20°C) e em especial sobre as aplicações de bombas de calor geotérmico (BCG), tendo mesmo referido Lourenço (2013) da necessidade de se proceder ao enquadramento jurídico desta atividade. Alguns esquemas de princípio sobre aplicações de BCG foram apresentadas no item 2.4.4.2.

### 3.3. Recursos Geotérmicos no Arquipélago dos Açores

No arquipélago dos Açores, certas ilhas dispõem de condições bastante favoráveis no que diz respeito ao aproveitamento dos recursos geotérmicos, em grande parte devido às suas condições geológicas e tectónicas, uma vez que se situam num local onde se encontram três placas tectónicas, sendo elas a Eurásia, a Núbia e a Norte Americana, visíveis na figura 3.12 onde existe a ocorrência de rochas vulcânicas recentes, relacionadas também com algumas fraturas bastante grandes, as quais possibilitam os aproveitamentos em questão (Rocha, 2011).



**Figura 3.12** - Enquadramento dos Açores no âmbito da tectónica de placas, no denominado ponto triplo onde confluem as placas da Eurásia, da Núbia e Norte Americana (i) e detalhe da relação das várias ilhas com a zona de cisalhamento dos Açores (ii) (Trota, 2009).

Neste arquipélago, existem utilizações da geotermia na gama da alta e da baixa entalpia. Em relação às aplicações diretas, somente quatro ilhas possuem complexos termais ou projetos para termas, nomeadamente em São Miguel, na Terceira, no Faial e na Graciosa (Rocha, 2011).

Em relação à energia geotérmica de alta entalpia, apenas na ilha de São Miguel, mais propriamente no Pico Vermelho e na Ribeira Grande, existem centrais geotérmicas, mas no entanto já existem pesquisas para gerar eletricidade mediante a geotermia na Terceira, no Faial, em São Jorge, no Pico e na Graciosa (Rocha, 2011).

Salienta-se ainda que na ilha de São Miguel, as zonas que apresentam maiores potenciais estão relacionadas com os três complexos vulcânicos principais, sendo eles o Vulcão das Furnas, o Vulcão do Fogo e o Vulcão das Sete Cidades. O Vulcão do Fogo, sendo o mais recente, apresenta utilizações no domínio da alta e da baixa entalpia, e é neste complexo vulcânico que se localizam as duas centrais geotérmicas em funções, existindo também nesse local as termas das Caldeiras da Ribeira Grande e a área geotérmica da Caldeira Velha. O Vulcão das Furnas localiza-se numa grande área geotérmica, com fumarolas, águas termais, zonas balneares, e no complexo das Sete Cidades, localizam-se as termas da Ferreira, com a sua baía natural (Albuquerque, 2011).

É digno de enfatizar o avanço do uso da geotermia nos Açores no domínio da produção de eletricidade. A figura 3.13 apresenta um esquema de princípio sobre aquele tipo de utilização. Para se ter noção do avanço da geotermia naquela zona, apresenta-se a figura 3.14 que mostra a evolução detalhada da produção de eletricidade a partir da geotermia diariamente, sendo de salientar que 52% da eletricidade daquela ilha foi produzida a partir daquela origem. Alguns elementos com algum desenvolvimento sobre a geotermia dos Açores podem observar-se em Albuquerque (2011), Rocha (2011) e Bicudo da Ponte (2016).

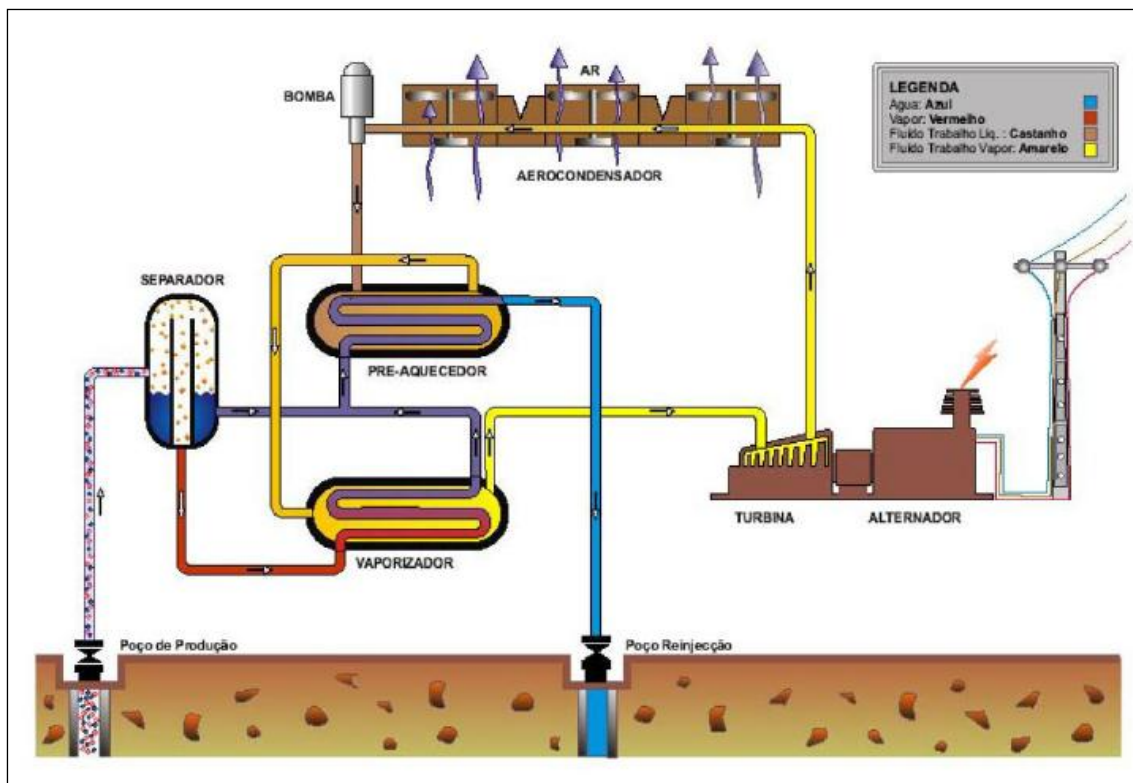


Figura 3.13 - Esquema de princípio da Central Geotérmica do Novo Pico Vermelho, Açores (Bicudo da Ponte, 2010).

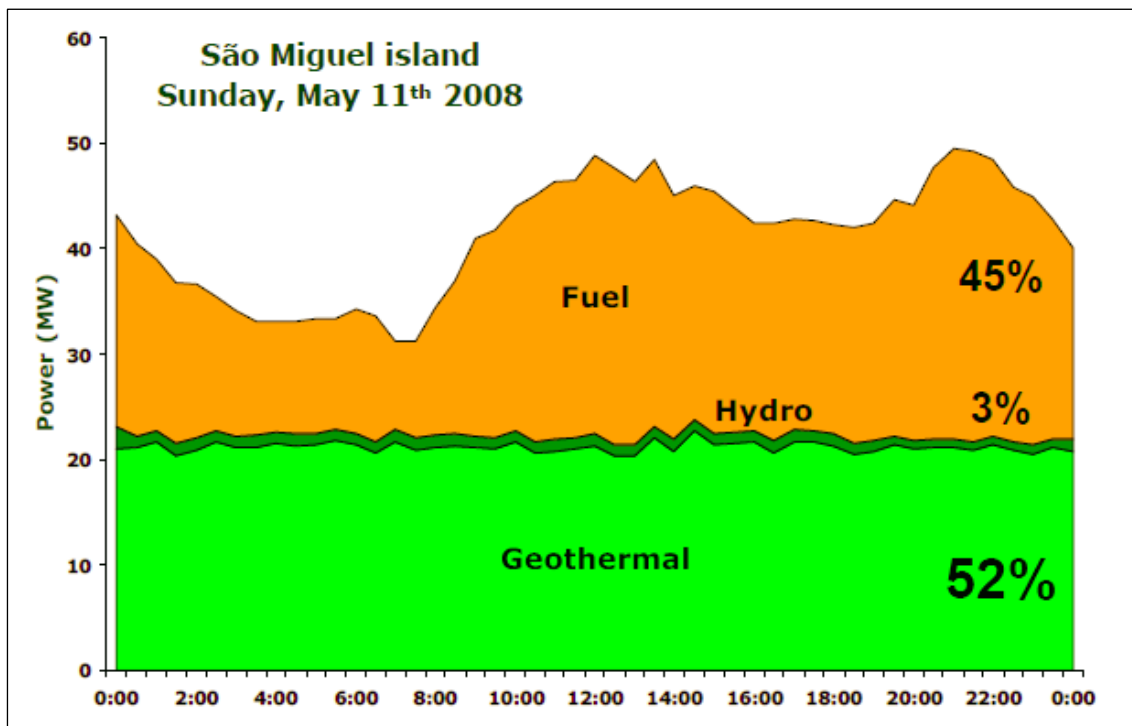


Figura 3.14 - Evolução da produção de energia elétrica no dia 11 de maio de 2008 na ilha de S. Miguel, Açores (Bicudo da Ponte, 2010).

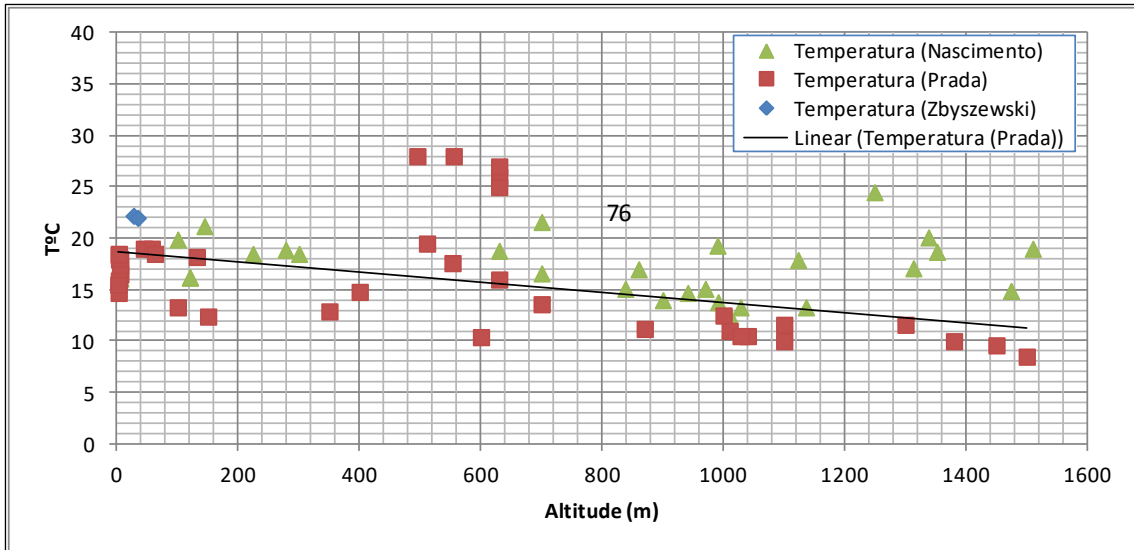
### 3.4. Recursos Geotérmicos na Ilha da Madeira

Em relação ao arquipélago da Madeira, merecem destaque alguns trabalhos que possibilitam supor que se encontra definida uma pequena área geotérmica de baixa entalpia num túnel do Vale de São Vicente, e também a existência de certos cones estrombolianos relativamente recentes a sudoeste do Funchal, com algumas potencialidades geotérmicas (Martins de Carvalho e Carvalho, 2004 e Albuquerque, 2011).

Nesta região autónoma, estão também a ser desenvolvidos trabalhos e pesquisas com o objetivo de criação de energia elétrica partindo do geocalor, estando os mesmos a ser elaborados pela Empresa de Eletricidade da Madeira (EEM) em parceria com o Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) (Rocha, 2011). Estes trabalhos repartem-se em três fases principais, sendo a primeira etapa definida pelo estudo prévio, onde se inclui a prospeção e a avaliação acerca de possíveis locais com fontes térmicas e os respetivos sistemas, a segunda que pretende a caracterização do reservatório com identificação mediante sondagens profundas, e uma terceira baseada no desenvolvimento do reservatório e na instalação de uma central geotérmica, através da realização de uma segunda sondagem, de maneira a definir o circuito geotérmico necessário para o funcionamento da central.

Derivado das características geológicas e tectónicas desta ilha, o sistema a implementar para a criação de eletricidade será o EGS (Sistemas Geotérmicos Estimulados), sendo este um sistema com utilização nas gamas da baixa entalpia, sendo o LNEG considerado como a entidade que em Portugal tem promovido este tipo de tecnologia (Rocha, 2011).

É ainda de mencionar alguns trabalhos realizados nos anos de 2010 e 2011, onde se efetuaram levantamentos de campo, nomeadamente da temperatura de alguns pontos de água na ilha, com o objetivo de se realizar uma proposta num local propício, de umas termas, merecendo salientar que se têm registado vários pontos de água com temperaturas acima dos 20°C, orientando não apenas para potenciais locais suscetíveis de exploração termal no domínio da balneoterapia, como em aproveitamentos geotérmicos (Teixeira Nascimento *et al.*, 2013). Na figura 3.15 é possível observar uma relação entre as temperaturas da água de ressurgências na ilha e as altitudes, verificando-se algumas evidências de alguns pontos que orientam para situações de potencial geotérmico interessante.



**Figura 3.15-** Relação entre a temperatura da água de ressurgências da Ilha da Madeira e a altitude, mostrando que há alguns pontos que saem da tendência geral, por terem potencial geotérmico (Teixeira Nascimento *et al.*, 2013).

# CAPÍTULO 4

## 4. CASO DE ESTUDO - GEOTERMIA NO DISTRITO DA GUARDA

### 4.1. Introdução

Este capítulo vai de encontro ao grande objetivo desta dissertação. Desta forma realiza-se um estudo à cerca do distrito da Guarda para avaliação do seu potencial geotérmico.

Faz-se um enquadramento geográfico da área em estudo à qual se associam os aspetos geológicos e geomorfológicos.

De seguida, passa-se ao estudo hidrológico, onde se apresentam os elementos climáticos para posteriormente se realizar o balanço hidrológico.

Entra-se então na temática dos aproveitamentos geotérmicos em vigor, fazendo-se primeiramente uma exposição da situação global, passando-se à apresentação mais detalhada da situação do aproveitamento geotérmico de Longroiva.

Por fim, apresentam-se os resultados relativos ao estudo do potencial geotérmico da área em questão e ainda se avançam alguns elementos ambientais consequentes com o uso desta energia limpa.

### 4.2. Enquadramento Geográfico

O distrito da Guarda abrange uma área de 5 535,31 km<sup>2</sup> e organiza-se em catorze concelhos, sendo eles Aguiar da Beira, Almeida, Celorico da Beira, Figueira de Castelo Rodrigo, Fornos de Algodres, Gouveia, Guarda, Manteigas, Mêda, Pinhel, Sabugal, Seia, Trancoso e Vila Nova de Foz Côa, como se pode observar na figura 4.1. Delimita-se a norte pelo distrito de Bragança, a sul pelo de Castelo Branco, a este por Espanha e a oeste pelos distritos de Coimbra e Viseu.

Segundo a nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (INE, 2015) apresentada na figura 4.2, a maior parte da área em questão localiza-se no interior da Região Centro (NUTS II), numa unidade territorial específica, Beiras e Serra da Estrela (NUTS III), excluindo-se o município de Aguiar da Beira, uma vez que pertence a Viseu Dão-Lafões (NUTS III) e o município de Vila Nova de Foz Côa que faz parte da Região Norte (NUTS II) e da unidade territorial Douro (NUTS III).

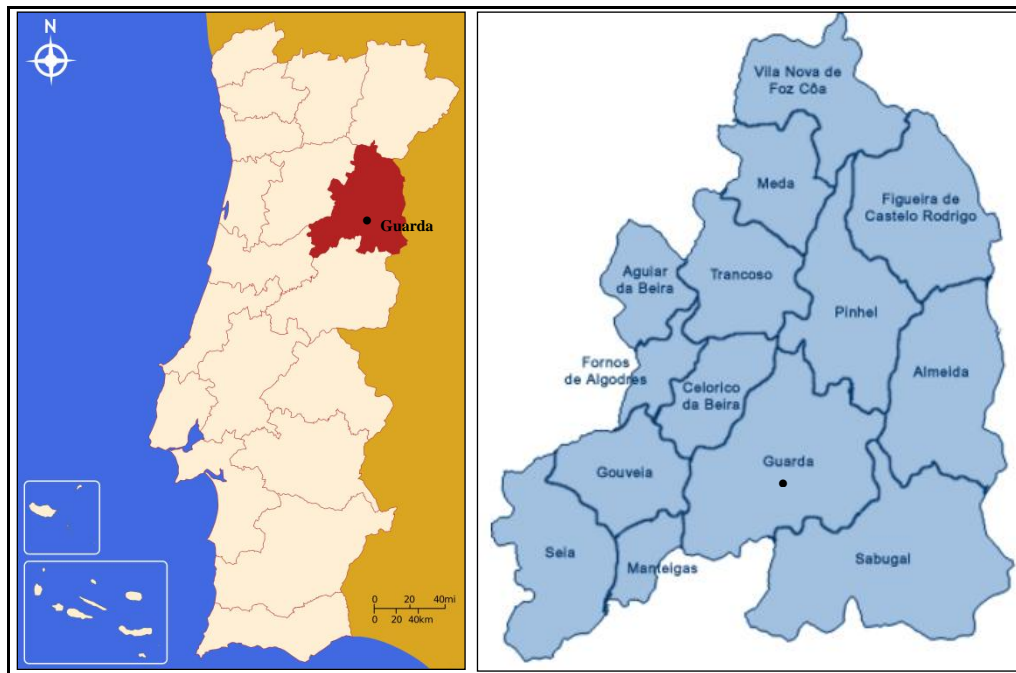


Figura 4.1 - Localização do Distrito da Guarda (adaptado de AEP, 2004).

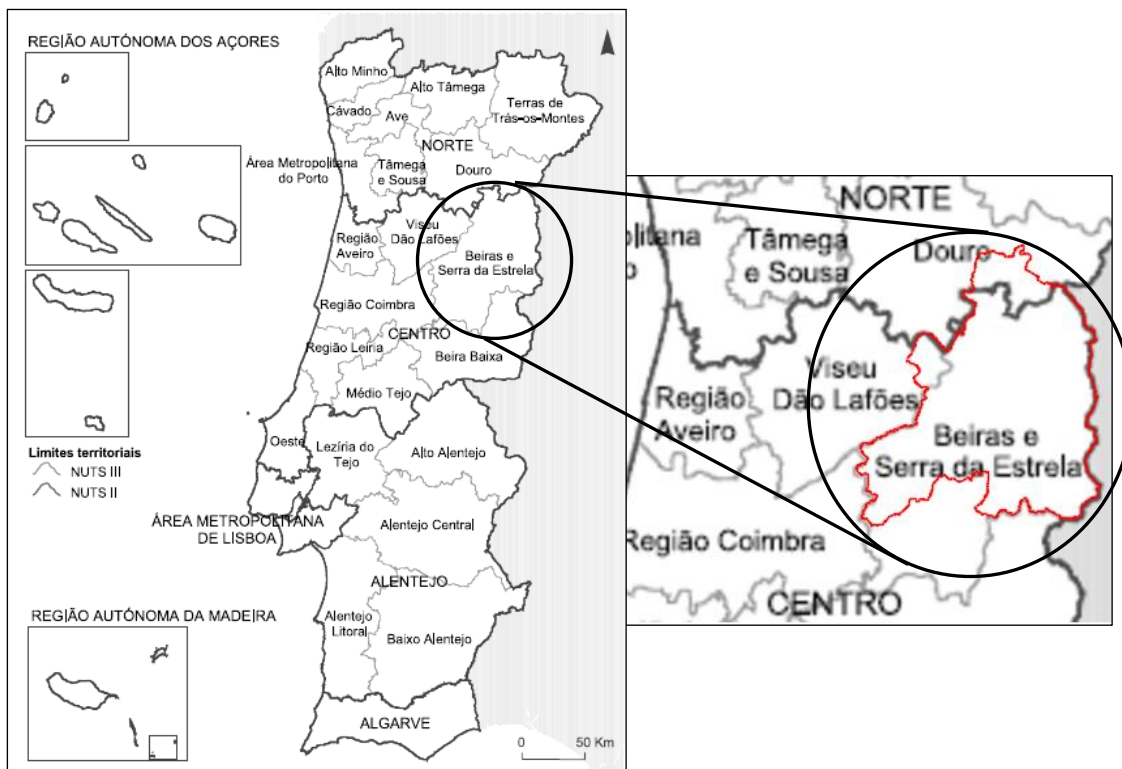
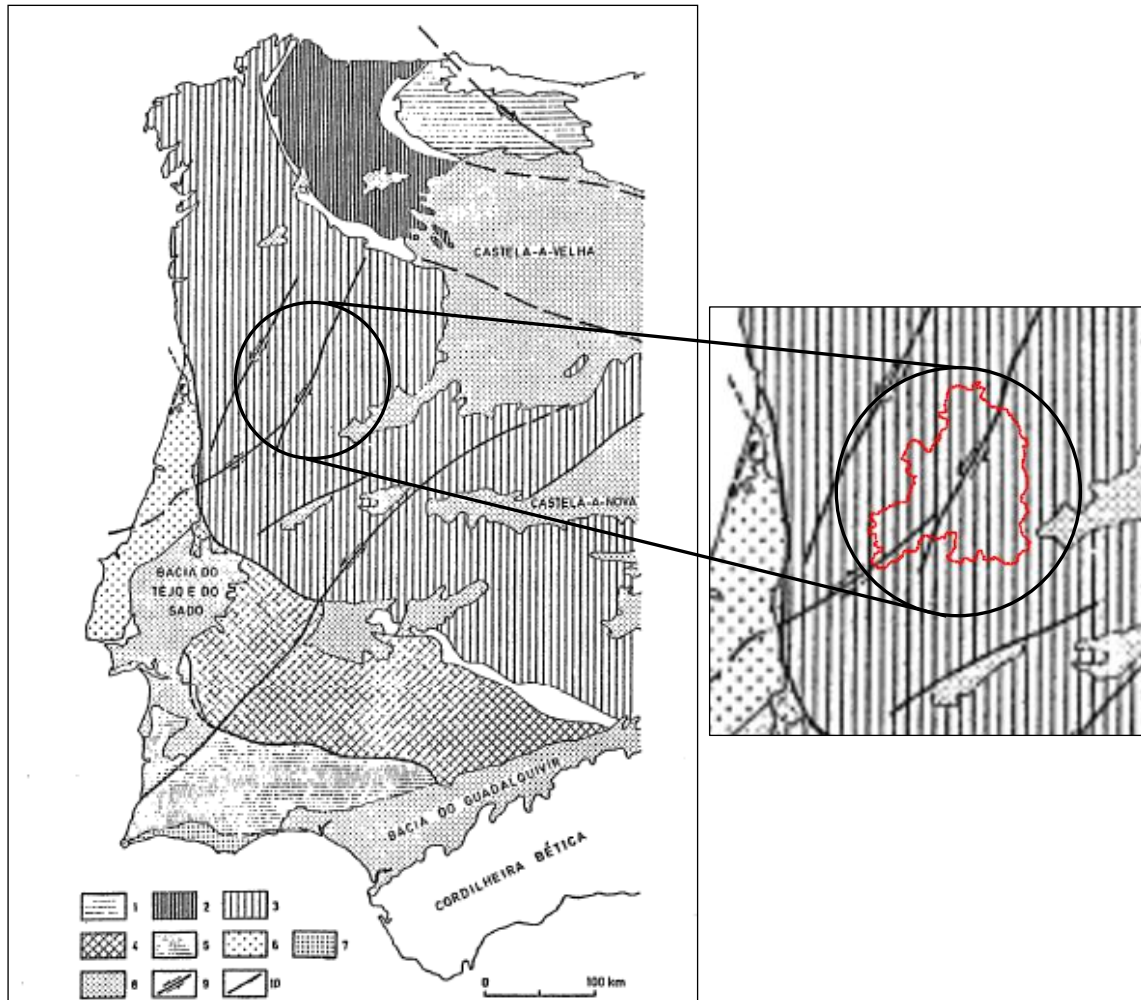


Figura 4.2 - Enquadramento do Distrito da Guarda na divisão territorial por NUTS II e NUTS III (a partir de INE, 2015).

### 4.3. Aspetos Geológicos

A área alvo de estudo insere-se na Zona Centro Ibérica (ZCI), como se observa na figura 4.3, pertencente ao Maciço Hespérico, sendo constituída por terrenos bastante antigos, ante-mesozóicos, onde consta uma predominância de diversas tipologias de rochas, existindo no entanto um grupo que se destaca, nomeadamente o dos granitoides (Henriques, 2011).



**Figura 4.3** - Enquadramento do Distrito da Guarda nas Unidades Estruturais do Ocidente Peninsular. 1 - Zona Cantábrica; 2 - Zona Oeste-Asturiana-Leonesa; 3 - Zona Centro Ibérica; 4 - Zona de Ossa-Morena; 5 - Zona Sul Portuguesa; 6 - Orla Ocidental; 7 - Orla Algarvia; 8 - Bacias Terciárias; 9 - Desligamento; 10 - Falha ou Flexura (Abrantes, 1996).

Os estudos acerca dos granitos peninsulares ante-mesozóicos admitem a existência de uma grande variedade de fácies, idades e composições mineralógicas e químicas, refletindo sucessivos ambientes geotectónicos, onde os granitos intruíram no decorrer do seu longo período de instalação (Abrantes, 1996).

Pode afirmar-se que os granitos da Zona Centro Ibérica pertencem na sua maioria ao ciclo hercínico, e na perspetiva mineralógica são do tipo monzonítico, com duas micas, sendo a biotite a mais predominante. Os mesmos contêm elementos essenciais como o quartzo, a oligoclase, a microclina, a biotite, a moscovite, entre outros, apresentando uma textura fundamentalmente porfiroide, com megacristais de granulometria grosseira. Devido à sua constituição de cristais de feldspatos bem desenvolvidos, mostram-se mais vulneráveis à alteração química, principalmente em climas húmidos, constatando-se que foram deformados pela segunda fase hercínica, sendo calco-alcalinios. Entretanto, surgem algumas manchas que mostram grão médio a fino, revelando tendência alcalina, ou mesmo, em certos casos, uma fraca alcalinidade (Abrantes, 1996).

Na parte interna dos granitos porfíroides surgem determinadas manchas relevantes de granito não porfiroide, em especial de grão grosseiro a médio ou de grão médio, apresentando características alcalinas e variações locais, com maior ou menor desenvolvimento dos megacristais (Henriques, 2011).

Em relação aos granitos do tipo calco-alcaino, pode afirmar-se que ocupam uma extensão maior comparativamente com os alcalinos, existindo uma predominância na região central do território, particularizando as Beiras (Henriques, 2011).

A grande variedade estrutural das rochas que compõem esta família dá origem a uma grande problemática, ou seja, a existência de uma mudança constante das classificações e dos critérios adotados para representação cartográfica dos granitos portugueses, sendo reflexo das várias condições de formação dos magmas que deram origem a estas rochas, assim como da idade da sua implantação (Henriques, 2011). Desta forma pode afirmar-se que não existe um granito, mas sim diversos granitos, como se observa na figura 4.4.

Normalmente, o granito considera-se uma rocha dura, visto que a experiência adquirida através de diversos estudos realizados nas latitudes médias, dão a indicação que resiste bem à incisão linear dos cursos de água desde que o mesmo esteja são ou fracamente fraturado, e juntamente a esta resistência às ações mecânicas surge uma enorme vulnerabilidade aos fenómenos de alteração sob efeitos de agentes químicos, físico-químicos ou bioquímicos.

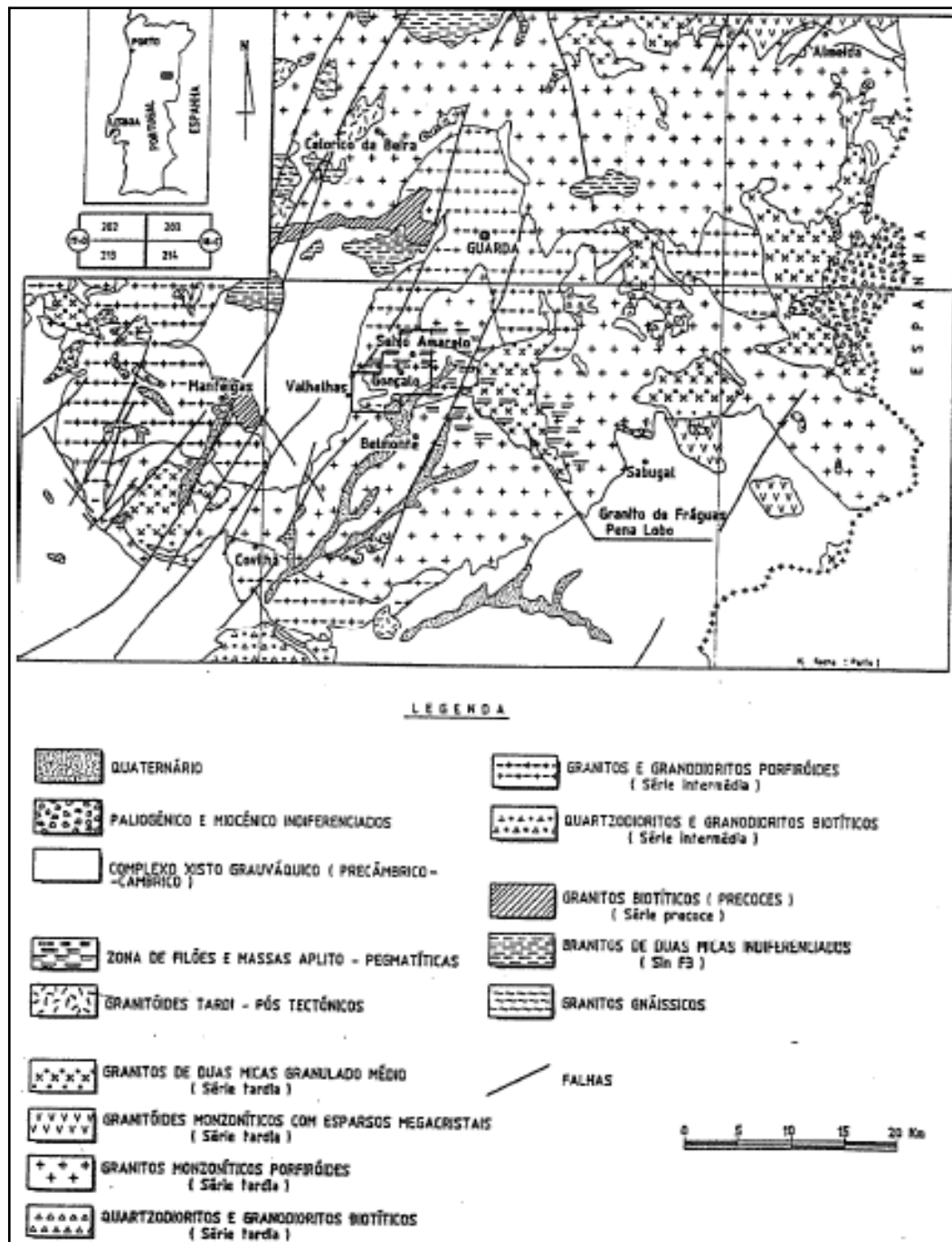
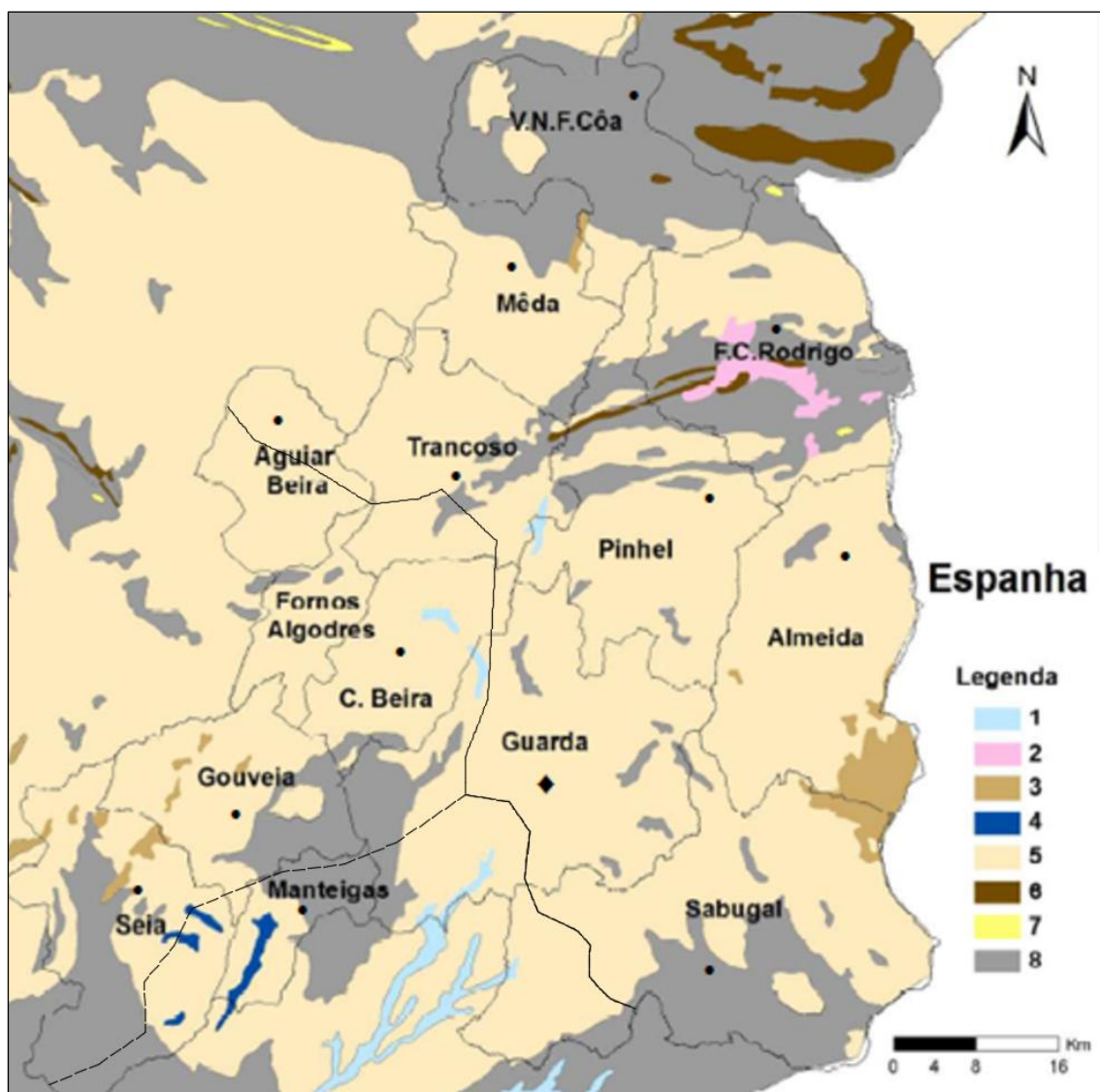


Figura 4.4 - Carta Geológica da Região Centro-Leste de Portugal (Abrantes, 1996).

O complexo xisto-grauváquico ocupa também uma extensão relevante na área de estudo, podendo ser encontrado na Serra da Malcata, a nordeste da Serra da Estrela, na Serra da Marofa e em Vila Nova de Foz Côa, surgindo nas restantes áreas pequenas manchas dispersas com uma importância mais diminuta. Ao longo da fronteira desta unidade com o complexo dos granitos ocorreu uma orla de metamorfismo, com uma extensão variável, atingindo vários quilómetros.

Os terrenos recentes de cobertura, nomeadamente as formações aluviais e outros materiais erodidos das vertentes, apresentam menor relevância e são de menor extensão, no entanto, encostados às principais linhas de água, surgem pequenos retalhos aluvionares, constituídos por calhaus rolados de diferentes tamanhos, de xisto, corneanas, quartzo ou granito, soltos ou cimentados por argilas (Henriques, 2011).

Os arenitos arcósicos aparecem fundamentalmente a sul de Vilar Formoso, surgindo também certas manchas dispersas a Noroeste da Serra da Estrela, e os quartzitos, as areias e os calhaus rolados surgem de uma forma similar na Serra da Marofa (Henriques, 2011). As unidades litológicas desta região podem ser observadas nas figuras 4.5 e 4.6.



**Figura 4.5** - Unidades litológicas predominantes na área de estudo. 1 - Aluviões; 2 - Areias, calhaus rolados, arenitos pouco consolidados, argilas; 3 - Cascalheiras de planalto, arcoses da Beira Baixa, arenitos, calcários; 4 - Depósitos glaciares; 5 - Granitos e rochas afins; 6 - Quartzitos; 7 - Rochas carbonatadas; 8 - Xistos, grauvaques (adaptado de Henriques, 2011).

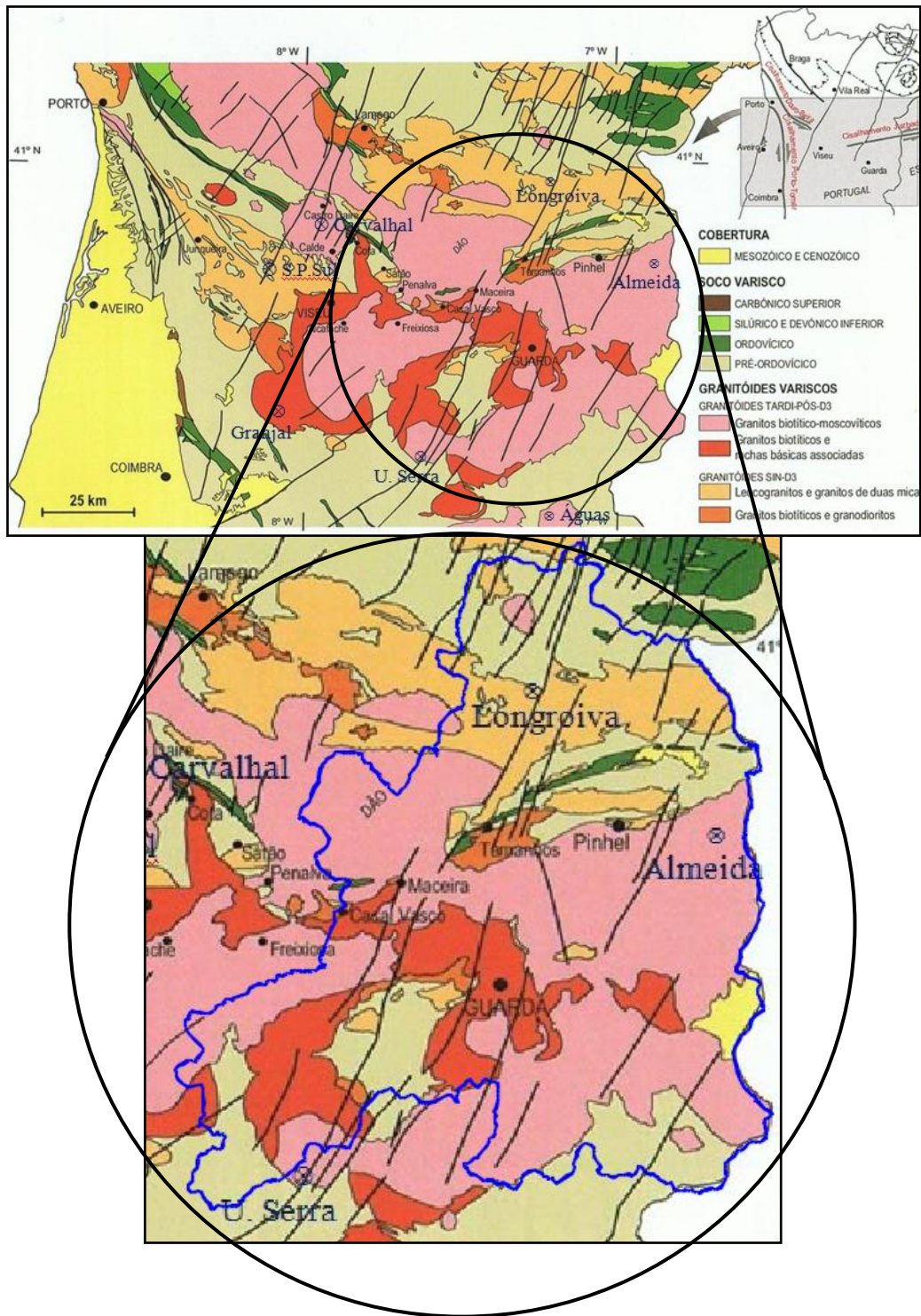


Figura 4.6 - Enquadramento geológico da zona de estudo (adaptado de Ferreira Gomes, 2014).

#### 4.4. Enquadramento Geomorfológico

Uma vez que a área em estudo pertence ao Maciço Antigo Ibérico ou Maciço Hespérico, caracteriza-se por apresentar, de uma forma maioritária, um substrato lítico ante-mesozóico, composto por rochas metassedimentares e granitoides, em alguns locais cobertas por rochas detríticas mais recentes, do período cenozoico. Os afloramentos de xisto também surgem, apesar de ser numa área mais restrita, enquanto que os depósitos de cobertura mais recentes, localizam-se nas áreas que foram abatidas tectonicamente, como é o caso das depressões da Vilarça e da Longroiva (Henriques, 2011).

Quando se fala em termos morfológicos, a maioria da área é abrangida por superfícies de aplanamento, com origem cenozoica provável, situando-se a diferentes altimetrias (Ferreira, 2005). A superfícies da Meseta, constituída pela parte oriental da Beira Alta, estende-se até Trás-os-Montes e confere planura ao relevo, mais especificamente onde este se encontra melhor preservado, como se verifica a leste do Rio Côa, terminando a ocidente com a falha de desligamento Bragança-Unhais da Serra. No entanto, para o lado ocidente do Rio Côa, também se localizam diversos níveis de aplanamento, escalonados, em função da maior atuação tectónica, mas, as suas extensões são menores do que na Meseta, elevando-se a superfície mais alta a 900 metros de altitude (Almeida, 2009).

Em todas as superfícies verificam-se relevos salientes causados pelos afloramentos de rochas mais resistentes à erosão, normalmente quartzitos, como é exemplo a Serra da Marofa com 976 metros de altitude, xistos, na Serra da Malcata com 1075 metros de altitude, ou granitos como os do Jarmelo a 943 metros de altitude. Entretanto, a tectónica mais recente possibilitou a elevação da cordilheira central, na qual se destaca a Serra da Estrela, com depressões que podem conter ou não depósitos, tais como a de Seia e a de Celorico da Beira (Almeida *et al.*, 2009).

Esta orografia particular, bastante montanhosa e constituída por elevações de diversas altitudes, distribui-se entre os 1993 metros, pertencendo ao planalto da Torre na Serra da Estrela, e os 84 metros do município de Vila Nova de Foz Côa, ponto mais baixo do distrito junto ao Rio Douro (INE, 2015). No entanto, constata-se que as altimetrias predominantes ficam compreendidas entre os 600 e os 800 metros, como se pode observar na figura 4.7.

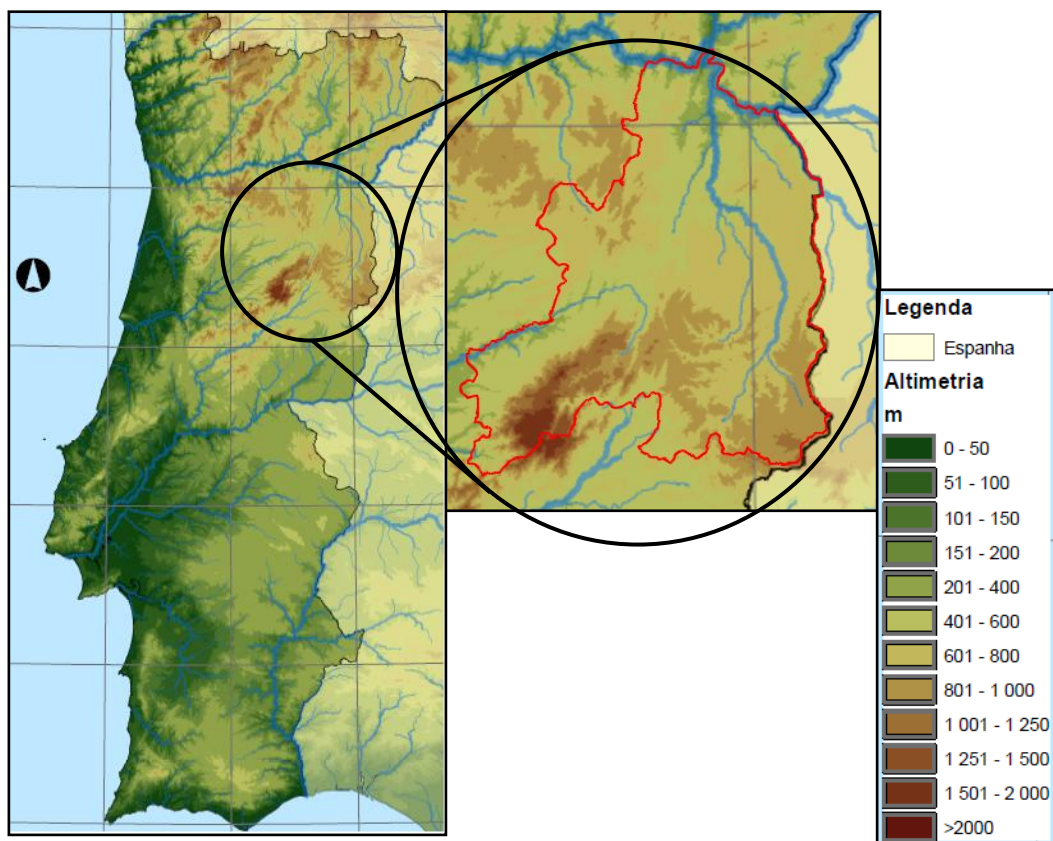
O Distrito da Guarda, tem o seu território distribuído por três principais bacias (figura 4.7):

- i) consideráveis áreas na Bacia do Rio Douro, e em especial a sub-bacia do Rio Côa, com o início deste a SE, na zona da Serra das Mesas, em cotas por volta de 1175 m e foz no Rio Douro a norte, à cota 84 m como já foi referido; as principais linhas de água pela margem direita do Rio Côa são a Ribeira do Avelal, a Ribeira de Vilar Maior e a Ribeira de Palhais, e pela margem esquerda a Ribeira de

Massueime, a Ribeira da Cabras, a Ribeira de Gaiteiros, o Rio Noemi, a Ribeira do Seixo e a Ribeira do Boi; destaca-se a particularidade do Rio Côa correr de sul para norte situação que é singular no território nacional;

- ii) muita área na bacia do Rio Mondego, em que este tendo início na Serra da Estrela, a cotas na ordem de 1900 m, tem desenvolvimento par NE, para depois, em zona de cotas relativamente baixas infletir para SW e assim continuar até deixar o distrito da Guarda à cota de 165 m e nesse alinhamento global continuar até chegar ao mar na Figueira da Foz;
- iii) alguma área da sub-bacia do Rio Zêzere, que se enquadra já na Bacia do Tejo; este, o Rio Zêzere, também se inicia na Serra da Estrela a aproximadamente 1900 m como o Mondego, para ter desenvolvimento para NE e depois em zona de cotas relativamente baixas infletir até ter o seu global desenvolvimento, já fora do distrito da Guarda em direção NE-SW e de NE para SW, deixando o distrito da Guarda à cota de 475 m.

Devido às características do relevo apresentadas, em áreas de declives mais notáveis, a velocidade de escoamento é bastante elevada, facto esse que intensifica a ação dos processos de erosão, ficando estes responsáveis pelo desgaste e afeiçoamento das formas da paisagem.



**Figura 4.7** - Enquadramento do distrito da Guarda na Carta Hipsométrica de Portugal (adaptado de SNIRH, 2016).



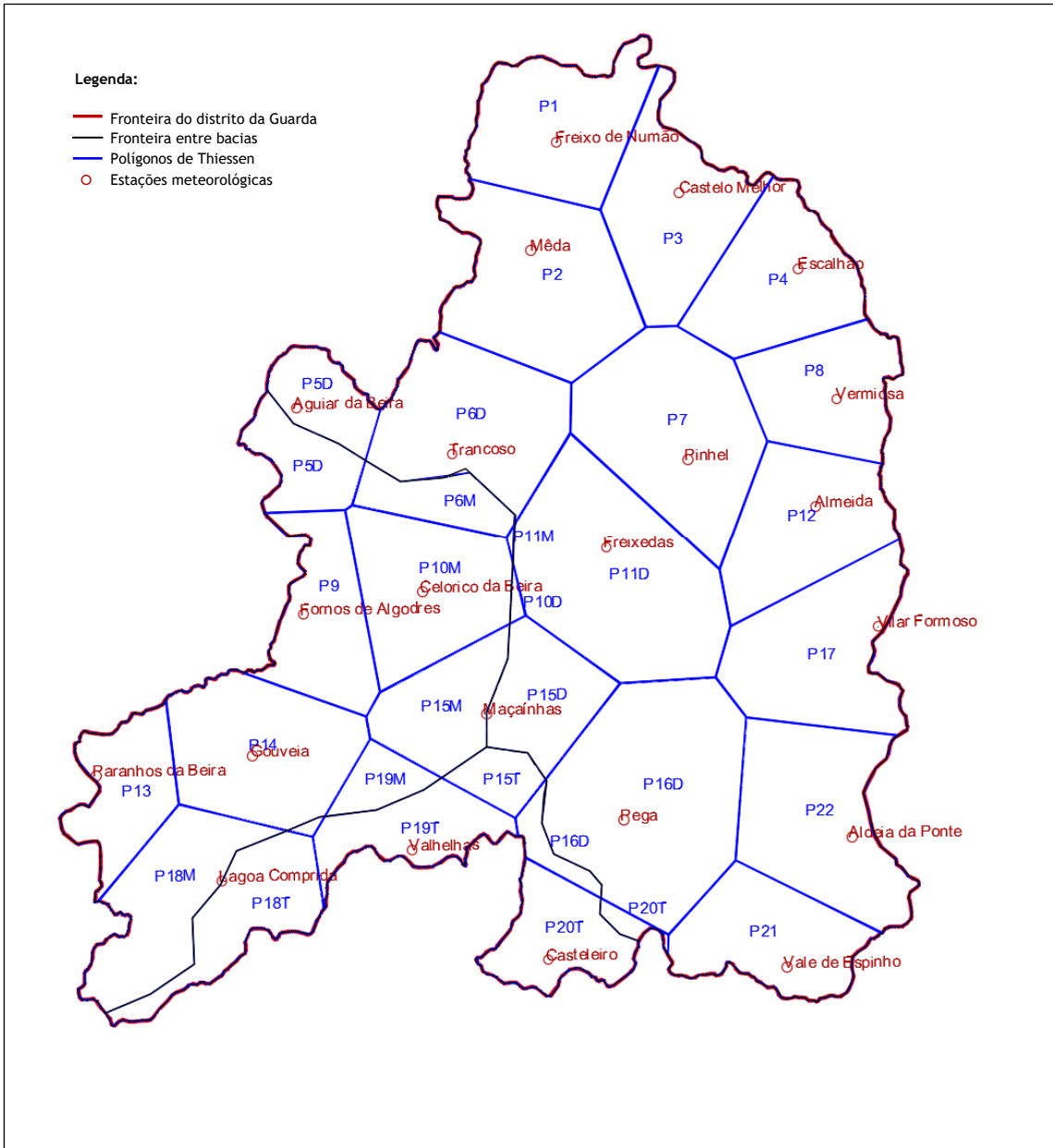
Na tabela 4.1 apresentam-se as características de cada estação meteorológica, nomeadamente a altitude, a latitude, a longitude e a respetiva bacia hidrográfica.

Relativamente aos registos de precipitação média mensal, consultaram-se no Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) e apresentam-se na tabela 4.2 . No entanto, para o cálculo do balanço hidrológico são necessários os valores da precipitação mensal ponderada, e devido a esse facto foi necessário aplicar o Método de Thiessen, para assim ser possível obter as áreas dos polígonos relativos a cada estação meteorológica, atribuindo aos mesmos denominações de acordo com a tabela 4.2 e com a figura 4.9. Refere-se ainda que alguns dos polígonos pertencem a mais do que uma bacia, e por conseguinte usaram-se as áreas correspondentes a cada bacia.

Os valores da precipitação mensal ponderada apresentam-se na tabela 4.3, sendo neste momento já referentes a cada uma das bacias.

**Tabela 4.1** - Características das estações meteorológicas usadas no presente estudo (SNIRH, 2016).

Estações Meteorológicas	Altitude (m)	Latitude (°N)	Longitude (°W)	Bacia Hidrográfica
Aldeia da Ponte	814	40,41	-6,87	Douro
Almeida	742	40,72	-6,91	
Castelo Melhor	286	41,02	-7,07	
Escalhão	615	40,95	-6,92	
Freixedas	693	40,69	-7,16	
Freixo de Numão	563	41,09	-7,22	
Mêda	671	40,97	-7,25	
Pega	770	40,43	-7,14	
Pinhel	606	40,77	-7,06	
Trancoso	853	40,78	-7,35	
Vale de Espinho	869	40,30	-6,95	
Vermiosa	650	40,83	-6,88	
Vilar Formoso	774	40,61	-6,83	
Aguiar da Beira	776	40,82	-7,54	Mondego
Celorico da Beira	448	40,65	-7,39	
Fornos de Algodres	473	40,63	-7,53	
Gouveia	671	40,49	-7,59	
Lagoa Comprida	1560	40,38	-7,64	
Maçainhas	895	40,53	-7,31	
Paranhos da Beira	402	40,48	-7,79	
Casteleiro	556	40,31	-7,24	Tejo
Valhelhas	512	40,41	-7,40	



**Figura 4.9** - Definição dos polígonos de Thiessen para cálculo da precipitação mensal ponderada para a zona de estudo.

**Tabela 4.2-** Registo da precipitação média mensal em cada polígono com a respetiva denominação (SNIRH, 2016).

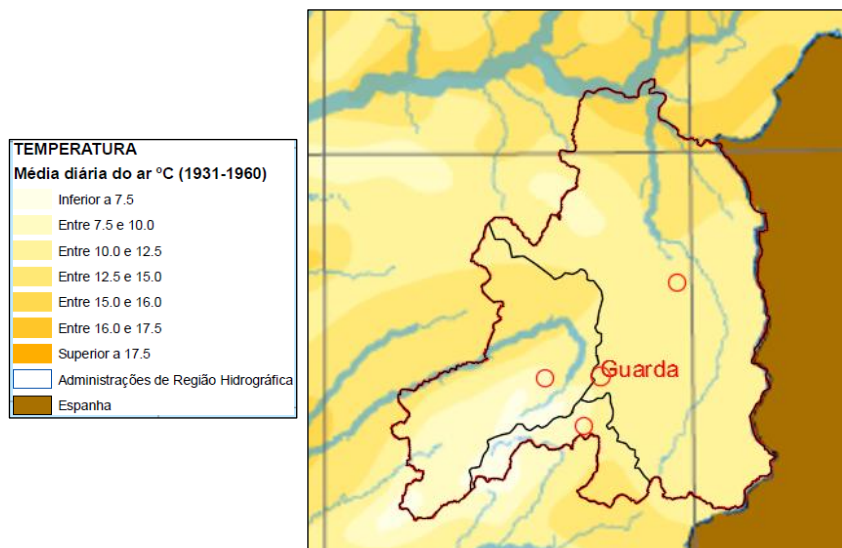
Bacia	Polígono	Estação	Área (km <sup>2</sup> )	Precipitação média (mm) (*)											
				Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Douro	P1	Freixo de Numão	230,3	61,1	37,4	32,0	43,0	48,0	30,9	11,0	16,7	31,4	68,5	67,3	69,2
	P2	Mêda	305,3	68,3	62,1	76,9	43,2	53,7	31,1	9,3	12,9	32,6	54,9	74,5	83,2
	P3	Castelo Melhor	229,1	43,5	30,2	22,9	42,7	46,5	24,4	12,3	12,5	32,6	66,1	65,1	54,8
	P4	Escalhão	214,7	60,2	52,4	48,9	47,7	49,8	28,8	13,4	10,9	35,5	61,6	66,5	63,5
	P5D	Aguiar da Beira	81,8	178,3	142,0	129,2	99,5	89,4	49,0	16,6	19,1	57,0	117,1	149,2	172,5
	P6D	Trancoso	259,1	134,7	118,3	105,7	85,6	75,1	41,5	15,3	16,1	41,2	83,7	119,5	130,2
	P7	Pinhel	319,4	71,1	60,9	55,8	56,3	51,5	29,1	12,4	11,0	35,2	67,9	72,2	80,4
	P8	Vermiosa	179,8	63,9	62,0	36,7	50,1	56,9	32,2	15,4	11,2	35,5	73,3	73,2	74,9
	P10D	Celorico da Beira	5,5	91,0	78,4	74,6	63,9	59,7	31,6	12,9	14,4	37,3	79,5	89,7	106,3
	P11D	Freixedas	382,1	95,3	86,4	62,3	64,5	66,6	39,4	13,4	10,4	35,2	74,1	90,0	104,4
	P12	Almeida	221,7	58,8	45,7	43,0	43,3	44,6	28,9	10,0	9,3	32,2	55,8	51,0	59,5
	P15D	Maçainhas	132,6	70,0	62,5	38,4	48,2	43,3	28,8	10,4	11,0	30,3	64,2	74,8	72,6
	P16D	Pega	413,1	99,9	87,5	55,1	65,2	67,1	34,4	12,0	10,1	40,1	100,0	111,5	100,2
	P17	Vilar Formoso	256,9	61,5	56,5	55,1	50,4	57,0	30,5	14,8	11,1	40,0	66,9	78,8	69,5
	P20D	Casteleiro	12,2	86,9	67,2	43,9	73,2	59,2	28,2	7,5	12,4	37,9	103,9	116,7	87,3
P21	Vale de Espinho	192,1	47,9	79,9	87,7	100,2	58,5	59,9	4,3	17,0	45,0	259,2	182,1	60,5	
P22	Aldeia da Ponte	281,7	87,0	83,9	56,6	65,3	64,3	35,3	16,5	12,5	37,4	77,1	102,0	93,3	
Mondego	P5M	Aguiar da Beira	90,0	178,3	142,0	129,2	99,5	89,4	49,0	16,6	19,1	57,0	117,1	149,2	172,5
	P6M	Trancoso	73,9	134,7	118,3	105,7	85,6	75,1	41,5	15,3	16,1	41,2	83,7	119,5	130,2
	P9	Fornos de Algodres	169,9	124,8	102,8	89,3	76,5	73,5	38,1	12,7	16,6	41,7	93,5	108,4	134,7
	P10M	Celorico da Beira	228,0	91,0	78,4	74,6	63,9	59,7	31,6	12,9	14,4	37,3	79,5	89,7	106,3
	P11M	Freixedas	1,4	95,3	86,4	62,3	64,5	66,6	39,4	13,4	10,4	35,2	74,1	90,0	104,4
	P13	Paranhos da Beira	136,9	104,2	86,2	41,8	93,0	80,8	46,2	16,8	19,9	48,3	104,9	98,6	111,5
	P14M	Gouveia	257,4	133,7	125,7	109,4	96,4	90,0	54,9	18,8	19,5	54,5	100,7	130,6	146,5
	P15M	Maçainhas	132,7	70,0	62,5	38,4	48,2	43,3	28,8	10,4	11,0	30,3	64,2	74,8	72,6
	P18M	Lagoa Comprida	195,9	226,4	191,1	168,2	139,5	147,0	85,4	26,5	30,7	86,2	204,4	234,7	247,5
P19M	Valhelhas	48,9	137,7	115,3	120,2	88,1	75,0	30,2	11,4	10,5	44,0	126,5	155,3	141,1	
Tejo	P14T	Gouveia	3,5	133,7	125,7	109,4	96,4	90,0	54,9	18,8	19,5	54,5	100,7	130,6	146,5
	P15T	Maçainhas	45,7	70,0	62,5	38,4	48,2	43,3	28,8	10,4	11,0	30,3	64,2	74,8	72,6
	P16T	Pega	29,4	99,9	87,5	55,1	65,2	67,1	34,4	12,0	10,1	40,1	100,0	111,5	100,2
	P18T	Lagoa Comprida	146,7	226,4	191,1	168,2	139,5	147,0	85,4	26,5	30,7	86,2	204,4	234,7	247,5
	P19T	Valhelhas	119,0	137,7	115,3	120,2	88,1	75,0	30,2	11,4	10,5	44,0	126,5	155,3	141,1
	P20T	Casteleiro	128,6	86,9	67,2	43,9	73,2	59,2	28,2	7,5	12,4	37,9	103,9	116,7	87,3

(\*) Valores médios mensais frequentemente a partir de registos de 30 anos, entre 1970 e 2000.

**Tabela 4.3-** Precipitação mensal ponderada para cada bacia e respetiva área de influência.

Bacias	Área (km <sup>2</sup> )	Precipitação ponderada (mm)											
		Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Douro	3717,2	78,7	70,2	58,7	59,1	58,1	34,3	12,4	12,3	36,7	82,8	89,9	85,0
Mondego	1334,9	132,7	114,2	97,0	88,8	84,1	47,7	16,5	18,5	50,6	109,3	128,7	142,6
Tejo	472,9	142,5	119,0	102,3	94,8	89,6	47,1	15,0	17,4	53,9	136,7	158,8	150,4

Em relação à temperatura, cruzando os diversos elementos disponíveis, ou seja, os dados detalhados de registos de 30 anos da estação da Guarda e considerando a temperatura da zona central de cada bacia (circulo vermelho) na figura 4.10, resulta num ajuste em relação aos valores da estação da Guarda de mais 1 °C, menos 1 °C e menos 0,5 °C, nas bacias do Douro, Mondego e Tejo respetivamente, de modo a resultarem os valores apresentados na tabela 4.4.



**Figura 4.10** - Enquadramento da zona alvo de estudo em relação à temperatura média diária anual (adaptado de SNIRH, 2016).

**Tabela 4.4** - Temperaturas a partir de registos para a estação climática da Guarda e valores considerados para cada bacia em termos de balanço hidrológico (a partir de SNIRH, 2016).

Estação	Guarda			Douro	Mondego	Tejo
	Temperatura média (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)			
Jan	3,4	-9,9	16,7	4,4	2,4	2,9
Fev	4,2	-12,3	17,8	5,2	3,2	3,7
Mar	6,6	-6,1	20,6	7,6	5,6	6,1
Abr	8,8	-5,1	25,6	9,8	7,8	8,3
Mai	11,3	-1,3	29,1	12,3	10,3	10,8
Jun	15,9	2,9	32,2	16,9	14,9	15,4
Jul	18,8	5,0	35,0	19,8	17,8	18,3
Ago	18,9	6,0	33,6	19,9	17,9	18,4
Set	16,2	2,8	31,5	17,2	15,2	15,7
Out	11,4	-0,9	25,0	12,4	10,4	10,9
Nov	6,8	-4,5	21,0	7,8	5,8	6,3
Dez	3,8	-9,0	16,5	4,8	2,8	3,3

#### 4.5.2. Balanço hidrológico

No cálculo do balanço hidrológico sequencial mensal, utiliza-se a metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1957, *in* Lencastre e Franco, 1984), utilizando a seguinte equação:

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

em que:

- P, é a precipitação;
- ETR, é a evapotranspiração real, que será igual à evapotranspiração potencial (ETP) desde que haja disponibilidade hídrica no sistema; o cálculo da ETP, efetua-se pelo método de Thornthwaite (tabela 4.5);
- R e G, são os escoamentos superficiais e subterrâneos, respetivamente; e
- VS<sub>s</sub>, VS<sub>so</sub> e VS<sub>sso</sub>, são as variações do armazenamento de água, à superfície, no solo arável e no subsolo, respetivamente.

O cálculo da evapotranspiração potencial (ETP), efetua-se pelo método de Thornthwaite, a partir da seguinte equação:

$$ETP = K \cdot ETP_o \text{ (mm/mês)}$$

sendo:

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

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

em que:

- t, é a temperatura média diária do mês (°C),
- a, é um parâmetro dado pela seguinte equação:

$$a = 675 \times 10^{-9} I^3 - 771 \times 10^{-7} I^2 + 179 \times 10^{-4} I + 0.49$$

- I, é o índice de calor anual, expresso pela seguinte forma:

$$I = \sum_{j=1}^{12} i_j$$

sendo, i, o índice de calor mensal, dado pela seguinte equação:

$$i = (t/5)^{1.5} \text{ (t em } ^\circ\text{C)}$$

- K, factor corretivo, é um parâmetro que depende do nº de horas de luz do dia, função da latitude do lugar, sendo determinado de acordo com valores tabelados em Lencastre e Franco (1984).

**Tabela 4.5** - Evapotranspiração potencial (ETP) a partir do método de Thornthwaite, para a região em estudo nos diferentes setores de acordo com as áreas do território de diferentes bacias.

Bacia do Douro												
Parâmetro	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
t (°C)	4,4	5,2	7,6	9,8	12,3	16,9	19,8	19,9	17,2	12,4	7,8	4,8
ETP (mm/ mês)	12,2	16,7	29,4	44,4	63,8	97,6	116,3	109,4	83,0	49,9	25,4	13,3
ETP Anual =	661,5 mm											
Bacia do Mondego												
Parâmetro	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
t (°C)	2,4	3,2	5,6	7,8	10,3	14,9	17,8	17,9	15,2	10,4	5,8	2,8
ETP (mm/ mês)	8,4	12,7	25,6	40,5	59,3	92,0	109,3	102,0	77,5	46,4	22,3	9,7
ETP Anual =	605,7 mm											
Bacia do Tejo												
Parâmetro	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
t (°C)	2,9	3,7	6,1	8,3	10,8	15,4	18,3	18,4	15,7	10,9	6,3	3,3
ETP (mm/ mês)	9,4	13,9	26,6	41,5	60,9	93,5	111,1	103,7	78,8	47,3	23,1	10,6
ETP Anual =	620,3 mm											

Os resultados do balanço hidrológico, apresentam-se numa forma numérica e gráfica nas tabelas 4.6 e nas figuras 4.11, 4.12 e 4.13, referentes à bacia do Douro, Mondego e Tejo, respetivamente. Além dos termos já referidos, nas mesmas aparecem os parâmetros DH e SH, que são os défices hídricos e o superavit hídrico para cada intervalo de tempo em análise.

**Tabela 4.6** - Balanço hidrológico sequencial mensal (L/m<sup>2</sup>) para a região em estudo de acordo com as bacias envolvidas.

Bacia do Douro													
Termo	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
P	78,7	70,2	58,7	59,1	58,1	34,3	12,4	12,3	36,7	82,8	89,9	85,0	678,2
ETP	12,2	16,7	29,4	44,4	63,8	97,6	116,3	109,4	83,0	49,9	25,4	13,3	661,5
ETR	12,2	16,7	29,4	44,4	63,6	78,6	44,8	23,3	39,2	49,9	25,4	13,3	441,0
DH	-	-	-	-	0,2	19,0	71,5	86,1	43,8	-	-	-	220,5
SH	66,5	53,5	29,3	14,7	-	-	-	-	-	0,0	1,6	71,7	237,5
Bacia do Mondego													
Termo	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
P	132,7	114,0	97,0	88,8	84,1	47,7	16,5	18,5	50,6	109,0	129,0	143,0	1030,9
ETP	8,4	12,7	25,6	40,5	59,3	92,0	109,3	102,0	77,5	46,4	22,3	9,7	605,7
ETR	8,4	12,7	25,6	40,5	59,3	83,5	55,3	32,9	53,2	46,4	22,3	9,7	449,9
DH	-	-	-	-	-	8,5	54,0	69,1	24,3	-	-	-	155,9
SH	124,3	101,3	71,4	48,3	-	-	-	-	-	0,0	77,7	133,3	556,2
Bacia do Tejo													
Termo	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
P	142,5	119,0	102,3	94,8	89,6	47,1	15,0	17,4	53,9	137,0	159,0	150,0	1127,6
ETP	9,4	13,9	26,6	41,5	60,9	93,5	111,1	103,7	78,8	47,3	23,1	10,6	620,3
ETR	9,4	13,9	26,6	41,5	60,9	84,2	53,8	31,3	56,1	47,3	23,1	10,6	458,7
DH	-	-	-	-	-	9,3	57,3	72,4	22,7	-	-	-	161,6
SH	133,1	105,1	75,7	53,3	-	-	-	-	-	0,0	133,5	139,4	640,1

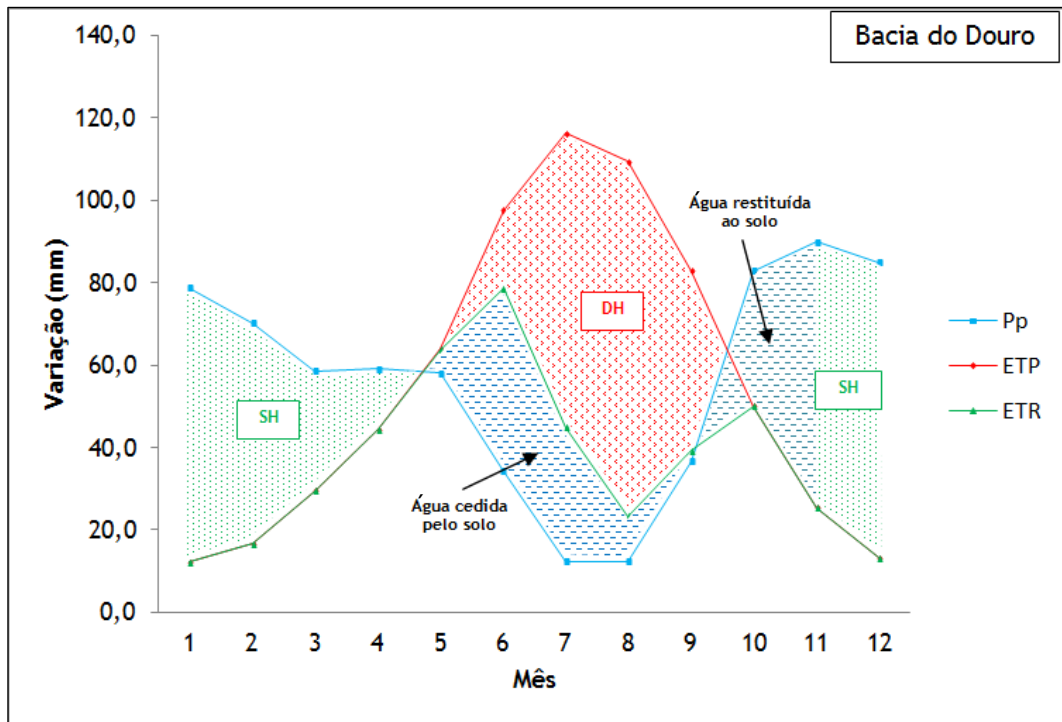


Figura 4.11 - Resultados do balanço hidrológico sequencial mensal para a bacia do Douro abrangida no distrito.

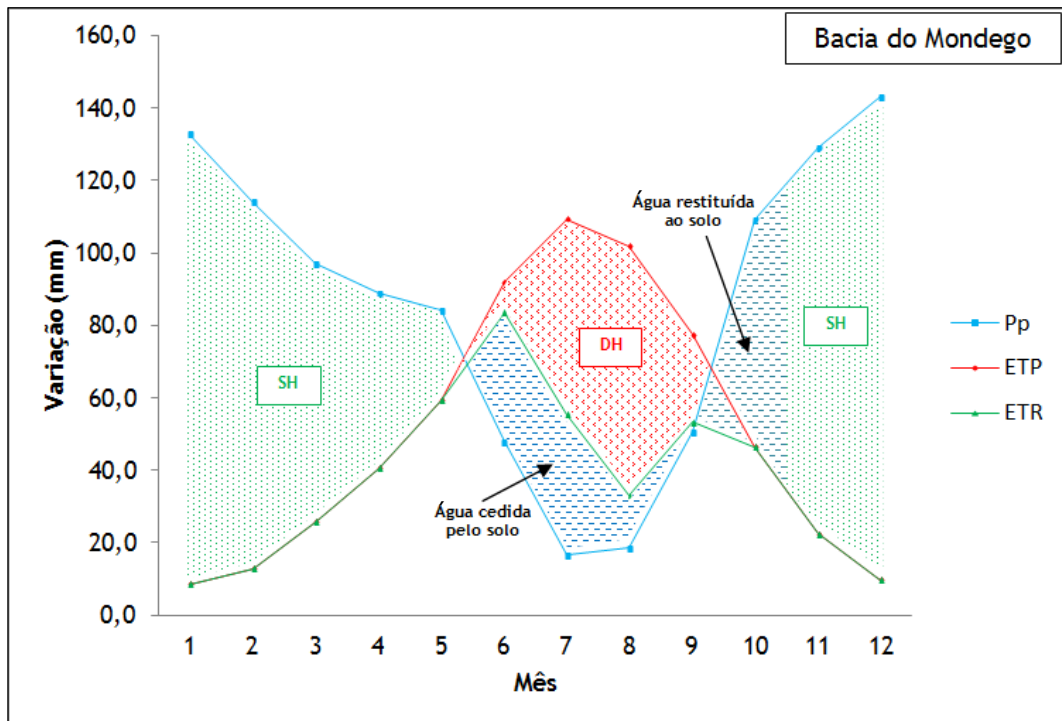


Figura 4.12 - Resultados do balanço hidrológico sequencial mensal para a bacia do Mondego abrangida no distrito.

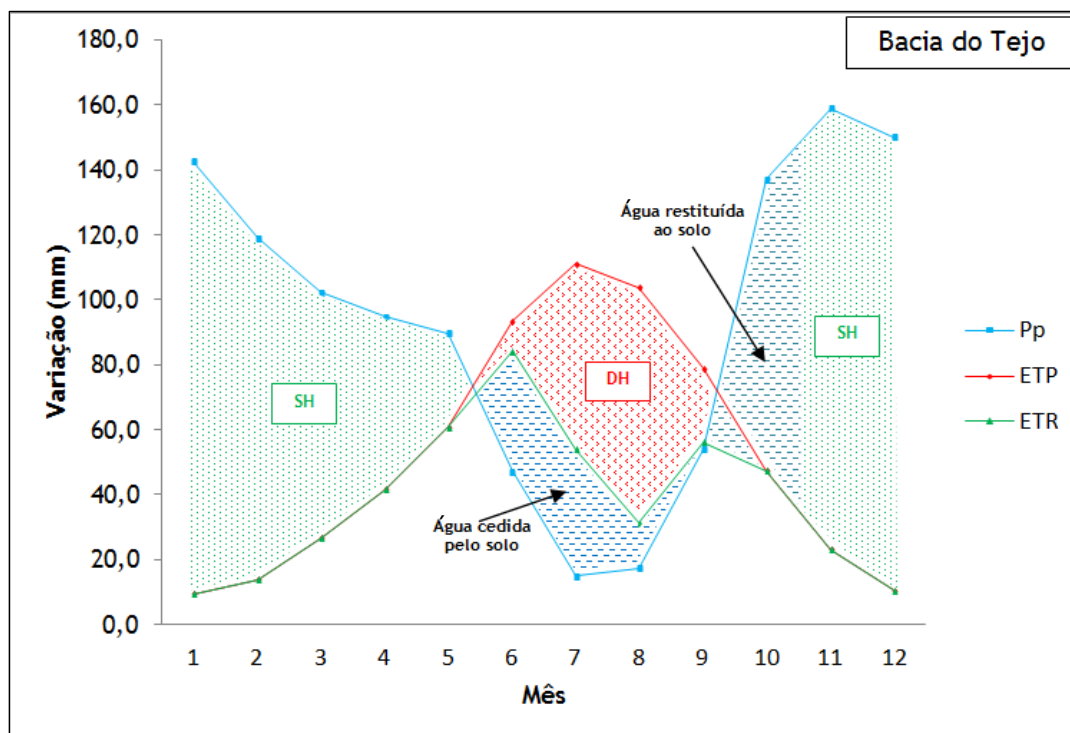


Figura 4.13 - Resultados do balanço hidrológico sequencial mensal para a bacia do Tejo abrangida no distrito.

Dos resultados apresentados merece salientar-se que para cada bacia existe um período seco, traduzido pelos défices hídricos (DH), que na bacia do Douro decorre de maio a setembro, e nas bacias do Mondego e do Tejo de junho a setembro, todas elas atingindo um máximo em julho, e um período húmido, traduzido pelo superávit hídrico (SH), decorrendo de novembro a abril nas três bacias e constatando-se um excesso máximo de água em dezembro.

No período húmido, o superávit hídrico divide-se em duas parcelas: o escoamento superficial (R) e escoamento subterrâneo (G), ou seja,  $SH = R + G$ . Desta forma, e falando em termos anuais, o valor de SH para a bacia do Douro, do Mondego e do Tejo é de  $237,5 \text{ L/m}^2$ ,  $556,2 \text{ L/m}^2$  e  $640,1 \text{ L/m}^2$  respetivamente, resultados estes presentes na tabela 4.6. Assim, os excedentes anuais de cada bacia, sugerem à partida uma modesta recarga aquífera, destacando-se de alguma forma as bacias do Mondego e do Tejo, às quais pertencem os rios Mondego e Zêzere, com as suas nascentes a cotas mais elevadas. No entanto admitindo como áreas de recarga as áreas de cada bacia inseridas no distrito, nomeadamente  $3717,2 \text{ km}^2$  em relação ao Douro,  $1334,9 \text{ km}^2$  em relação ao Mondego e  $472,9 \text{ km}^2$  em relação ao Tejo, além dos declives serem na maioria das situações modestos com uma vasta área de planalto em zonas em que os maciços graníticos estão por vezes muito alterados e geralmente muito fraturados; por vezes ocorrem zonas de consideráveis declives, mas nessas áreas ocorrem frequentemente rochas relativamente fissuradas de modo a facilitarem a recarga em profundidade; juntam-se ainda aos elementos anteriores o facto de haver uma cobertura

vegetal. Assim, num todo são claros os fatores que facilitam a infiltração e consequentemente a recarga.

No sentido de se estimar, mesmo de um modo aproximado a recarga em profundidade, considera-se como referencia o estudo de Ferreira Gomes (2009) efetuado para a região das Termas da freguesia de Águas (Penamacor) em que a geomorfologia e geologia (ocorrendo apenas granitoides) são relativamente similares ao que se verifica na região em estudo em que se usou uma relação de “G/SH” igual a 35%. Assim, de acordo com uma ponderação qualitativa considera-se uma relação de “G/SH” igual a 30% para a bacia do Douro, onde existem mais xistos o que torna a área mais impermeável, e igual a 34% para as bacias do Mondego e do Tejo, que nas zonas em estudo são predominantemente de granitoides

Posteriormente, considerando a área global de cada bacia, obtém-se uma recarga anual média, de acordo com o seguinte:

$$\text{Bacia do Douro} - G/SH = 0,30 \Rightarrow G = 0,30 \times 237,5 = 71,25 \text{ L/m}^2$$

$$\text{Bacia do Mondego} - G/SH = 0,34 \Rightarrow G = 0,34 \times 556,2 = 189,11 \text{ L/m}^2$$

$$\text{Bacia do Tejo} - G/SH = 0,34 \Rightarrow G = 0,3 \times 640,1 = 217,63 \text{ L/m}^2$$

Assim, ao se considerarem como áreas de recarga toda a área das respetivas bacias, obtém-se como volume de água total a recarregar as reservas aquíferas, de acordo com o seguinte:

$$\text{Bacia do Douro} - G_{\text{Douro}} = 71,25 \text{ L/m}^2 \times 3717,2 \times 10^6 \text{ m}^2 = 264,85 \times 10^9 \text{ m}^3$$

$$\text{Bacia do Mondego} - G_{\text{Mondego}} = 189,11 \text{ L/m}^2 \times 1334,9 \times 10^6 \text{ m}^2 = 252,44 \times 10^9 \text{ m}^3$$

$$\text{Bacia do Tejo} - G_{\text{Tejo}} = 217,63 \text{ L/m}^2 \times 472,9 \times 10^6 \text{ m}^2 = 102,92 \times 10^9 \text{ m}^3$$

Se aqueles volumes de água anuais, fossem descarregados ao longo do ano numa única nascente virtual, obter-se-iam os caudais apresentados na tabela 4.7. Mas naturalmente que na zona em estudo existem variadíssimos pontos de água (nascentes, poços, furos, minas), distribuídos pelo território, o que significa que na realidade o caudal global será descarregado de forma distribuída por esses pontos de água ao longo do ano. Uma vez que não foi efetuado o levantamento exaustivo para a zona de estudo, como indicador utiliza-se a densidade de pontos obtida por Ferreira Gomes (2009) para a zona de Penamacor aquando dos dados estudados na zona das Termas da Fonte Santa de Águas, tendo obtido 61 pontos de água por km<sup>2</sup>. Assim, ao alargar esta densidade às áreas das bacias do distrito em estudo, uma vez que pode considerar-se que a nível geológico apresentam grandes semelhanças à região de Penamacor, obtém-se o número de pontos de água para cada bacia apresentados na tabela 4.7. Assim, o caudal global, se agora se admitir distribuído de igual forma por todos os

potenciais pontos de água, obtêm-se os caudais modestos apresentados na tabela 4.7. Aqueles valores são apenas indicadores mas acredita-se que poderão ser próximos de realidade em nascentes de origem muito profunda, e que aqueles pontos de águas associados a sistemas aquíferos superficiais naturalmente que terão caudais muito maiores no inverno, e a maioria anular-se-ão na época quente. Também se entende, que com captações, nomeadamente furos profundos a interetar zonas de circulação profunda também se poderão obter caudais em bombagem superiores aos valores apresentados na tabela 4.7, mas note-se que também há muitos momentos sem bombagem. De qualquer modo o cenário global é de reservas de água subterrânea muito modestas, e que naturalmente para potenciais aplicações, os caudais a obter terão que ser sempre muito bem geridos para o seu uso ser rentável.

**Tabela 4.7** - Valores relativos à recarga anual média e ao caudal unitário para cada bacia da área em estudo.

Bacia	Área		G/SH	SH (l/m <sup>2</sup> )	G (l/m <sup>2</sup> )	Recarga anual média		Caudal médio anual de uma única saída virtual (L/s)	Nº pontos de água	Caudal unitário (L/s)
	km <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>				L	m <sup>3</sup>			
Douro	3717,2	3717200000	0,30	237,5	71,25	2,64851×10 <sup>11</sup>	264850500	8398,35	226749,2	0,04
Mondego	1334,9	1334900000	0,34	556,2	189,11	2,5244×10 <sup>11</sup>	252440269	8004,83	81428,9	0,10
Tejo	472,9	472900000	0,34	640,1	217,63	1,02919×10 <sup>11</sup>	102919119	3263,54	28846,9	0,11

## 4.6. Aproveitamentos Atuais

### 4.6.1. Situação global

Neste item, e tendo em atenção os objetivos da presente dissertação apresentam-se apenas os locais que têm pontos de água em exploração, com águas classificadas junto à DGEG, como água mineral. Na figura 4.14 apresenta-se a localização dos referidos pontos, sendo de salientar que grande parte se localizam na bacia do Douro. Acrescenta-se ao mapa as Termas de S. Miguel em Fornos de Algodres, que são umas termas novas que já aparecem no site da DGEG (2016) no grupo das Termas com atividade suspensa, em estudo médico hidrológico. O contrato de concessão como água mineral natural foi celebrado em 26 de agosto de 2015 (D.R., 2015).



**Figura 4.14** - Localização dos pontos de água em exploração no distrito da Guarda (adaptado de DGEG, 2015).

Na tabela 4.8, apresentam-se as principais características dos pontos de água licenciados assim como do seu recurso. Não se apresentam dados de Corgas Largas por falta de elementos disponíveis na literatura.

Tabela 4.8 - Características dos pontos de água licenciados.

Parâmetros	Longroiva NT (Almeida e Almeida, 1975)	Longroiva AC1-A - P=211,4m (IGM 2000 in Ferreira Gomes 2001)	Fonte Santa de Almeida AQ1-P=931,3m (in Ferreira Guedes 2010)	Caldas da Cavaca (DGGM, 1992)	Termas de São Miguel-F2-P=230m) (Ferreira Gomes, 2014)	Caldas do Crô (Almeida e Almeida, 1973)	Caldas e Fonte Santa-Manteigas Nascente (DGGM, 1992)	Caldas e Fonte Santa-Manteigas Furo AC1 (IGM, 1998)	
Temperatura	21,6	47,5	31,0	27,9	14,5	23,3	21,5	48,8	
pH	8,79	8,85	8,53	8,3	5,89	8,3	9,5	9,2	
Condutividade ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	630	637	628	335,5	273	-	195	232	
Alcalinidade (ml 0,1 N)	-	-	-	26,8	26,8	-	11,8	11,9	
Sulfuração (mL <sub>2</sub> 0,01N/L)	14,0	46,3	7,2	n.d.	-	-	10,1	7,2	
Silica (mg/ L) - Si	65,9	67,5	30	56	25	54,9	29,4	39,0	
Dureza - p.p.10 <sup>5</sup> de CaCO <sub>3</sub>	-	0,75	1,4	1,58	1,5	-	0,9	0,75	
Resíduo seco a 180° (mg/L)	403,1	395	397	273	66,6	329,7	158,4	159,6	
Mineralização Total (mg/L) - Mt	-	457	527	360	77,9	-	169,1	179,3	
Catiões (mg/L)	Na <sup>+</sup>	125,6	125	148	86,7	9,25	109,3	43	43
	Ca <sup>2+</sup>	3,2	2,6	4,8	5,9	4	5,4	3,5	2,9
	K <sup>+</sup>	5,04	4,3	2,6	2,7	1,07	3,2	0,8	1,0
	Mg <sup>2+</sup>	0,24	0,04	0,41	0,46	1,06	0,4	0,1	< 0,03
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-	0,58	0,17	< l.d.	< 0,1	-	< l.d.	< 0,10
	Li <sup>+</sup>	0,56	0,78	0,37	0,4	0,021	-	0,18	0,14
	Fe <sup>2+</sup>	0,08	< 0,003	-	0,025	< 0,079	0,02	0,003	-
Aniões (mg/ L)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	159,8	146	261	163,5	23,10	151,1	31,1	43,3
	Cl <sup>-</sup>	51,8	45,4	53,6	21	7,10	38,7	6,7	6,0
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	14,9	12,7	0,11	1,9	0,68	12	12,7	12,5
	F <sup>-</sup>	8,7	24	17	15	0,210	17	9,9	10,2
	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	8,7	6,9	5,1	2,4	-	7,7	9,6	-
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-	< 0,38	0,23	< l.d.	6,10	0,2	< l.d.	< 0,12
	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	-	< 0,02	< 0,01	< l.d.	< 0,01	-	< l.d.	< 0,02
	SH <sup>-</sup>	0,86	7,6	1,3	0,05	-	3,1	1,7	-
Elementos Secundários (mg/L)	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	-	-	-	0,38	0,3375	-	0,02	-
	Al <sup>3+</sup>	-	< 0,012	0,0343	0,04	< l.d.	-	n.d.	-
	Mn <sup>2+</sup>	-	0,0011	0,003	0,0039	0,001935	-	0,003	-
	Br <sup>-</sup>	-	-	-	0,02	-	-	0,055	-
	Cs <sup>+</sup>	-	-	< 0,0012	0,03	< l.d.	-	n.d.	-
	Sr <sup>2+</sup>	-	0,088	0,0609	0,34	0,018025	-	n.d.	-
	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	< l.d.	< l.d.	-	0,135	-
	Be	-	< 0,001	0,00035	n.d.	0,00061	-	0,0002	-
	Pb	-	< 0,006	< 0,00057	0,0205	< l.d.	-	0,026	-
	Ag	-	< 0,0005	< 0,00005	n.d.	< l.d.	-	0,0002	-
	Cd	-	< 0,001	< 0,00003	0,0002	-	-	0,0003	-
	V	-	< 0,002	< 0,0028	n.d.	< l.d.	-	< l.d.	-
	Y	-	< 0,001	< 0,00006	n.d.	< l.d.	-	0,0001	-
	Sn	-	-	< 0,00006	n.d.	< l.d.	-	< l.d.	-
	Cr	-	< 0,006	0,00077	0,0052	< l.d.	-	< l.d.	-
	Ba <sup>2+</sup>	-	0,107	0,002	< l.d.	< l.d.	-	0,004	-
	I <sup>-</sup>	-	-	-	0,01	< l.d.	-	0,002	-
	Ti	-	-	< 0,00001	-	-	-	n.d.	-
	Rb <sup>+</sup>	-	-	0,0363	-	0,00594	-	n.d.	-
	As	-	< 0,003	< 0,0011	0,005	0,00688	-	0,014	-
	W	-	0,082	0,305	n.d.	-	-	n.d.	-
	Cu	-	< 0,002	0,0724	0,0062	< l.d.	-	< l.d.	-
	Zn	-	< 0,002	0,0029	0,0181	< l.d.	-	0,007	-
	Sb	-	< 0,003	< 0,00025	n.d.	< l.d.	-	0,003	-
	Ni	-	< 0,004	< 0,0017	0,0082	< l.d.	-	< l.d.	-
	Co	-	< 0,006	< 0,00004	0,0002	< l.d.	-	< l.d.	-
	Nb	-	-	< 0,00005	n.d.	-	-	< l.d.	-
	Mo	-	< 0,004	0,00078	n.d.	0,000266	-	0,01	-
	U	-	-	0,00023	n.d.	0,00195	-	-	-
	Se	-	< 0,003	0,0012	n.d.	< l.d.	-	-	-
	Zr	-	-	< 0,00099	n.d.	< l.d.	-	-	-
	Te	-	-	< 0,00016	n.d.	< l.d.	-	-	-
Bi	-	-	< 0,00003	n.d.	< l.d.	-	-	-	
Ta	-	-	< 0,00004	n.d.	< l.d.	-	-	-	
Hg	-	-	0,00037	n.d.	< l.d.	-	-	-	
Classificação	Sulfúrea Bicarbonatada Sódica Fluoretada				Bicarbonatada Sódica Silicatada	Sulfúrea Bicarbonatada Sódica Fluoretada			

Dos pontos de água em exploração salienta-se que, com exceção de Corgas Largas que a sua água é usada apenas para engarrafamento, todas as outras concessões são usadas para Termalismo. Enfatiza-se ainda o caso mais importante em relação à presente dissertação, que é o facto da situação de Longroiva ser um caso que além do termalismo, também está em laboração o uso da geotermia; para esta situação naturalmente que contribui o facto da água em exploração ser de um furo com cerca de 200m de profundidade e permitir a captação de água a 47,5°C. Salienta-se ainda o facto de a água mais quente do distrito da Guarda atualmente ser a captada em Manteigas, com 48,8°C.

Ao se observar detalhadamente os resultados da tabela 4.8 também merece ainda referencia o facto das concessões de Longroiva e de Manteigas terem águas a ressurgir nas suas nascentes antigas por volta de 22°C e as suas temperaturas máximas serem obtidas de furos com alguma profundidade; tal situação mostra do potencial que há, para este tipo de situações em se efetuarem furos profundos para aumentar a temperatura da água a captar, para assim potenciar aplicações no domínio da geotermia.

Outra particularidade é o facto de todas as águas sulfúreas apresentarem temperaturas de ressurgências superiores a 20°C orientando para que estas áreas tenham potencial geotérmico em profundidade.

Sendo o caso de Longroiva a única situação do distrito da Guarda com o uso da geotermia apresentam-se de seguida alguns elementos detalhados do mesmo aproveitamento.

## **4.6.2. Situação do aproveitamento de Longroiva**

### **4.6.2.1. Introdução**

O primeiro Plano de Exploração para as Termas de Longroiva no sentido de usar o recurso como água mineral em termalismo no balneário antigo, foi previsto logo na fase do Contrato de Concessão (D.R.,2005), com base nos trabalhos de Ferreira Gomes (2001a,b, in Ferreira Gomes,2015). No seguimento foi efetuada a primeira revisão do Plano de Exploração com base no relatório de Ferreira Gomes (2009b, in Ferreira Gomes, 2015) de modo a integrar o Balneário Novo como anexo da exploração com objetivo ao uso do recurso como água mineral no âmbito do termalismo. Só mais tarde, em 2010, no seguimento de algumas evoluções, com base em trabalho de Ferreira Gomes (2010, in Ferreira Gomes,2015) se efetuou segunda revisão do Plano de Exploração, para a classificação do recurso água mineral, também como recurso geotérmico, com aplicações geotérmicas no novo balneário. Foi ainda em 2011, que o balneário velho foi retirado oficialmente de Anexo de Exploração, no sentido do mesmo sofrer adaptações e melhoramentos para vir a servir como uma unidade hoteleira, e que a mesma viesse a usufruir de aproveitamento geotérmico a partir do recurso do Furo AC1A. Por fim, a

integração da geotermia do novo hotel no então Plano de Exploração foi efetuada com base no trabalho de Ferreira Gomes (2015). Apresenta-se na figura 4.15 a planta global do balneário termal e do hotel rural que usufruem de geotermia a partir da água quente da captação Furo AC1A.

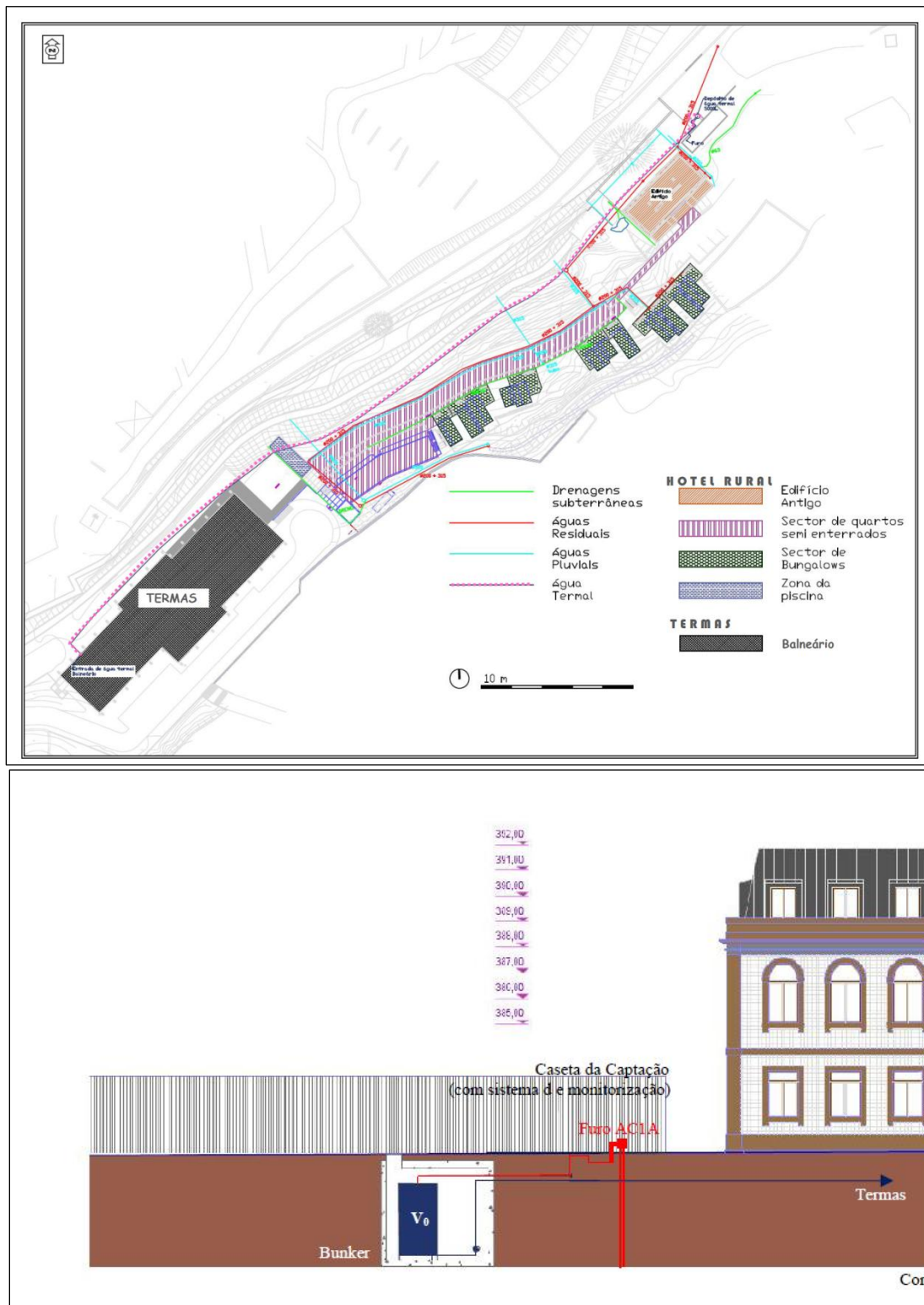
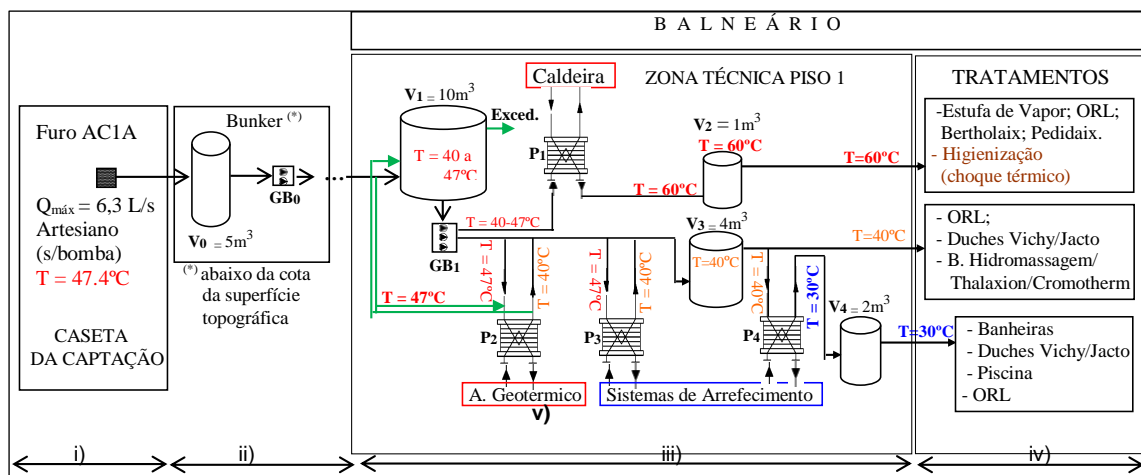


Figura 4.15 - Imagens sobre o Complexo Termal de Longroiva (a partir de Ferreira Gomes, 2015).

O processo de exploração da concessão de Longroiva pode ser organizado em cinco grandes componentes (Ferreira Gomes,2015):

- i) a Captação AC1A;
- ii) o reservatório de exterior e rede de adução;
- iii) o reservatório de interior as redes internas e sistemas associados até aos locais de consumo, no interior do balneário;
- iv) os vários pontos de consumo, ou equipamentos para os tratamentos termais, nas aplicações de saúde e bem-estar;
- v) o aproveitamento geotérmico e sistemas associados ou complementares.

Um esquema global de princípio com as várias componentes pode ser observado na figura 4.16. A captação está no interior de uma caseta, onde está também associado o sistema de monitorização. A água sai do furo por artesianismo e vai para o reservatório (V0) no interior de um bunker contíguo, em planta, à caseta, que por sua vez está associado a um Grupo de Bombagem (GB0) que lança a água no reservatório V1 já no interior do Balneário. A partir deste reservatório de água mineral e que se admite à temperatura aproximada de 47°C, desenvolvem-se vários sistemas associados de modo a que em especial resultem três redes de água mineral, para o termalismo, a diferentes temperaturas e respetivos reservatórios (30, 40 e 60°C como temperaturas de referência). Em associação aos sistemas anteriores há outros equipamentos, como os grupos de bombagem, permutadores, e ainda em complemento todo o Sistema Geotérmico.



**Figura 4.16** - Esquema de princípio sobre o Plano de Exploração do global do recurso do Furo AC1A, de Longroiva, com integração da geotermia (Ferreira Gomes,2015).

O balneário termal é constituído por um bloco de dois pisos, com uma forma retangular em planta de cerca de 90 m x 25 m, segundo uma direção global NE-SE no seu eixo maior, e apresenta dois pisos interligados por dois conjuntos de escadas/elevador nas zonas central e norte do edifício. O piso superior (piso 2) é dedicado à quase globalidade dos tratamentos

com exceção daqueles das vias respiratórias (ORL) que se localizam no piso inferior (piso1). Salienta-se ainda que é no piso 1 que se localiza a Zona Técnica, em especial no sector mais a sul e por baixo da piscina; é nessa zona que se desenvolvem as várias redes de distribuição de água mineral a diferentes temperaturas e outras, estando estas genericamente à vista, neste piso.

#### **4.6.2.2. Aspetos energéticos**

O aproveitamento geotérmico está implementado de modo a que a retirada de calor da água mineral, ou equivalente, seja aplicada nas seguintes situações:

- i) energia para aplicações em termalismo;
- ii) energia para aquecimento do ar ambiente das Termas;
- iii) energia no reaquecimento da água da piscina e do corredor de marcha, das Termas - Ep;
- iv) contribuição para aquecimento de espaços comuns e casas de banho no Hotel Rural, e de suas águas sanitárias - Ehr;
- v) energia para aquecimento da água da Piscina exterior- Ehp.

Na tabela 4.9 apresentam-se os vários valores de energias térmicas a ser usadas de acordo com a disponibilidade do recurso e sistemas implementados nas Termas e Hotel Rural de Longroiva.

Aspetos detalhados sobre o presente aproveitamento poderão observar-se em Ferreira Gomes (2015), salientando-se neste trabalho apenas o modo de avaliar a energia total disponível.

Para contabilizar a energia disponível, admitiu-se a temperatura de 15°C, como aquela temperatura de base no fluido a aquecer até aos 47°C. Note-se que a temperatura média ao longo do ano das águas subterrâneas da região ronda os 15°C, e se o recurso não fosse naturalmente quente, teria necessariamente que se aquecer, para o usar no termalismo. Assim, usando a equação fundamental de transmissão de calor (Monteiro, 2001, *in* Ferreira Gomes, 2015), obtém-se para uma Potência Disponível, a situação de acordo com o seguinte:

$$E = 6,3\text{kg/s} \times (47-15) \text{ }^\circ\text{C} \times 1\text{kcal/kg} = 201,6 \text{ kcal/s} = 844\text{kW}$$

O valor da potencia disponível, alargando-o ao ano todo e em continuo, uma vez que o Furo AC1A tem um caudal disponível de 6,3 L/s, obtém-se uma energia disponível por ano,  $E_d = 7392\ 564 \text{ kWh/ano}$ .

**Tabela 4.9** - Energias térmicas em kWh/ano, a ser usadas de acordo com a disponibilidade do recurso e sistemas implementados nas Termas e Hotel Rural de Longroiva (Ferreira Gomes, 2015).

Energia disponível - Ed	Energia no termalismo - Et	Energia para aquecimento do ar ambiente das Termas - Ec	Energia no reaquecimento da água da piscina e do corredor de marcha, das Termas - Ep	Energia para o Hotel Rural - Ehr	Energia para aquecimento da água da Piscina exterior- Ehp
7 392 564	770 612	517 104	462 000	303 696	841 836
Ed = 100 %	Et = 0,104 Ed	Ec = 0,069 Ed	Ep = 0,062 Ed	Ehr =0,041 Ed	Ehp=0,114 Ed

#### 4.6.2.3. Situação económica e ambiental

Para se ter alguma sensibilidade sobre aspetos económicos envolvidos em relação aos montantes de energia anteriormente apresentados quando se admite que essa energia poderia ser fornecida pelos meios tradicionais, avançam-se de seguida alguns elementos nesse sentido.

Admitindo, que a energia apresentada nas diferentes situações da tabela 4.10, poderia ser fornecida por uma caldeira a gás propano com poder calorífico (PCI) de 12,9kWh/kg (GDP, 1998, *in* Ferreira Gomes, 2015), com um rendimento de queima de 90%, levaria a gastar as quantidades de gás apresentadas na tabela 4.10; os custos resultantes com aquelas quantidades de gás propano considerando o pagamento de 0,80 euros/kg, serão os montantes apresentados na mesma tabela.

Considerando agora que aqueles níveis de energia, em vez de serem fornecidos por gás propano, fossem fornecidos como energia elétrica, a custos correntes de 0,159 euros/kWh, obtêm-se os montantes apresentados ainda na tabela 4.10, sendo de enfatizar que por serem muito superiores aos custos do gás propano, levariam sem dúvida um consumidor comum a optar por usar o gás, apesar de resultar daí uma significativa desvantagem ambiental devido à libertação de CO<sub>2</sub>.

Salienta-se no entanto que o CO<sub>2</sub>, é um dos principais gases que leva ao efeito estufa, e como é até já do saber comum, esta situação poderá levar a mudanças climáticas de tal ordem, capazes de provocarem impactos dramáticos no ambiente.

Assim, considerando as quantidades do gás propano com poder calorífico (PCI) de 12,9kWh/kg com rendimento de 90%, já apresentadas anteriormente para as várias situações de energia, e tendo em conta que no consumo de 1 grama de gás propano se formam 2,995 gramas de CO<sub>2</sub>

(Ferreira Gomes, 2007a), seriam produzidas as quantidades de CO<sub>2</sub> apresentadas tabela 4.10. Salienta-se que os valores em termos relativos são expressivos, pelo que mais uma motivação para que na área de influência das Termas de Longroiva e de seu Hotel Rural, se efetuem esforços no sentido de se otimizarem seus consumos energéticos, como inclusive outros consumidores serão muito bem vindos, como exemplo o caso de outras aplicações que necessitem de níveis de energia térmicos de temperaturas modestas, como poderá ser o caso de estufas ou até piscicultura de certas espécies.

**Tabela 4.10** - Energias máximas possíveis a ser usadas de acordo com a disponibilidade do recurso e sistemas implementados no Balneário Novo das Termas de Longroiva (Ferreira Gomes,2015).

Situação		Energia disponível (Ed)	Energia no termalismo - Et	Energia para aquecimento do ar ambiente das Termas - Ec	Energia no reaquecimento da água da piscina e do corredor de marcha, das Termas - Ep	Energia para o Hotel Rural - Ehr	Energia para aquecimento da água da Piscina exterior Ehp
Energia geotérmica (kWh/ano)		7 392 564	770 612	517 104	462 000	303 696	841 836
Gás Propano	(kg/ano) <sup>(i)</sup>	636 741	66 375	44 540	39 793	26 158	72 510
	(€/ano) <sup>(ii)</sup>	509 393	53 100	35 632	31 835	20 927	58 008
	CO <sub>2</sub> <sup>(iii)</sup> (tonelada)	1 907	199	133	119	78	217
Custo como Energia Elétrica (€/ano) <sup>(iv)</sup>		1 175 418	122 527	82220	73 458	48 288	133 852

(i) gás propano necessário para produzir a energia equivalente à energia geotérmica, considerando gás com poder calorífico (PCI) de 12.9kWh/kg, com um rendimento de queima de 90%; (ii) custos admitindo 0,80 €/kg; (iii) CO<sub>2</sub> produzido se os níveis de energia geotérmica fossem produzidos pelo gás propano; (iv) custos admitindo que a energia geotérmica seria fornecida como eletricidade a 0,159 €/kWh.

## 4.7. Aproveitamentos Potenciais

### 4.7.1. Elementos de base

Apresentou-se no item anterior uma situação à partida tremendamente pobre, no que diz respeito à existência de pontos de água. Refere-se esta situação, pois neste item demonstra-se que a partir da bibliografia há uma elevada quantidade de pontos de águas com características especiais de potencial semelhante aos que anteriormente foram apresentados como classificados.

Assim, na figura 4.17 e na tabela 4.11 apresentam-se os principais pontos de água inventariados principalmente de acordo com Almeida e Almeida(1970 e 1975), mas também com elementos de outros autores, nomeadamente DGGM (1992), IGM (1998), Ferreira Gomes (2001), Ferreira Guedes (2010), Ferreira Gomes *et al.* (2015) e Coelho Ferreira *et al.* (2015),



**Tabela 4.11** - Principais pontos de água inventariados, organizados de acordo com Almeida e Almeida (1975), e suas características físico-químicas mais relevantes (1/2).

Grupo	Sub-Grupo	Pontos de água	Q (L/s)	pH	T (°C)	Cond. (µS/cm)	SiO <sub>2</sub> (mg/L)	Na <sup>2+</sup> (mg/L)	K <sup>+</sup> (mg/L)	Mt (mg/L)	Rs (mg/L)
Alcalino-Sódicas	Sulfúreas	Manteigas - Nº 1 (Almeida e Almeida, 1975)	≈0,20	9,12	40,1	216,0	41,0	45,8	1,6	-	165,2
		Manteigas - Nº 2 (Almeida e Almeida, 1975)	≈0,22	9,32	45,3	229,0	48,3	52,5	1,7	-	178,0
		Manteigas - Fonte Santa (Almeida e Almeida, 1975)	≈0,80	9,50	21,5	224,0	44,0	48,5	1,3	169,1	158,4
		Caldas da Fonte Santa - Manteigas Nascente (DGGM, 1992))	≈6,3	9,50	21,5	195,0	29,4	43,0	0,8	169,1	158,4
		Caldas da Fonte Santa -Manteigas Furo AC1 (IGM, 1998)	-	9,20	48,8	232,0	39,0	43,0	1,0	179,3	159,6
		Cró (Almeida e Almeida, 1975)	-	8,30	23,3	549,0	54,9	109,3	3,2	-	329,7
		Cavaca (Almeida e Almeida, 1975)	-	8,30	27,9	409,0	51,8	76,7	4,4	360,0	273,0
		Cavaca (DGGM, 1992)	1,14	8,30	27,9	335,5	56,0	86,7	2,7	360,0	273,0
		Longroiva NT (Almeida e Almeida, 1975; Coelho Ferreira <i>et al.</i> , 2015)	0,28	8,79	21,6	630,0	65,9	125,6	5,0	457,0	403,1
		Longroiva - Furo AC1-A (IGM 2000 in Ferreira Gomes <i>et al.</i> , 2001)	6,3	8,85	47,5	637,0	67,5	125,0	4,3	457,0	395,0
		Aldeia Nova (Almeida e Almeida, 1975)	0,11	7,22	-	-	51,8	80,5	-	-	241,6
		Areola (Almeida e Almeida, 1975 in Coelho Ferreira <i>et al.</i> , 2015)	0,24	7,92	20,0	506,0	39,2	91,3	1,8	-	258,8
		Cótimos (Almeida e Almeida, 1975))	0,18	8,00	-	-	62,5	148,8	-	-	428,0
		Almeida (Almeida e Almeida, 1975)	-	8,53	-	-	39,2	120,3	-	527,0	397,0
		Fonte Santa de Almeida - Furo AQ1 (in Ferreira Gomes <i>et al.</i> , 2015)	4,0	8,53	31,0	628,0	30,0	148,0	2,6	527,0	397,0
		Sto. António (Celorico) (Almeida e Almeida, 1975)	0,22	7,78	-	-	80,3	122,4	-	-	374,0
		Sto. Amaro (Almeida e Almeida, 1975)	0,21	8,04	-	-	41,3	153,9	-	-	424,0
		Fonte do Banho (Almeida e Almeida, 1975)	-	6,70	-	-	20,0	61,9	-	-	166,4
		Chinchela (Almeida e Almeida, 1975)	-	7,52	-	-	78,3	132,9	-	-	421,6
		Abelhão (Almeida e Almeida, 1975)	-	8,18	-	-	76,3	125,1	-	-	405,6
	Ribapinhel (Almeida e Almeida, 1975)	-	7,36	-	-	14,5	44,2	-	-	158,8	
	Vilares (Almeida e Almeida, 1975)	-	8,65	-	-	49,0	108,0	-	-	279,6	
	Lagarteira (Almeida e Almeida, 1970)	0,08	7,82	-	-	28,2	96,8	-	-	290,8	
	Graben - Furo CR1 (IST, 2010 in Coelho Ferreira <i>et al.</i> , 2015)	0,28	7,97	19,8	563,0	26,0	112,0	2,6	481	-	
	Hipossalinas	Radium (Almeida e Almeida, 1975)	-	5,95	-	-	21,2	14,5	-	-	60,0
		Travancinha (Almeida e Almeida, 1975)	-	6,00	-	-	14,6	9,4	-	-	60,2
		Corujeira (Gonçalo) (Almeida e Almeida, 1975)	-	6,15	-	-	18,0	11,3	-	-	50,8
		C. de Pinhel - Nasc. Qta. da Torre (Almeida e Almeida, 1975)	-	6,20	-	-	25,8	20,2	-	-	94,8
		C. de Pinhel - Nasc. Qta. das Capelas (Almeida e Almeida, 1975)	-	6,38	-	-	21,8	10,1	-	-	64,8
		Fonte de Paulo Martins (Almeida e Almeida, 1975)	-	6,62	-	-	7,8	4,6	-	-	23,2
		Vale de Rossim (Almeida e Almeida, 1975)	-	5,61	-	-	6,6	5,8	-	-	31,2
		Soito do Bispo (Almeida e Almeida, 1975)	-	6,50	-	-	18,0	7,8	-	-	58,0
		Quinta da Várzea (Almeida e Almeida, 1975)	-	6,32	-	-	14,5	10,1	-	-	42,0
Fonte da Pedra (Almeida e Almeida, 1975)		-	6,08	-	-	14,5	4,1	-	-	29,6	
Quinta do Pombo (Almeida e Almeida, 1975)		-	6,56	-	45,6	18,4	8,0	-	-	42,8	
Santa Eufémia (Almeida e Almeida, 1975)		-	6,82	-	-	49,3	22,3	-	-	174,4	
Mondeguiño (Almeida e Almeida, 1975)		-	6,38	-	-	5,4	6,2	-	-	17,2	
Maçainhas (Almeida e Almeida, 1975)		-	5,32	-	-	11,6	8,7	-	-	42,0	
Ferraria (Almeida e Almeida, 1975)		-	7,42	-	-	9,4	15,2	-	-	88,4	
Termas de S. Miguel - F2 (in Ferreira Gomes, 2014)		0,8	5,89	14,5	273,0	25,0	9,3	1,1	77,9	66,6	

continua

**Tabela 4.11** - Principais pontos de água inventariados, organizados de acordo com Almeida e Almeida (1975), e suas características físico-químicas mais relevantes (2/2).

continuação											
Grupo	Sub-Grupo	Pontos de água	Q (L/s)	pH	T (°C)	Cond. (µS/cm)	SiO <sub>2</sub> (mg/L)	Na <sup>2+</sup> (mg/L)	K <sup>+</sup> (mg/L)	Mt (mg/L)	Rs (mg/L)
Iso-Ácido-Alcalino-Sódicas		Cume (Almeida e Almeida, 1975)	-	6,49	-	-	20,0	16,8	-	-	84,4
		Cruz da Faia (Almeida e Almeida, 1975)	-	5,80	-	-	13,3	10,4	-	-	42,0
Alcalino-Sódico-Cálcicas	Cloretadas	Fonte do Bispo (Almeida e Almeida, 1975)	-	6,51	-	-	31,3	148,4	-	-	892,8
		Chafariz Inosso (Almeida e Almeida, 1975)	-	6,64	-	-	16,5	141,9	104,0	-	829,2
		Folgosinho (Almeida e Almeida, 1975)	-	6,38	-	-	20,5	113,4	80,4	-	707,6
		Espinheiro (Almeida e Almeida, 1975)	-	7,01	-	-	18,0	63,7	55,6	-	389,6
	Bicarbonatadas	Almofala (Almeida e Almeida, 1975)	-	6,65	-	-	41,0	16,5	-	-	185,2
		C. de Pinhel - Fonte Ferrada (Almeida e Almeida, 1975)	-	7,63	-	-	42,0	19,8	-	-	189,2
		Prados (Almeida e Almeida, 1975)	-	7,29	-	-	38,5	23,9	-	-	232,0
		Vale de Coelho (Almeida e Almeida, 1975)	-	7,08	-	-	53,2	23,0	-	-	254,8
		Reigada (Almeida e Almeida, 1975)	-	6,40	-	-	41,6	16,8	-	-	184,8
	Sulfatadas	Longroiva - Férrea (Almeida e Almeida, 1975)	-	5,99	-	-	66,5	28,1	-	-	256,8
		Cortiçô (Almeida e Almeida, 1975)	-	5,80	-	-	15,3	20,0	-	-	85,2
Hiperácidas		Longroiva - Purgativa (Almeida e Almeida, 1975)	0,05	3,02	18,0	2062	53,2	150,0	12,4	-	2370,8

Nota: Valores em itálico correspondem a registos efetuados por Ferreira Gomes, 2016.

Salienta-se que a organização das várias águas foi efetuada de acordo como o seguido por Almeida e Almeida (1975), que genericamente seguem um critério de acordo com a composição química. Assim, são considerados os seguintes grupos de águas subterrâneas no distrito da Guarda:

- Alcalino-Sódicas
  - i) Sulfúreas
  - ii) Hipossalinas
- Iso-Ácido-Alcalino-Sódicas
- Alcalino-Sódico-Cálcicas
  - i) Cloretadas
  - ii) Bicarbonatadas
  - iii) Sulfatadas
- Hiperácidas

Realça-se que as águas mais frequentes são as sulfúreas, seguindo-se as hipossalinas, alcalino-sódico-cálcicas, e depois raramente as iso-ácido-alcalino-sódicas e as hiperácidas. Enfatiza-se que todas estas águas são consideradas especiais e de quimismo algo diferente do que as águas comuns do distrito da Guarda que genericamente são ligeiramente ácidas e hipossalinas e sem estabilidade físico-química ao longo do ano hidrológico. As águas inventariadas têm potencial de ser classificadas como minerais devido à sua elevada estabilidade que elas

tendem a apresentar. Essa foi a razão que levou a considerar no presente estudo as características das águas recolhidas e analisadas na maioria das situações já há alguns anos. Veja-se por exemplo o caso do pH da sulfúrea de Longroiva obtida na Nascente Tradicional por Almeida e Almeida em 1975, que é similar ao obtido para a água do Furo AC1-A do mesmo sistema aquífero por IGM em 2000 (*in* Ferreira Gomes *et al.*, 2001).

Em relação ao valores do pH de uma água, consideram-se as seguintes situações:

- pH = 7, água neutra;
- pH < 7, água ácida;
- pH > 7, água básica.

As águas sulfúreas são claramente as que apresentam pH com maiores valores, pertencendo o mais elevado à nascente das Caldas da Fonte Santa em Manteigas com o valor de 9,5; estas águas são portanto águas básicas. Em relação ao pH mais baixo, verifica-se em Longroiva - Purgativa com o valor de 3,02, o que também revela o facto de ser considerada uma água hiperácida.

Em relação à temperatura, pode considerar-se como água termal a água que surge no subsolo, à superfície com mais de 20°C, sendo esta a convenção seguida no Atlas do Recursos Geotérmicos da Europa, CEC (1988). Águas com temperaturas inferiores a 20°C consideram-se águas frias. Uma classificação com base na temperatura da água na emergência foi apresentada por Carvalho *et al.* (1961), podendo observar-se na tabela 4.12.

**Tabela 4.12** - Classificação dos tipos de água de acordo com a temperatura de emergência (Carvalho *et al.*, 1961).

Classificação	Temperatura de emergência em °C
Hipotermiais	< 25
Mesotermiais	25 < t ≤ 35
Termais	35 < t ≤ 40
Hipertermais	t > 40

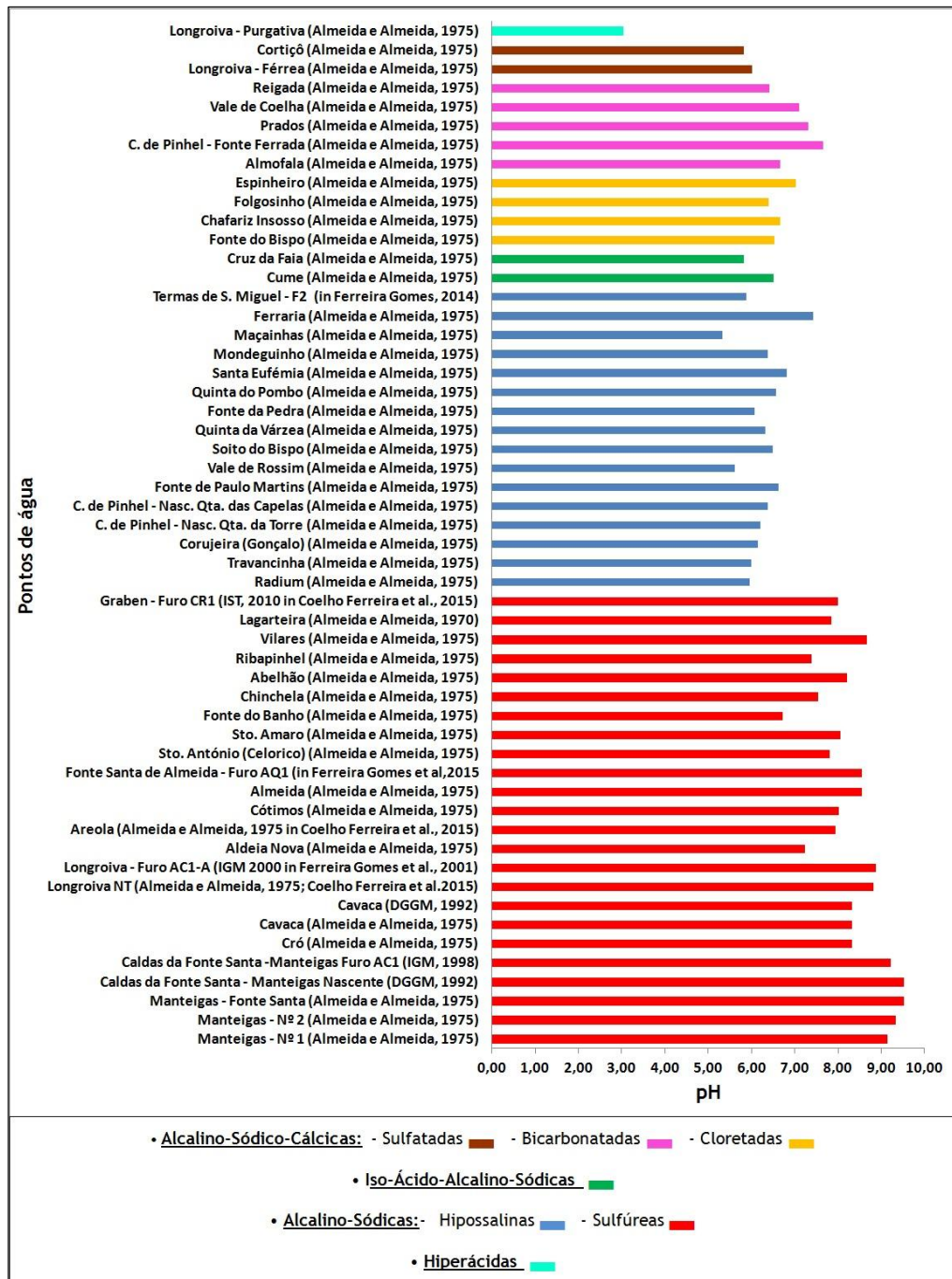


Figura 4.18 - Comparação de todos os pontos de água inventariados em relação ao pH.

Relativamente à temperatura, em Almeida e Almeida (1970 e 1975), a informação é escassa, facto esse que explica a falta de resultados no gráfico. No entanto, é categórico que os valores que não têm informação são seguramente inferiores a 20°C, pois todos os que em Portugal ressurgem com temperatura igual ou superior a 20°C na emergência aparecem registados no Catalogo de Recursos Geotérmicos (IGM, 1999).

Enfatiza-se o facto de se disponibilizar quase com exclusividade a temperatura das águas sulfúreas. Esta situação resulta pelo facto da as águas já legalizadas serem essencialmente

deste tipo, associando-se ao termalismo ativo da região, e são portanto à partida aquelas que apresentam mais potencial geotérmico.

Para as águas sulfúreas verifica-se a temperatura máxima no furo AC1 das Caldas da Fonte Santa em Manteigas com 48,8 °C. No grupo da águas Hipossalinas, aparece o furo F2 das termas de S. Miguel com 14,5 °C, sendo esta a temperatura mais baixa de todos os registos efetivos.

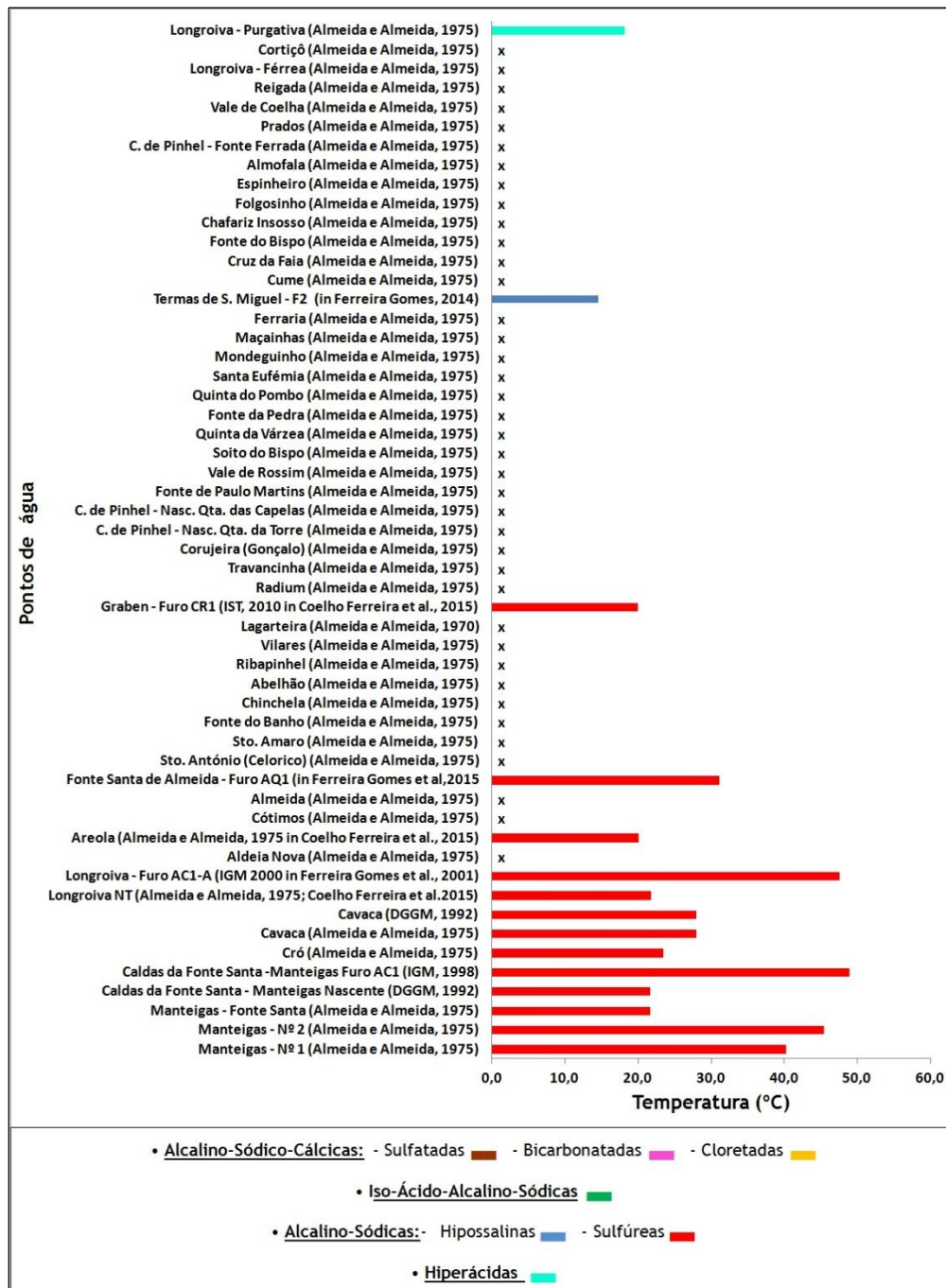


Figura 4.19 - Comparação de todos os pontos de água inventariados em relação à temperatura.

Relativamente à classificação quanto à temperatura só as águas de Longroiva e de Manteigas são hipertermais; as águas da Cavaca e de Almeida são mesotermiais, e todas as outras são hipotermiais.

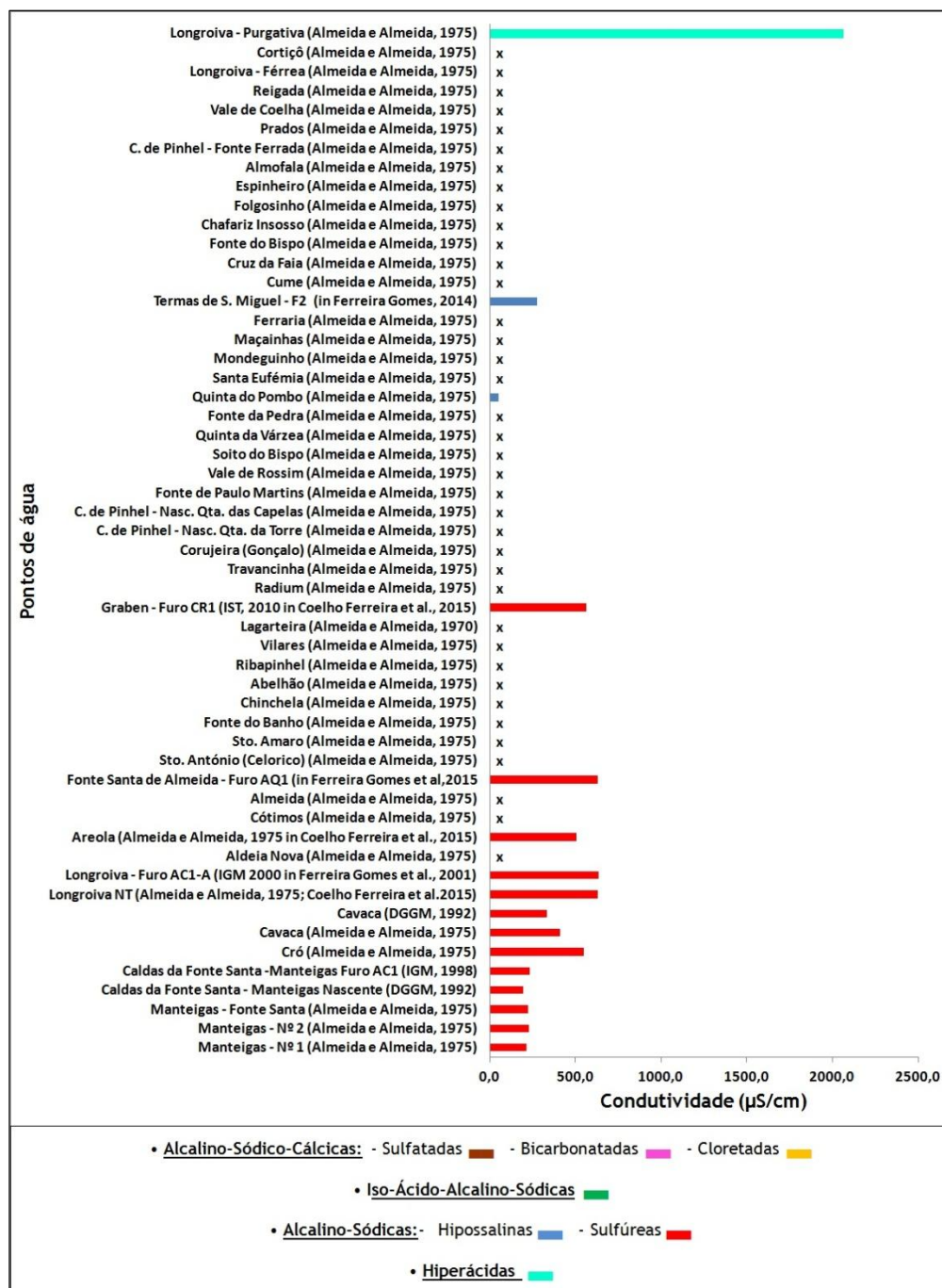


Figura 4.20 - Comparação de todos os pontos de água inventariados em relação à condutividade.

Referindo a condutividade, mais uma vez, a informação existe essencialmente para as águas sulfúreas, destacando-se o furo AQ1 em Almeida, a Longroiva NT e o furo AC1 em Longroiva, com 628 µS/cm, 630 µS/cm e 637 µS/cm respetivamente. A condutividade mais baixa verifica-se na Quinta do Pombo, com água pertencente ao grupo das hipossalinas, com o valor de 45,6

$\mu\text{S}/\text{cm}$ . . Enfatiza-se a singularidade da condutividade da purgativa de Longroiva ser elevada (2062  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) considerando-se um caso raro na região e que se atribui ao facto desta ressurgência estar associada a uma formação sedimentar de cobertura, sem significado à partida em termos de água de circulação profunda, no entanto estas singularidades deverão levar a alguns estudos mais aprofundados sobre a mesma.

Salienta-se que a condutividade é uma propriedade que está diretamente relacionada com a mineralização total e com o resíduo seco, no sentido de, genericamente, quanto maior são estes dois parâmetros, maior é a condutividade, ou seja, uma água muito mineralizada, tem um significativo resíduo seco, e é à partida muito condutora, apresentando portanto significativa condutividade.

Custódio e Llamas (2001) apresentam as classificações de águas função da mineralização total e do resíduo seco, de acordo com o apresentado nas tabelas 4.13 e 4.14.

**Tabela 4.13** - Classificação da água mineral em relação à mineralização total (Custódio e Llamas, 2001).

Designação	Mineralização Total
Hipossalina	<200 mg/L
Fracamente Mineralizada	200 a 1000 mg/L
Mesosalina	1000 a 2000 mg/L
Hipersalina	> 2000 mg/L

**Tabela 4.14**- Classificação da água mineral em relação ao resíduo seco (Custódio e Llamas, 2001).

Designação	Resíduo Seco (mg/L )
Água Doce	0 a 2000 (por vezes 3000)
Água Salobra	2000 a 5000 (por vezes 10000)
Água Salgada	5000 a 40000 (por vezes 100000)
Salmoura	>40000 (até à saturação)

A mineralização total em termos globais é mais elevada no grupo das águas sulfúreas, apresentando o seu máximo em Almeida com o valor de 527 mg/L. O valor mais baixo verifica-se nas Termas de S. Miguel em Fornos de Algodres, pertencente ao grupo das águas hipossalinas, com o valor de 77,9 mg/L. Não havendo dados disponíveis, mas devido à água purgativa apresentar considerável condutividade e considerável resíduo seco, seria de esperar, se se disponibilizasse de dados, que esta seria a água do distrito a apresentar maior mineralização total. Por outro lado, para as águas hipossalinas é de esperar que apresentem baixa mineralização total e baixa condutividade, tal como a água de Fornos de Algodres.

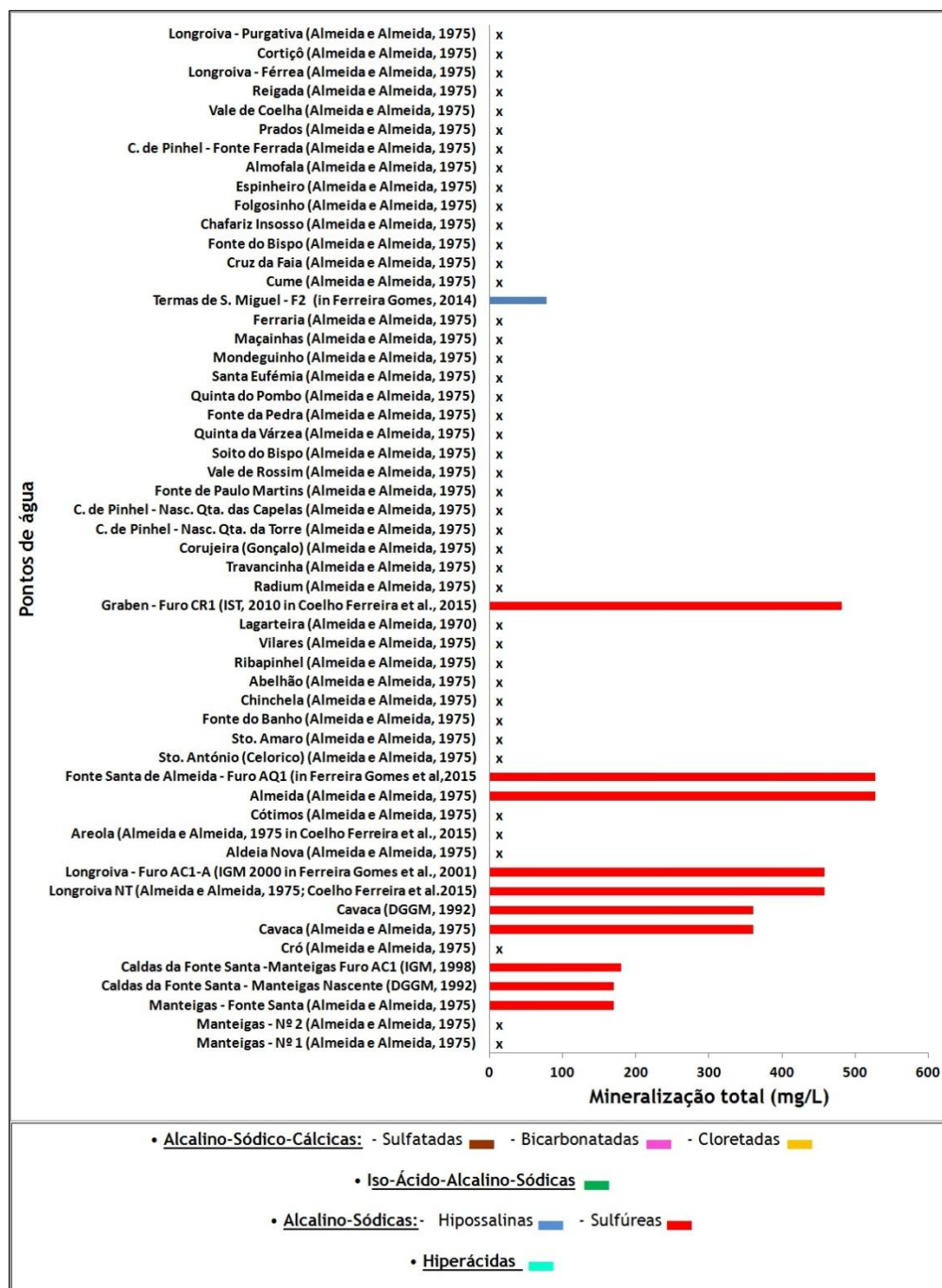


Figura 4.21 - Comparação de todos os pontos de água inventariados em relação à mineralização total.

Em relação ao resíduo seco, destaca-se claramente o grupo das águas hiperácidas, obtendo o valor máximo de 2370,8 mg/L em Longroiva - Purgativa. O valor mais baixo pertence ao grupo das águas hipossalinas, mais propriamente em Mondeguiño, com 17,2 mg/L.

Relativamente à classificação em termos de resíduo seco só a purgativa é que é considerada água salobra, sendo todas as outras águas doces.

Em relação à classificação de acordo com a mineralização total, destaca-se o grupo de hipossalinas que têm com certeza a mineralização total inferior a 200 mg/L, sendo de referir que a sulfúrea de Manteigas se associa a esta classificação. Menciona-se que o grande grosso das sulfúreas é classificada como fracamente mineralizadas, e por fim, o caso da purgativa, que não tendo resultados, com grande probabilidade se enquadra no grupo das hipersalinas com Mt superior a 2000 mg/L.

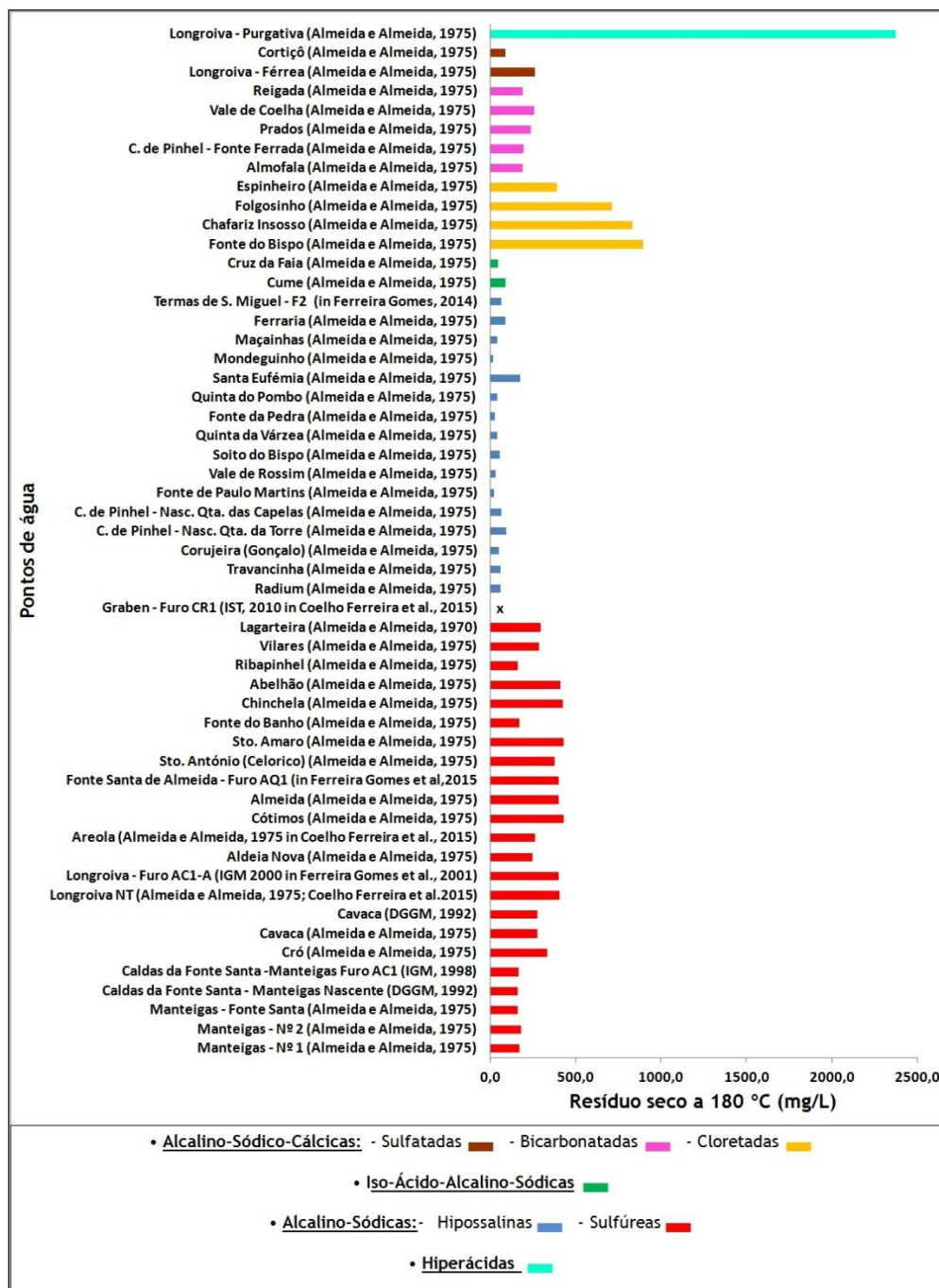


Figura 4.22 - Comparação de todos os pontos de água inventariados em relação ao resíduo seco a 180 °C.

Em relação à sílica ( $\text{SiO}_2$ ), o grupo das águas sulfúreas distingue-se claramente, verificando-se um máximo Santo António (Celorico) com o valor de 80,3 mg/L. O valor mais baixo verifica-se no grupo das águas hipossalinas com um valor de 5.4 mg/L, mais propriamente em Mondeguiño.

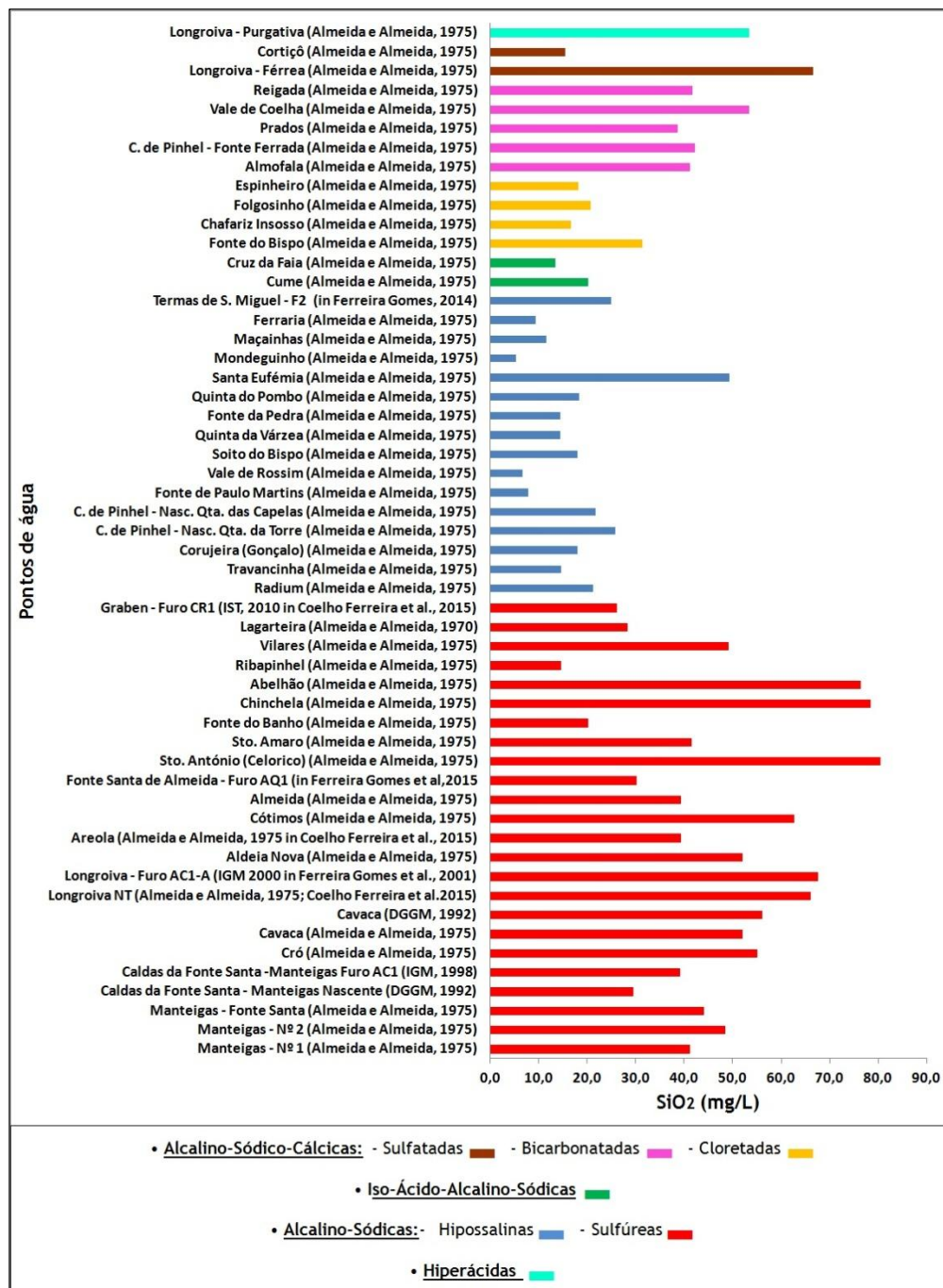


Figura 4.23 - Comparação de todos os pontos de água inventariados em relação à sílica ( $\text{SiO}_2$ ).

No que diz respeito ao sódio ( $\text{Na}^{2+}$ ), destaca-se o grupo das águas hiperácidas com o valor de 150 mg/L em Longroiva - Purgativa, mas no entanto, o valor mais elevado verifica-se no grupo das águas sulfúreas, em Santo Amaro com o valor de 153,9 mg/L. O valor mais baixo verifica-se na Fonte da Pedra, pertencente ao grupo das águas hipossalinas.

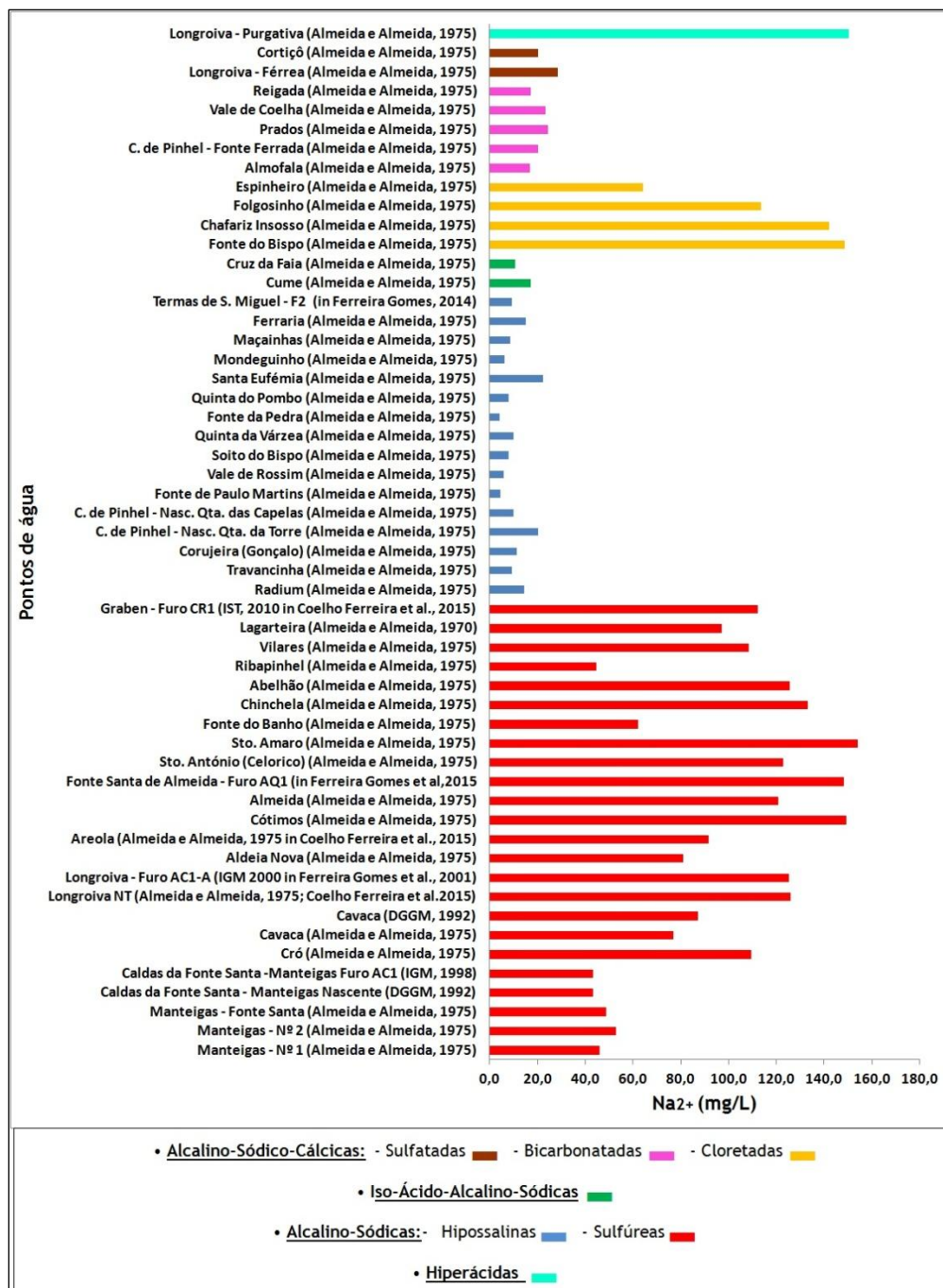


Figura 4.24 - Comparação de todos os pontos de água inventariados em relação ao sódio ( $\text{Na}^{2+}$ ).

Em relação ao potássio ( $K^+$ ), as águas sulfúreas apresentam-se de uma forma pobre, apresentando o valor mínimo na nascente das Caldas da Fonte Santa em Manteigas com o valor de 0,8 mg/L. Aqui destaca-se o grupo das águas Cloretadas, com um máximo no Chafariz Inosso com o valor de 104 mg/L.

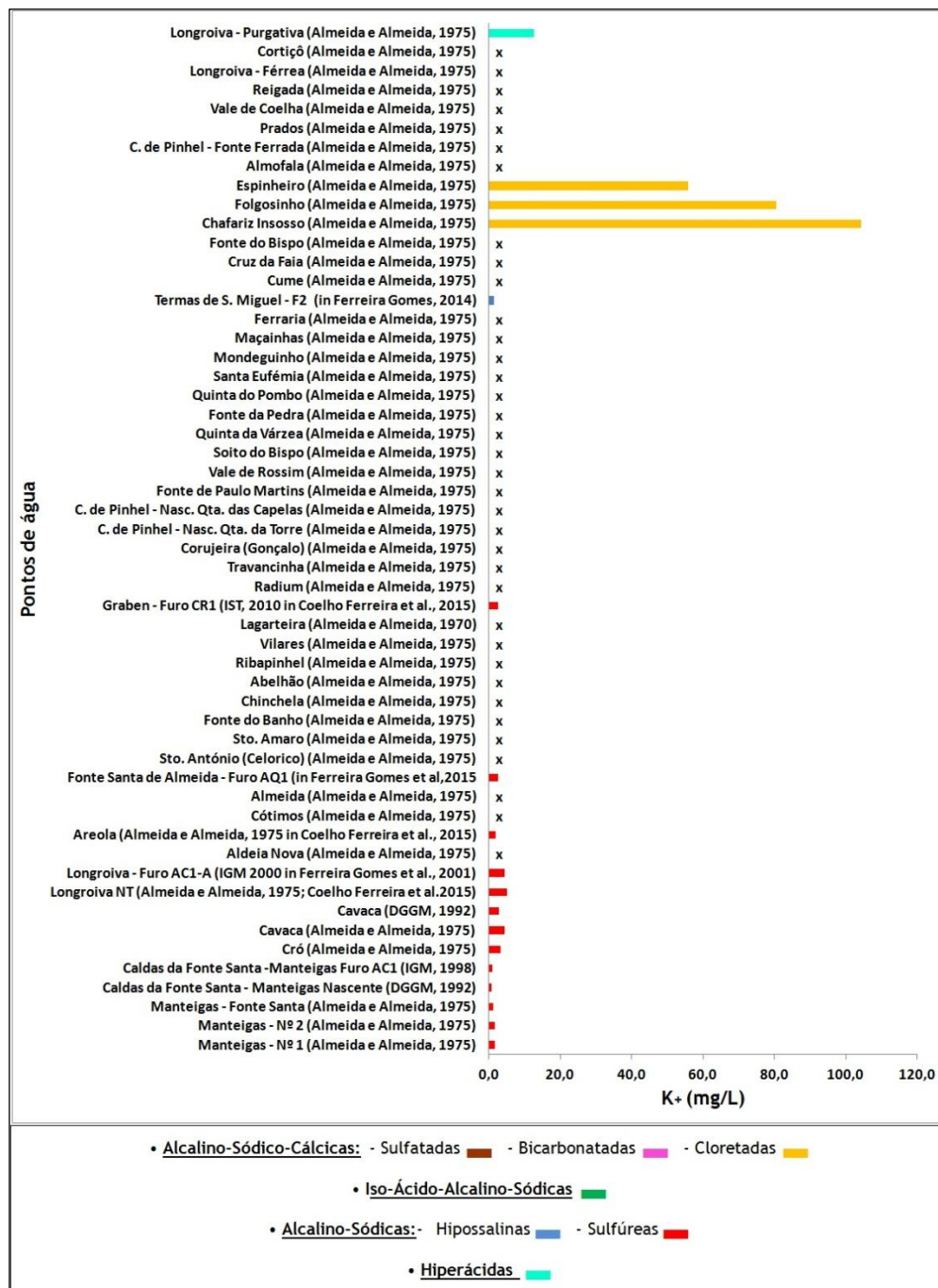


Figura 4.25 - Comparação de todos os pontos de água inventariados em relação ao potássio ( $K^+$ ).

## 4.7.2. Elementos geo-energéticos

O quimismo da água mostra, sem dúvida alguma, o tipo de rochas atravessadas ao longo da circulação subterrânea em todo o circuito geohidráulico das mesmas. Certos elementos químicos, mediante a sua composição, são particularmente proveitosos no sentido de se saber qual a temperatura a que essa água esteve sujeita, ao longo do seu trajeto. Sabendo-se a temperatura dos reservatórios e o respetivo gradiente geotérmico local, será mais simples programar captações de água subterrânea quente, de forma a viabilizar o seu aproveitamento.

Desta forma, tendo em consideração que as águas subterrâneas apresentadas na tabela 4.11, à partida têm uma circulação relativamente profunda, fazendo uso da sua composição química, pode calcular-se a temperatura de reservatório ( $T_r$ ), com base em geotermómetros. Existem diversas soluções disponibilizadas na literatura, no entanto no presente trabalho, tal como Ferreira Gomes *et al.* (2015) e ainda Coelho Ferreira *et al.* (2015) em especial em águas do distrito da Guarda (concelho de Meda), usam-se somente as equações que se baseiam na sílica ( $\text{SiO}_2$ ) e na relação de  $\text{Na}^{2+}/\text{K}^+$ , presentes na tabela 4.15, por se considerarem à partida as mais adequadas às águas em estudo. Salienta-se que as águas estudadas por aqueles autores foram apenas do tipo sulfúreas (S. Pedro do Sul, Carvalhal, Unhais da Serra, Termas de Águas-Penamacor, Granjal-Santa Comba Dão, Almeida, Longroiva, Areola e Graben). Reflexões com algum desenvolvimento sobre o uso de geotermómetros podem observar-se em Calado (2001) e Morais (2013). Os resultados obtidos no presente estudo apresentam-se nas tabelas 4.16, 4.18 e 4.19.

**Tabela 4.15** - Equações para estimar a temperatura de reservatório a partir da composição química das águas minerais utilizando geotermómetros (in Ferreira Gomes *et al.*, 2015).

Geotermómetro		Equação	Limitações	Autor
Quartzo condutivo (sílica)	1	$T_r = 1309/(5,19 - \log C) - 273,15$	$T = 0 - 250^\circ\text{C}$	Fournier (1981, 1991)
	2	$T_r = 1164/(4,9 - \log C) - 273,15$	$T = 25 - 180^\circ\text{C}$	Arnórsson (1983)
Quartzo adiabático (sílica)	3	$T_r = 1522/(5,75 - \log C) - 273,15$	$T = 0 - 250^\circ\text{C}$	Fournier (1981, 1991)
	4	$T_r = 1498/(5,7 - \log C) - 273,15$	$T = 25 - 180^\circ\text{C}$	Arnórsson (1983)
Na/k	5	$T_r = 855,6/(\log D + 0,8573) - 273,15$	$T = 100 - 275^\circ\text{C}$	Truesdell (1976 <i>in</i> Fournier 1981)
	6	$T_r = 883/(\log D + 0,78) - 273,15$	-	Tonani (1980 <i>in</i> Fournier 1991)
	7	$T_r = 933/(\log D + 0,993) - 273,15$	$T = 25 - 250^\circ\text{C}$	Arnórsson (1983)
	8	$T_r = 1217/(\log D + 1,483) - 273,15$	$T > 150^\circ\text{C}$	Fournier (1981, 1991)
	9	$T_r = 1178/(\log D) + 1,47 - 273,15$	$T = 25 - 250^\circ\text{C}$	Nieva and Nieva (1987 <i>in</i> Fournier, 1991)
	10	$T_r = 1390/(1,750 + \log D) - 273,15$	-	Giggenbach (1988)

C= sílica em mg/L; D= Na/K, com Na= sódio, K = potássio, ambos em mg/L.

**Tabela 4.16** - Temperaturas de reservatório (Tr-°C) a partir de equações de vários autores (tabela 4.15) admitindo à partida as águas em estudo com circulação profunda dos pontos de água sulfúrea do distrito da Guarda (\*).

G	S-G	Nascente	Eq. 1	Eq. 2	Eq. 3	Eq. 4	Eq. 5	Eq. 6	Eq. 7	Eq. 8	Eq. 9	Eq. 10	Média
Alcalino-Sódicas	Sulfúreas	Manteigas - Nº 1 (Almeida e Almeida, 1975)	92,8	80,9	94,7	93,4	96,6	121,6	107,7	140,8	129,3	160,3	91,7
		Manteigas - Nº 2 (Almeida e Almeida, 1975)	100,2	88,8	101,2	99,9	91,4	115,9	102,7	136,2	124,7	155,9	96,3
		Manteigas - Fonte Santa (Almeida e Almeida, 1975)	95,9	84,3	97,5	96,1	79,1	102,3	90,6	125,2	114,1	145,3	90,6
		Caldas da Fonte Santa - Manteigas Nascente (DGGM, 1992)	78,6	66,1	82,3	80,9	57,5	78,6	69,4	105,6	94,9	126,2	73,1
		Caldas da Fonte Santa - Manteigas Furo AC1 (IGM, 1998)	90,6	78,6	92,9	91,4	70,4	92,7	82,1	117,4	106,4	137,7	84,8
		Cró (Almeida e Almeida, 1975)	106,2	95,2	106,4	105,1	84,7	108,5	96,1	130,3	119,1	150,2	99,5
		Cavaca (Almeida e Almeida, 1975)	103,5	92,2	103,9	102,7	134,5	163,7	144,4	173,6	161,3	191,5	107,4
		Cavaca (DGGM, 1992)	107,2	96,2	107,2	105,9	88,8	113,0	100,1	133,9	122,6	153,7	101,0
		Longroiva NT (Almeida e Almeida, 1975)	115,2	104,6	114,0	112,8	106,5	132,5	117,3	149,5	137,8	168,6	110,6
		Longroiva - Furo AC1-A (IGM 2000 in Ferreira Gomes et al., 2001)	116,4	105,9	115,1	113,9	95,5	120,4	106,7	139,9	128,4	159,4	109,3
		Aldeia Nova (Almeida e Almeida, 1975)	103,5	92,2	103,9	102,7	-	-	-	-	-	-	100,6
		Areola (Almeida e Almeida, 1975 in Coelho Ferreira et al., 2015)	90,8	78,9	93,0	91,6	60,7	82,2	72,6	108,6	97,9	129,1	83,0
		Cótimos (Almeida e Almeida, 1975))	112,5	101,8	111,8	110,6	-	-	-	-	-	-	109,2
		Almeida (Almeida e Almeida, 1975)	90,8	78,9	93,0	91,6	-	-	-	-	-	-	88,6
		Almeida - Furo AQ1 (in Ferreira Guedes, 2010)	79,4	66,9	83,1	81,6	54,3	75,1	66,3	102,7	92,1	123,4	73,1
		Sto. António (Celorico) (Almeida e Almeida, 1975)	125,3	115,5	122,7	121,6	-	-	-	-	-	-	121,2
		Sto. Amaro (Almeida e Almeida, 1975)	93,1	81,3	95,0	93,6	-	-	-	-	-	-	90,8
		Fonte do Banho (Almeida e Almeida, 1975)	63,4	50,3	68,9	67,4	-	-	-	-	-	-	62,5
		Chinchela (Almeida e Almeida, 1975)	123,9	114,0	121,5	120,4	-	-	-	-	-	-	119,9
		Abelhão (Almeida e Almeida, 1975)	122,6	112,6	120,4	119,3	-	-	-	-	-	-	118,7
Ribapinhel (Almeida e Almeida, 1975)	51,8	38,2	58,5	56,9	-	-	-	-	-	-	51,4		
Vilares (Almeida e Almeida, 1975)	100,9	89,5	101,7	100,4	-	-	-	-	-	-	98,1		
Lagarteira (Almeida e Almeida, 1970)	76,9	64,3	80,8	79,3	-	-	-	-	-	-	75,3		
Graben - Furo CR1 (IST, 2010 in Coelho Ferreira et al., 2015)	73,6	60,9	77,9	76,4	70,3	92,6	81,9	117,3	106,3	137,6	71,8		

(\*) Valores apresentados a vermelho não são contabilizados no cálculo na média, por se considerarem desajustados; ver discussão no texto.

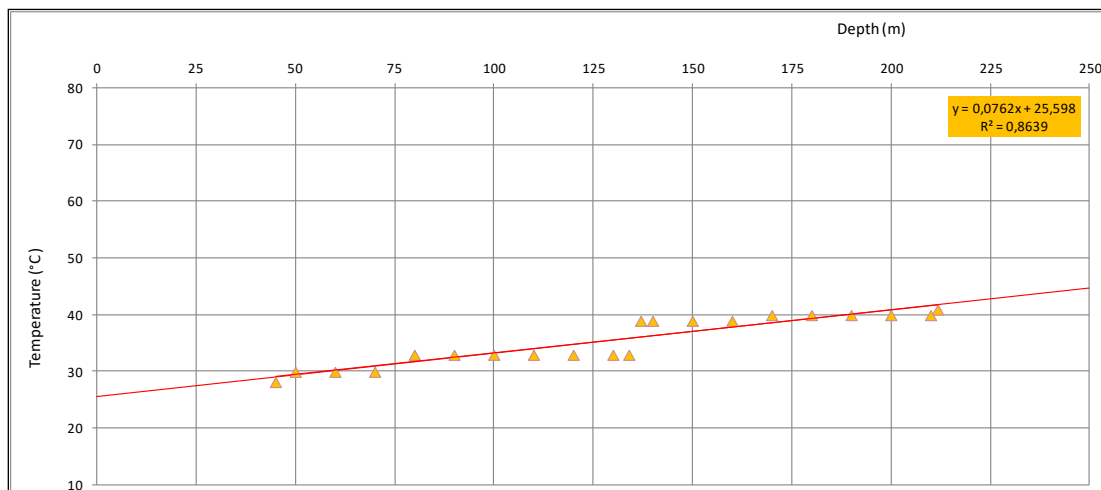
Analisando os resultados das águas sulfúreas, salienta-se que os vários geotermómetros com uso da sílica são convergentes e por isso à partida consideram-se os mais fidedignos de todas as aplicações. Os resultados obtidos para as equações que envolvem Na/K, apresentam situações muito heterogéneas; destas equações a que apresenta valores mais convergentes com os resultados da sílica é a equação 5. Assim, nestas águas sulfúreas apenas se consideram as equações 1 a 5 para a consideração do valor de temperatura de reservatório,

considerando a sua média, como se apresenta na tabela 4.16. De qualquer modo seria importante haver mais estudos a este respeito para haver mais certezas sobre este tipo de situações.

A nível do distrito da Guarda, merecem destaque alguns aspetos da bibliografia, como o caso de Coelho Ferreira *et al.* (2015), nomeadamente as Termas de Longroiva que evidenciam um grande potencial, onde houve mais estudos que resultaram no Furo AC1-A, furo esse realizado à rotopercussão, observando as temperaturas que iam sendo medidas ao longo da perfuração, com caudais sempre em artesianismo, permitindo obter a evolução presente na figura 4.26. Da análise gráfica dos registos obtém-se a seguinte equação:

$$T = 25,598 + 0,0762 D$$

com D a profundidade em metros, e T a temperatura em °C.



**Figura 4.26** - Evolução da temperatura em profundidade no maciço granítico na zona de Longroiva a partir de registos no Furo AC1-A, à medida que este foi sendo realizado em 1999 (Coelho Ferreira *et al.*, 2015).

Desta forma, pode referir-se que o gradiente geotérmico local apresenta o valor de 0,0762 °C/m, valor que é superior ao gradiente geotérmico médio da crosta terrestre 0,033 °C/m (IGM, 1999), sendo que, segundo Pomerol e Ricour (1992) o gradiente geotérmico considerado normal em maciços graníticos é de apenas 0,0125 °C/m. A situação obtida para a Longroiva é digna de registo pela positiva, por conduzir a um potencial geotérmico interessante a profundidades relativamente baixas.

Considerando o gradiente geotérmico obtido ao longo dos primeiros cerca de 200 m de profundidade, a partir da superfície, como constante em profundidade serão necessários

apenas cerca de 1450m de profundidade para atingir a temperatura de reservatório de 110°C apresentado na tabela 4.16.

Ainda segundo Coelho Ferreira *et al.* (2015), outro elemento interessante para o setor da Longroiva, é o facto da temperatura que se tem verificado ao longo do tempo, ter aumentado com um valor significativo, como se apresenta na tabela 4.17. Essa situação explica-se pelo fato de no início existir uma considerável troca de temperatura da água do furo para as suas paredes e envolvente. Pelo fato do furo ter uma exploração contínua possibilitou o aquecimento de toda a envolvente e assim a temperatura chega à superfície com valores próximos aos verificados no fundo do furo. Salienta-se que desde o momento da construção do furo (com T = 41°C) a água aumentou de um  $\Delta T = 6,4^\circ\text{C}$  em cerca de 13 anos, estando atualmente a 47,4°C.

**Tabela 4.17-** Temperatura da água do furo AC1A ao longo do tempo no setor de Longroiva desde o momento da sua construção (1999) (Coelho Ferreira *et al.*, 2015).

Data	1999/02	1999//04	1999/05	2000/10	2005/08	2007/08	2009/07	2012/0
T (°C)	41,0	43,9	44,2	45,4	46,8	47,0	47,2	47,4

Sobre os resultados dos geotermómetros nas águas organizadas como hipossalinas à partida não há interesse, pois genericamente estas águas sendo pouco mineralizadas apresentam circuitos geohidráulicos pouco extensos e pouco profundos; de qualquer modo há casos singulares em Portugal em que águas deste tipo apresentam alguma termalidade, como é o caso da água do Luso com 27°C e de Monfortinho com 28°C (tabela 3.1). Veja-se ainda o caso de Manteigas, que sendo sulfúrea é também hipossalina de acordo com a classificação de Custódio e Llamas, 2001 (tabela 4.13) e apresenta uma temperatura excepcional no Furo AC1, com 48,8°C.

Assim, pelos resultados apresentados na tabela 4.18 também aqui se considera que os geotermómetros com alguma eventual aplicabilidade são os da sílica; veja-se o caso da água de Fornos de Algodres que ao aplicar geotermómetros de Na/K dão valores absurdos de acordo com o modelo geohidráulico da zona que as águas são relativamente pouco profundas. Dos vários casos das hipossalinas, à partida não apresentam grande potencial, merecendo realce o caso de Santa Eufémia (Pinhel), C. de Pinhel - Nasc. Qta. da Torre e mesmo o caso das Termas de S. Miguel em Fornos de Algodres com temperaturas acima de 70°C. Também neste grupo há de facto necessidade de mais estudos para se poderem tirar conclusões mais rigorosas.

**Tabela 4.18** - Temperaturas de reservatório (Tr - °C) a partir de equações de vários autores (tabela 4.15) admitindo à partida as águas em estudo com circulação relativamente profunda dos pontos de água hipossalina do distrito da Guarda (\*).

G	S-G	Nascente	Eq. 1	Eq. 2	Eq. 3	Eq. 4	Eq. 5	Eq. 6	Eq. 7	Eq. 8	Eq. 9	Eq. 10	Média
Alcalino-Sódicas	Hipossilinas	Radium (Almeida e Almeida, 1975)	65,7	52,6	70,9	69,4	-	-	-	-	-	-	64,6
		Travancinha (Almeida e Almeida, 1975)	52,0	38,4	58,8	57,1	-	-	-	-	-	-	51,6
		Corujeira (Gonçalo) (Almeida e Almeida, 1975)	59,5	46,2	65,5	63,9	-	-	-	-	-	-	58,8
		C. de Pinhel - Nasc. Qta. da Torre (Almeida e Almeida, 1975)	73,3	60,5	77,7	76,2	-	-	-	-	-	-	71,9
		C. de Pinhel - Nasc. Qta. das Capelas (Almeida e Almeida, 1975)	66,7	53,7	71,9	70,3	-	-	-	-	-	-	65,6
		Fonte de Paulo Martins (Almeida e Almeida, 1975)	31,4	17,3	40,2	38,4	-	-	-	-	-	-	31,8
		Vale de Rossim (Almeida e Almeida, 1975)	26,4	12,1	35,5	33,8	-	-	-	-	-	-	26,9
		Soito do Bispo (Almeida e Almeida, 1975)	59,5	46,2	65,5	63,9	-	-	-	-	-	-	58,8
		Quinta da Várzea (Almeida e Almeida, 1975)	51,8	38,2	58,5	56,9	-	-	-	-	-	-	51,4
		Fonte da Pedra (Almeida e Almeida, 1975)	51,8	38,2	58,5	56,9	-	-	-	-	-	-	51,4
		Quinta do Pombo (Almeida e Almeida, 1975)	60,3	47,1	66,2	64,6	-	-	-	-	-	-	59,6
		Santa Eufémia (Almeida e Almeida, 1975)	101,2	89,8	101,9	100,7	-	-	-	-	-	-	98,4
		Mondeguinho (Almeida e Almeida, 1975)	20,5	6,2	30,2	28,4	-	-	-	-	-	-	21,3
		Maçainhas (Almeida e Almeida, 1975)	44,1	30,3	51,7	50,0	-	-	-	-	-	-	44,0
		Ferraria (Almeida e Almeida, 1975)	37,3	23,3	45,5	43,8	-	-	-	-	-	-	37,4
Termas de S. Miguel - F2 (in Ferreira Gomes, 2014)	72,0	59,2	76,6	75,0	206,9	244,8	213,4	232,3	218,8	246,5	70,7		

(\*) Valores apresentados a vermelho não são contabilizados no cálculo na média, por se considerarem desajustados; ver discussão no texto.

Sobre os resultados dos geotermómetros nas águas organizadas como nos grupos iso-ácida-alcalino-sódica, cloretada, bicarbonatada, sulfatada e hiperácida há situações muito interessantes.

Desde logo se entende que os geotermómetros que envolvem Na/K dão valores absurdos. Os outros casos correspondem a situações muito diversas, e devido à falta de informação disponibilizada em termos de geologia detalhada e em termos de modelos geohidráulicos respetivos, não se avançam grandes ilações, de qualquer modo salienta-se que se obtêm em alguns casos temperaturas de muito potencial, remetendo para estudos futuros.

**Tabela 4.19** - Temperaturas de reservatório (Tr- °C) a partir de equações de vários autores (tabela 4.15) admitindo à partida as águas em estudo com circulação profunda dos pontos de água iso-ácida-alcalino-sódica, cloretada, bicarbonatada, sulfatada e hiperácida, do distrito da Guarda (\*).

G	S-G	Nascente	Eq. 1	Eq. 2	Eq. 3	Eq. 4	Eq. 5	Eq. 6	Eq. 7	Eq. 8	Eq. 9	Eq. 10	Média		
Iso-Ácido-Alcalino-Sódicas		Cume (Almeida e Almeida, 1975)	63,4	50,3	68,9	67,4	-	-	-	-	-	-	62,5		
		Cruz da Faia (Almeida e Almeida, 1975)	48,8	35,1	55,9	54,2	-	-	-	-	-	-	-	48,5	
Alcalino-Sódico-Cálcicas	Cloretadas	Fonte do Bispo (Almeida e Almeida, 1975)	81,2	68,78	84,6	83,1	-	-	-	-	-	-	-	79,4	
		Chafariz Inosso (Almeida e Almeida, 1975)	56,4	42,9	62,7	61,0	589,1	691,9	554,0	479,0	460,8	464,3	-	55,8	
		Folgosinho (Almeida e Almeida, 1975)	64,4	51,2	69,8	68,2	576,8	676,9	543,6	472,4	454,3	458,7	-	63,4	
		Espinheiro (Almeida e Almeida, 1975)	59,5	46,2	65,5	63,9	660,5	779,2	613,7	516,1	497,3	495,2	-	58,8	
		Almofala (Almeida e Almeida, 1975)	92,8	80,9	94,7	93,4	-	-	-	-	-	-	-	-	90,5
		C. de Pinhel - Fonte Ferrada (Almeida e Almeida, 1975)	93,9	82,1	95,7	94,3	-	-	-	-	-	-	-	-	91,5
	Bicarbonatadas	Prados (Almeida e Almeida, 1975)	90,0	78,0	92,3	90,9	-	-	-	-	-	-	-	87,8	
		Vale de Coelha (Almeida e Almeida, 1975)	104,7	93,6	105,1	103,8	-	-	-	-	-	-	-	101,8	
		Reigada (Almeida e Almeida, 1975)	93,4	81,6	95,3	93,9	-	-	-	-	-	-	-	91,1	
		Longroiva - Férrea (Almeida e Almeida, 1975)	115,6	105,1	114,4	113,2	-	-	-	-	-	-	-	112,1	
	Sulfatadas	Cortiço (Almeida e Almeida, 1975)	53,7	40,2	60,2	58,6	-	-	-	-	-	-	-	53,2	
		Longroiva - Purgativa (Almeida e Almeida, 1975)	104,7	93,6	105,1	103,8	167,9	200,9	176,3	201,2	188,3	217,6	-	101,8	

<sup>(\*)</sup> Valores apresentados a vermelho não são contabilizados no cálculo na média, por se considerarem desajustados; ver discussão no texto.

Na figura 4.27 apresenta-se um gráfico com a síntese de todos os valores de Tr de modo a se tirarem as seguintes noções gerais:

- as águas sulfúreas são claramente as que apresentam maiores temperaturas de reservatório, destacando-se Santo António (Celorico), Chinchela e Abelhão, com 121,2 °C, 119 °C e 118 °C respetivamente;

- destacam-se também a Longroiva-Férrea, com 112,1 °C, pertencente ao grupo das águas sulfatadas.

- as águas hipossalinas são as que apresentam menores temperaturas de reservatório, merecendo referencia Mondeguinho, com 21,3 °C, Vale de Rossim, com 26,9 °C e Fonte de Paulo Martins, com 31,8 °C.

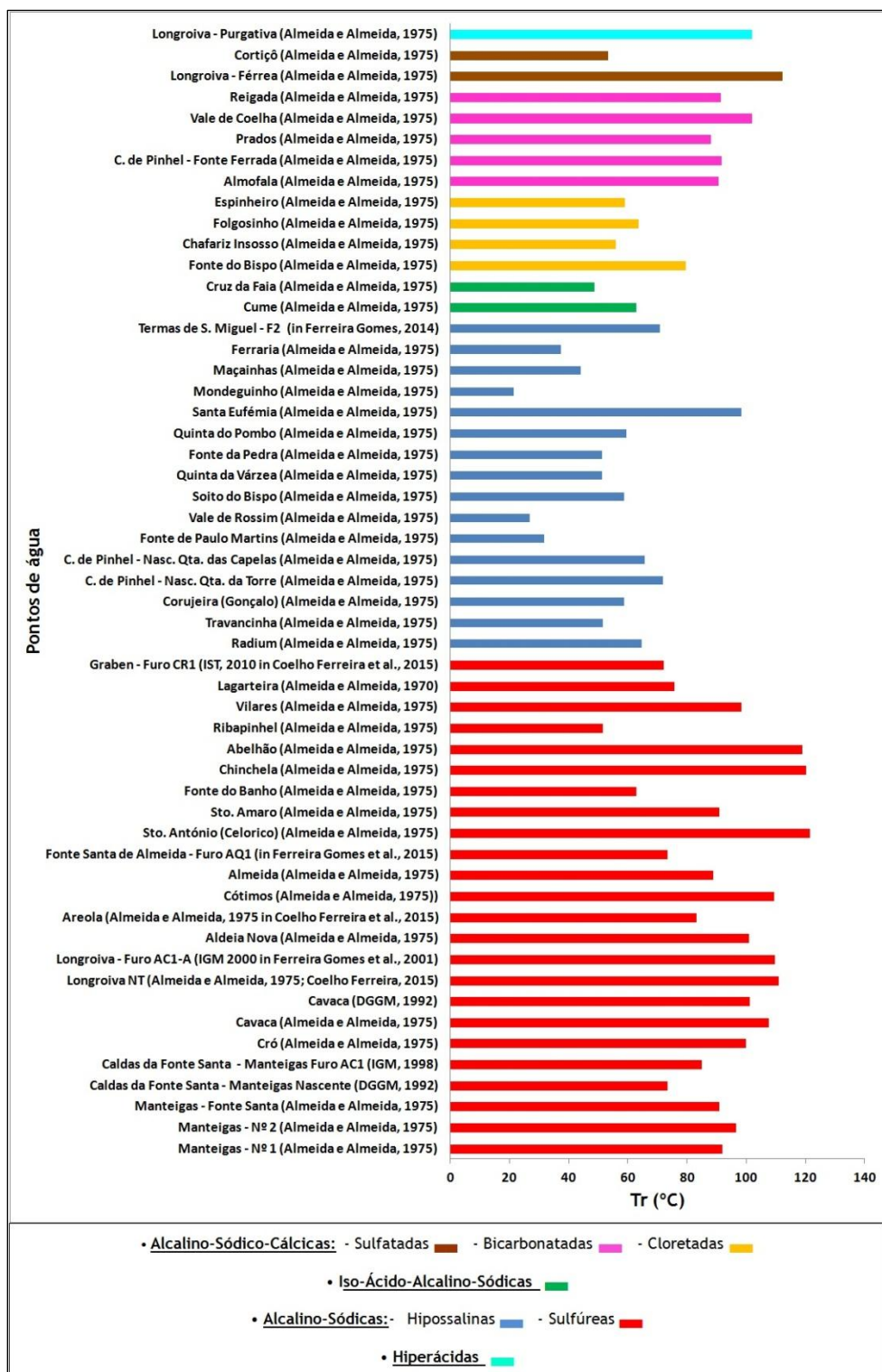


Figura 4.27 - Comparação de todos os pontos de água inventariados em relação à temperatura de reservatório (Tr).

Pelos resultados anteriores, em que se apontam as temperaturas máximas de reservatório (Tr) ou seja as temperaturas que à partida é possível obter em profundidade nas zonas de cada ponto de água. Fica entretanto uma pergunta: mas a que profundidade exata? Essa reposta,

apesar de aproximada e em termos de ordem de grandeza ,pode obter-se a partir da proposta de Rybach (1990).

Rybach (1990), considerando situações de águas termominerais de circulação profunda, como os casos em estudo, aplicam-se modelos que explicam transferência de calor da água termomineral entre o reservatório e a superfície onde emerge. Os modelos têm em consideração a temperatura do reservatório ( $T_r$ ), a temperatura da descarga ( $T_s$ ), o caudal de descarga ( $Q$ ) e a profundidade máxima ( $D$ ) do circuito hidrotermomineral. A perda de calor é calculada com base numa expressão do tipo:  $T_r - T_s = f(Q, D, \text{Geometria})$ . A aplicação de uma variável adimensional,  $\theta$ , facilita o cálculo matemático, segundo a expressão (Rybach,1990):

$$\theta = (T_s - T_E) / (T_r - T_E) = f(Q, D, \text{Geometria})$$

onde  $T_E$  é a temperatura média anual do ar na região da emergência.

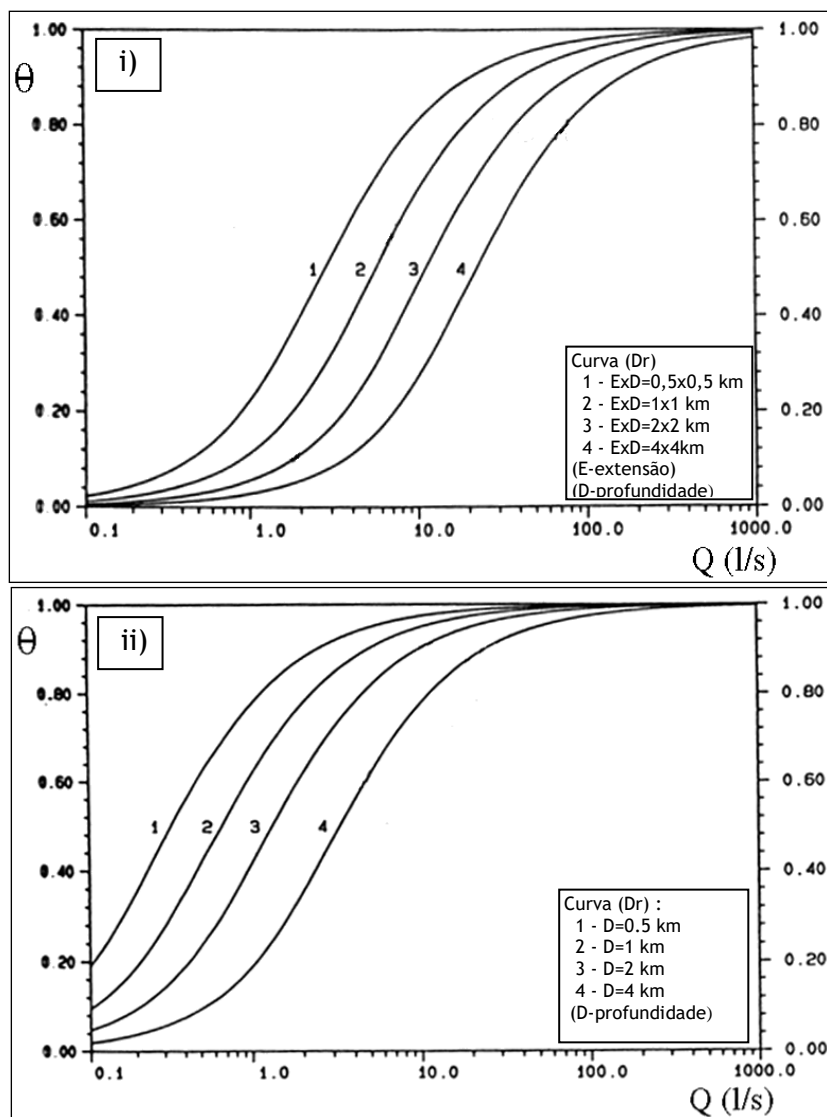
Os modelos experimentados por Rybach (1990) adaptam-se ao contexto geológico do presente trabalho. Trata-se de dois tipos de modelos: modelo de tudo vertical (conduta cilíndrica) e modelo de fratura plana (conduta plana). Estes modelos apresentam-se na figura 4.28.

Considerando os resultados disponíveis dos pontos de água em estudo, calcula-se o parâmetro  $\theta$ , sendo o mesmo apresentado na tabela 4.20, juntamente com os outros parâmetros considerados nos cálculos.

Enfatiza-se a particularidade das temperaturas de emergência dos casos em que não se disponibilizavam experimentalmente, serem admitidas de acordo com o seguinte:

- no grupo das águas sulfúreas foram admitidas como tendo 20°C;
- no caso das águas hipossalinas tomou-se o valor de base obtido experimentalmente para a água das Termas de S. Miguel, em Fornos de Algodres; os outros pontos sujeitaram-se a alguns ajustes, função da bacia em que se encontram, no sentido de sofrerem as mesmas oscilações que as temperaturas médias anuais do ar; assim, os pontos de água da bacia do Mondego, onde se insere portanto a água das Termas de S. Miguel, atribuiu-se 14,5°C, na bacia do Douro, atribuiu-se 16,5°C e na Bacia do Tejo 15°C;
- nos outros casos devido a serem pontos muito especiais considerou-se 17,5°C, ainda assim, ligeiramente ao obtido para a água purgativa de Longroiva.

Em relação aos caudais, salienta-se também o facto de nas situações em que não se dispunha experimentalmente, usaram-se os caudais obtidos no item do balanço hidrológico para as três bacias consideradas.



**Figura 4.28** - Modelos experimentados por Rybach (1990) para cálculo das profundidades de aquíferos: i) modelo de fratura plana (conduta plana) ; ii) modelo de tubo vertical (conduta cilíndrica).

Posteriormente, usando os modelos de Rybach referidos que melhor se ajustam a cada caso, obtêm-se os resultados apresentados nas figuras 4.29, 4.30 e 4.31, ou seja, a profundidade de reservatório para cada um dos pontos de água em estudo, tendo em consideração a divisão por bacia. Os valores de profundidade de reservatório ( $Dr$ ) apresentam-se ainda na tabela 4.20 e no gráfico da figura 4.32.

**Tabela 4.20** - Parâmetros para o cálculo da variável  $\theta$  para estimar a profundidade de reservatório de água mineral, considerando os modelos termodinâmicos de Rybach (1990), para os pontos de água do distrito da Guarda (1/2).

Bacia	Pontos de água	Classificação	Q (L/s)	Ts (°C)	T <sub>E</sub> (°C)	Tr (°C)	$\theta$	Dr (m)
Douro	Cró (Almeida e Almeida, 1975)	Sulfúrea	0,04*	23,30	11,51	99,51	0,13	800
	Longroiva NT (Almeida e Almeida, 1975; Coelho Ferreira, 2015)	Sulfúrea	0,28	21,60	11,51	110,62	0,10	2700
	Longroiva - Furo AC1-A (IGM 2000 in Ferreira Gomes et al., 2001)	Sulfúrea	6,30	47,50	11,51	109,34	0,37	1900
	Aldeia Nova (Almeida e Almeida, 1975)	Sulfúrea	0,11	20,0**	11,51	100,60	0,10	1000
	Areola (Almeida e Almeida, 1975 in Coelho Ferreira et al., 2015)	Sulfúrea	0,24	20,00	11,51	83,00	0,12	1930
	Cótimos (Almeida e Almeida, 1975))	Sulfúrea	0,18	20,0**	11,51	109,17	0,09	1980
	Almeida (Almeida e Almeida, 1975)	Sulfúrea	0,04*	20,0**	11,51	88,57	0,11	970
	Fonte Santa de Almeida - Furo AQ1 (in Ferreira Gomes et al. 2015)	Sulfúrea	4,00	31,00	11,51	73,06	0,32	1400
	Fonte do Banho (Almeida e Almeida, 1975)	Sulfúrea	0,04*	20,0**	11,51	62,51	0,17	750
	Chinchela (Almeida e Almeida, 1975)	Sulfúrea	0,04*	20,0**	11,51	119,99	0,08	1300
	Abelhão (Almeida e Almeida, 1975)	Sulfúrea	0,04*	20,0**	11,51	118,72	0,08	1200
	Ribapinhel (Almeida e Almeida, 1975)	Sulfúrea	0,04*	20,0**	11,51	51,35	0,21	480
	Vilares (Almeida e Almeida, 1975)	Sulfúrea	0,04*	20,0**	11,51	98,13	0,10	900
	Lagarteira (Almeida e Almeida, 1970)	Sulfúrea	0,08	20,0**	11,51	75,33	0,13	850
	Graben - Furo CR1 (IST, 2010 in Coelho Ferreira et al., 2015)	Sulfúrea	0,28	19,80	11,51	71,82	0,14	1650
	C. de Pinhel - Nasc. Qta. da Torre (Almeida e Almeida, 1975)	Hipossalina	0,04*	16,5**	11,51	71,92	0,08	1300
	C. de Pinhel - Nasc. Qta. das Capelas (Almeida e Almeida, 1975)	Hipossalina	0,04*	16,5**	11,51	65,64	0,09	1000
	Soito do Bispo (Almeida e Almeida, 1975)	Hipossalina	0,04*	16,5**	11,51	58,78	0,11	900
	Quinta da Várzea (Almeida e Almeida, 1975)	Hipossalina	0,04*	16,5**	11,51	51,35	0,13	750
	Quinta do Pombo (Almeida e Almeida, 1975)	Hipossalina	0,04*	16,5**	11,51	59,55	0,10	900
	Santa Eufémia (Almeida e Almeida, 1975)	Hipossalina	0,04*	16,5**	11,51	98,40	0,06	1950
	Maçainhas (Almeida e Almeida, 1975)	Hipossalina	0,04*	16,5**	11,51	44,04	0,15	800
	Cume (Almeida e Almeida, 1975)	Iso-Ácido-Alcalino-Sódicas	0,04*	17,5**	11,51	62,51	0,12	900
	Fonte do Bispo (Almeida e Almeida, 1975)	Cloretadas	0,04*	17,5**	11,51	79,41	0,09	1200
	Almofala (Almeida e Almeida, 1975)	Bicarbonatada	0,04*	17,5**	11,51	90,45	0,08	1600
	C. de Pinhel - Fonte Ferrada (Almeida e Almeida, 1975)	Bicarbonatada	0,04*	17,5**	11,51	91,47	0,07	1700
	Prados (Almeida e Almeida, 1975)	Bicarbonatada	0,04*	17,5**	11,51	87,82	0,08	1300
	Vale de Coelha (Almeida e Almeida, 1975)	Bicarbonatada	0,04*	17,5**	11,51	101,79	0,07	1500
	Reigada (Almeida e Almeida, 1975)	Bicarbonatada	0,04*	17,5**	11,51	91,07	0,08	1400
	Longroiva - Férrea (Almeida e Almeida, 1975)	Sulfatada	0,04*	17,5**	11,51	112,09	0,06	2000
Longroiva - Purgativa (Almeida e Almeida, 1975)	Hiperácida	0,05	17,5**	11,51	101,79	0,07	1980	

continua

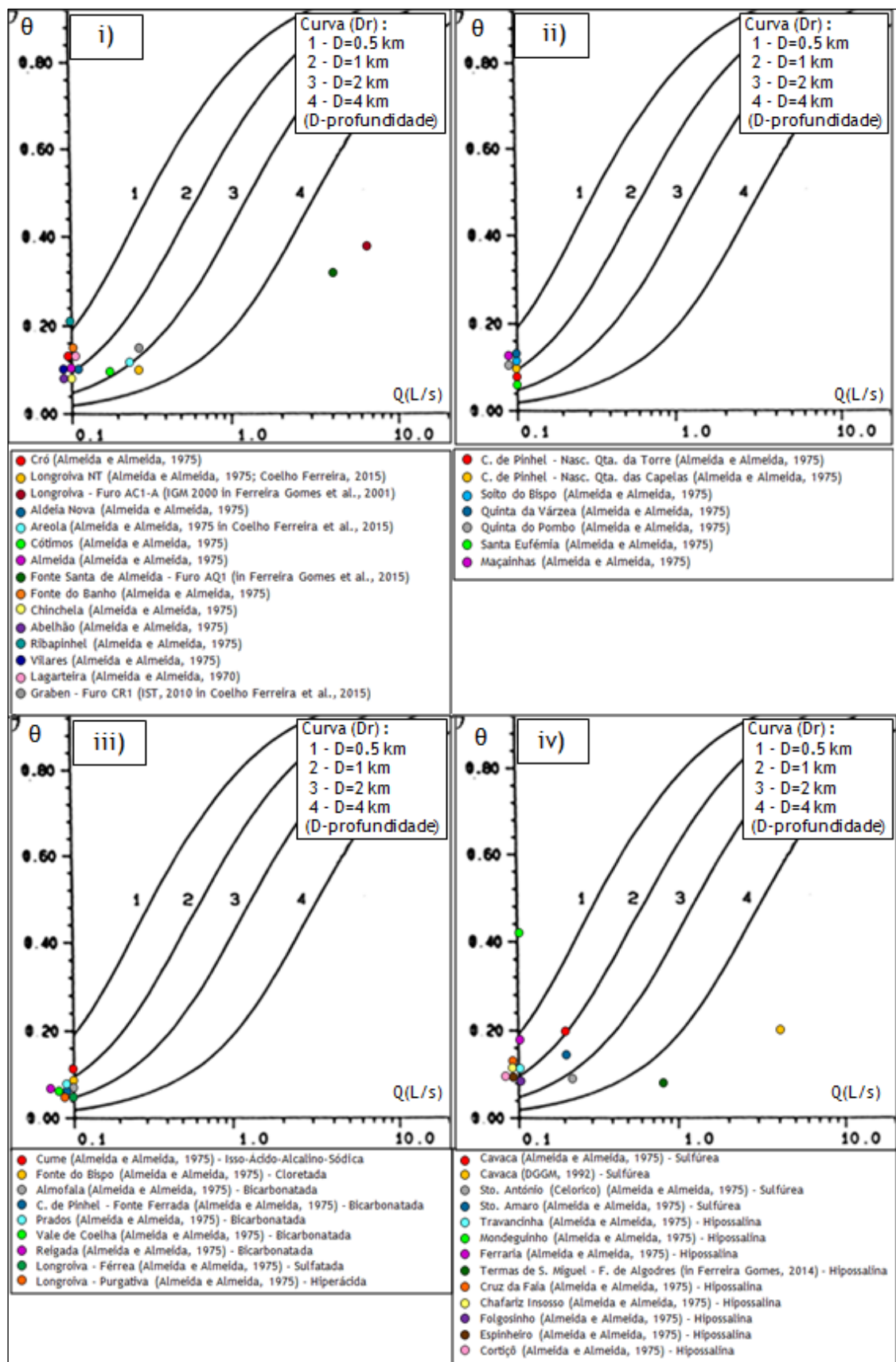
**Tabela 4.20** - Parâmetros para o cálculo da variável  $\theta$  para estimar a profundidade de reservatório de água mineral, considerando os modelos termodinâmicos de Rybach (1990), para os pontos de água do distrito da Guarda (2/2).

continuação

Bacia	Pontos de água	Classificação	Q (L/s)	Ts (°C)	T <sub>E</sub> (°C)	Tr (°C)	$\theta$	Dr (m)
Mondego	Cavaca (Almeida e Almeida, 1975/Morais 2012)	Sulfúrea	0.20(*1)	27,90	9,51	107,39	0,19	1000
	Cavaca (DGGM, 1992/ Morais 2012)	Sulfúrea	4,00(*1)	27,90	9,51	101,04	0,20	2000
	Sto. António (Celorico) (Almeida e Almeida, 1975)	Sulfúrea	0,22	20,0**	9,51	121,24	0,09	2500
	Sto. Amaro (Almeida e Almeida, 1975)	Sulfúrea	0,21	20,0**	9,51	90,76	0,13	1300
	Travancinha (Almeida e Almeida, 1975)	Hipossalina	0,10*	14,5**	9,51	51,59	0,12	950
	Mondeguinho (Almeida e Almeida, 1975)	Hipossalina	0,10*	14,5**	9,51	21,31	0,42	120
	Ferraria (Almeida e Almeida, 1975)	Hipossalina	0,10*	14,5**	9,51	37,44	0,18	680
	Termas de S. Miguel - F. de Algodres (in Ferreira Gomes, 2014)	Hipossalina	0,80	14,5	9,51	70,73	0,08	800
	Cruz da Faia (Almeida e Almeida, 1975)	Hipossalina	0,10*	14,5**	9,51	48,48	0,13	750
	Chafariz Inosso (Almeida e Almeida, 1975)	Hipossalina	0,10*	14,5**	9,51	55,75	0,11	900
	Folgosinho (Almeida e Almeida, 1975)	Hipossalina	0,10*	14,5**	9,51	63,40	0,09	1200
	Espinheiro (Almeida e Almeida, 1975)	Hipossalina	0,10*	14,5**	9,51	58,78	0,10	1000
	Cortiçô (Almeida e Almeida, 1975)	Hipossalina	0,10*	14,5**	9,51	53,17	0,11	980
Tejo	Manteigas - N° 1 (Almeida e Almeida, 1975)	Sulfúrea	≈0,20	25,5	10,01	91,68	0,19	950
	Manteigas - N° 2 (Almeida e Almeida, 1975)	Sulfúrea	≈0,22	25,5	10,01	96,28	0,18	1050
	Manteigas - Fonte Santa (Almeida e Almeida, 1975)	Sulfúrea	≈0,80	21,50	10,01	90,58	0,14	1400
	Caldas da Fonte Santa - Manteigas Nascente (DGGM, 1992)	Sulfúrea	≈0,80	21,50	10,01	73,06	0,18	1100
	Caldas da Fonte Santa - Manteigas Furo AC1 (IGM, 1998)	Sulfúrea	≈6,3	48,80	10,01	84,76	0,52	2250
	Radium (Almeida e Almeida, 1975)	Hipossalina	0,11*	15,0**	10,01	64,62	0,09	1200
	Corujeira (Gonçalo) (Almeida e Almeida, 1975)	Hipossalina	0,11*	15,0**	10,01	58,78	0,10	980
	Fonte de Paulo Martins (Almeida e Almeida, 1975)	Hipossalina	0,11*	15,00	10,01	31,82	0,23	450
	Vale de Rossim (Almeida e Almeida, 1975)	Hipossalina	0,11*	15,0**	10,01	26,95	0,29	300
	Fonte da Pedra (Almeida e Almeida, 1975)	Hipossalina	0,11*	15,0**	10,01	51,35	0,12	850

\* valores de caudal calculados aquando do balanço hidrológico para cada bacia hidrográfica.

\*\* valores assumidos por este se enquadrarem no patamar das temperaturas mais usuais, no caso das águas subterrâneas, de acordo com explanação no decorrer do texto. (\*1) caudais para a Nascente Tradicional e para o Furo AC1 de 220m, segundo Morais (2012).



**Figura 4.29** - Ábacos de modelo de tudo vertical (conduta cilíndrica) com os pontos de água da: i) bacia do Douro - águas sulfúreas; ii) bacia do Douro - águas hipossalinas; iii) bacia do Douro - águas isso-ácido-alcalino-sódicas, cloretadas, bicarbonatadas, sulfatadas e hiperácidas; iv) bacia do Mondego - águas sulfúreas e hipossalinas.

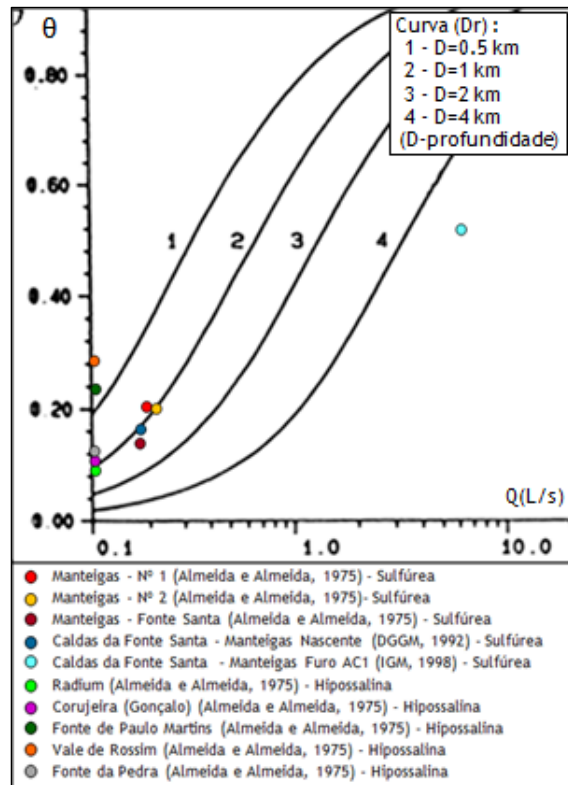


Figura 4.30 - Ábacos de modelo de tudo vertical (conduta cilíndrica) com os pontos de água da bacia do Tejo - águas sulfúreas e hipossalinas.

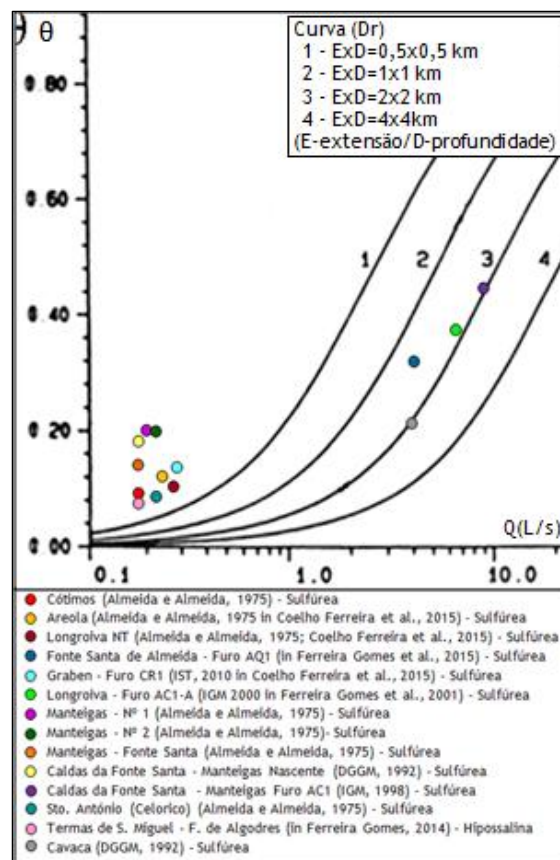


Figura 4.31 - Ábacos de modelo de fratura plana (conduta plana) com os pontos de água considerados mais relevantes, aos quais se adapta melhor este mesmo modelo.

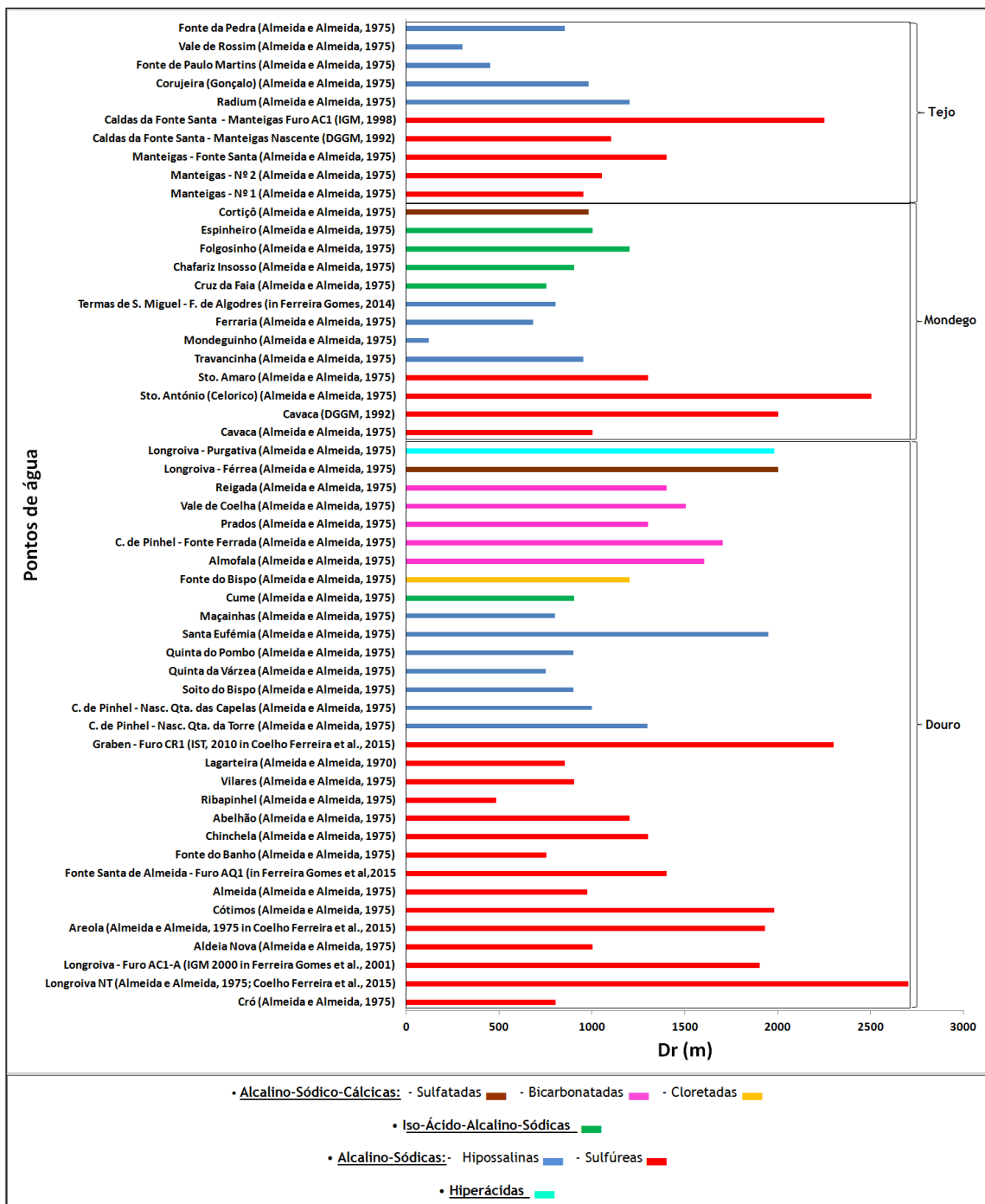


Figura 4.32 - Profundidades de reservatório obtidos para os pontos de água estudados do distrito da Guarda tendo em consideração a divisão por bacia hidrográfica.

Dos resultados obtidos é de enfatizar o seguinte:

- para o caso do grupo das águas sulfúreas, apresentam profundidade do reservatório no máximo de 2700m para o caso de Longroiva, com base nos resultados da nascente antiga, e um valor muito próximo, 2500m, no caso de Celorico (Sto. António);

- para o caso do grupo considerado das águas hipossalinas, as profundidades são bem mais modestas, com um máximo em Santa Eufémia com 1950 m; esta situação seria de esperar pois estas águas apresentam modelos geohidráulicos pouco profundos, além da sua temperatura de reservatório também ser muito modesta;

- para os outros casos, merecem destaque Longroiva - Férrea com 2000 m e Longroiva - Purgativa com 1980 m, a mesmas pertencentes ao grupo das águas sulfatadas e hiperácidas, respetivamente.

Salienta-se que, ao se analisarem as situações nas diferentes bacias, à partida não há diferenças em relação aos valores obtidos de Dr.

Interessa agora fazer o exercício para cada caso de ponto de água, de se saber qual o gradiente geotérmico que se obtém.

Nesse sentido usa-se a seguinte equação:

$$T_i = T_0 + G P_i$$

sendo:

-  $T_i$  a temperatura (°C) correspondente à profundidade  $P_i$  (m);

-  $T_0$  é a temperatura (°C) que corresponde à ordenada na origem de uma regressão retilínea que represente a evolução da temperatura local em profundidade; segundo Ferreira Gomes *et al.* (2015) este valor tende a ser convergente com os valores de temperatura da água da ressurgência à superfície local; por isso, no presente estudo, para os vários locais usam-se as temperaturas da água das nascentes locais,  $T_s$ , temperaturas de descarga, apresentadas na tabela 4.20;

-  $G$  é a variação de temperatura local (°C/m), correspondente ao gradiente geotérmico.

Assim aplicando aquela equação para a situação de  $T_i = T_r$ , e  $P_i = D_r$ , obtêm-se os gradientes geotérmicos apresentados nas tabelas 4.21 a 4.23 e na figura 4.33.

**Tabela 4.21** - Síntese dos elementos sobre potencial geotérmico para os locais dos pontos de água da bacia do Douro do Distrito da Guarda.

Bacia	Pontos de água	Ts (°C)	TE (°C)	Tr (°C)	Tr - Ts (°C)	Dr (m)	G (°C/m)
Douro	Cró (Almeida e Almeida, 1975)	23,3	11,51	99,51	76,2	800	0,0953
	Longroiva NT (Almeida e Almeida, 1975; Coelho Ferreira et al., 2015)	21,6	11,51	110,62	89,0	2700	0,0330
	Longroiva - Furo AC1-A (IGM 2000 in Ferreira Gomes et al., 2001)	47,5	11,51	109,34	61,8	1900*	0,0325
	Aldeia Nova (Almeida e Almeida, 1975)	20,0	11,51	100,60	80,6	1000	0,0806
	Areola (Almeida e Almeida, 1975 in Coelho Ferreira et al., 2015)	20,0	11,51	83,0,	63,0	1930	0,0326
	Cótimos (Almeida e Almeida, 1975)	20,0	11,51	109,17	89,2	1980	0,0450
	Almeida (Almeida e Almeida, 1975)	20,0	11,51	88,57	68,6	970	0,0707
	Fonte Santa de Almeida - Furo AQ1 (in Ferreira Gomes et al., 2015)	31,0	11,51	73,06	42,1	1400*	0,0300
	Fonte do Banho (Almeida e Almeida, 1975)	20,0	11,51	62,51	42,5	750	0,0567
	Chinchela (Almeida e Almeida, 1975)	20,0	11,51	119,99	100,0	1300	0,0769
	Abelhão (Almeida e Almeida, 1975)	20,0	11,51	118,72	98,7	1200	0,0823
	Ribapinhel (Almeida e Almeida, 1975)	20,0	11,51	51,35	31,4	480	0,0653
	Vilares (Almeida e Almeida, 1975)	20,0	11,51	98,13	78,1	900	0,0868
	Lagarteira (Almeida e Almeida, 1970)	20,0	11,51	75,33	55,3	850	0,0651
	Graben - Furo CR1 (IST, 2010 in Coelho Ferreira et al., 2015)	19,8	11,51	71,82	52,0	2300	0,0226
	C. de Pinhel - Nasc. Qta. da Torre (Almeida e Almeida, 1975)	16,5	11,51	71,92	55,4	1300	0,0426
	C. de Pinhel - Nasc. Qta. das Capelas (Almeida e Almeida, 1975)	16,5	11,51	65,64	49,1	1000	0,0491
	Soito do Bispo (Almeida e Almeida, 1975)	16,5	11,51	58,78	42,3	900	0,0470
	Quinta da Várzea (Almeida e Almeida, 1975)	16,5	11,51	51,35	34,9	750	0,0465
	Quinta do Pombo (Almeida e Almeida, 1975)	16,5	11,51	59,55	43,1	900	0,0478
	Santa Eufémia (Almeida e Almeida, 1975)	16,5	11,51	98,4	81,9	1950	0,0420
	Maçainhas (Almeida e Almeida, 1975)	16,5	11,51	44,04	27,5	800	0,0344
	Cume (Almeida e Almeida, 1975)	17,5	11,51	62,51	45,0	900	0,0500
	Fonte do Bispo (Almeida e Almeida, 1975)	17,5	11,51	79,41	61,9	1200	0,0516
	Almofala (Almeida e Almeida, 1975)	17,5	11,51	90,45	73,0	1600	0,0456
	C. de Pinhel - Fonte Ferrada (Almeida e Almeida, 1975)	17,5	11,51	91,47	74,0	1700	0,0435
	Prados (Almeida e Almeida, 1975)	17,5	11,51	87,82	70,3	1300	0,0541
	Vale de Coelha (Almeida e Almeida, 1975)	17,5	11,51	101,79	84,3	1500	0,0562
	Reigada (Almeida e Almeida, 1975)	17,5	11,51	91,07	73,6	1400	0,0526
	Longroiva - Férrea (Almeida e Almeida, 1975)	17,5	11,51	112,09	94,6	2000	0,0473
	Longroiva - Purgativa (Almeida e Almeida, 1975)	17,5	11,51	101,79	84,3	1980	0,0426

(\*) Valores obtidos pelo modelo de fratura plana (conduta plana), por este se ajustar melhor.

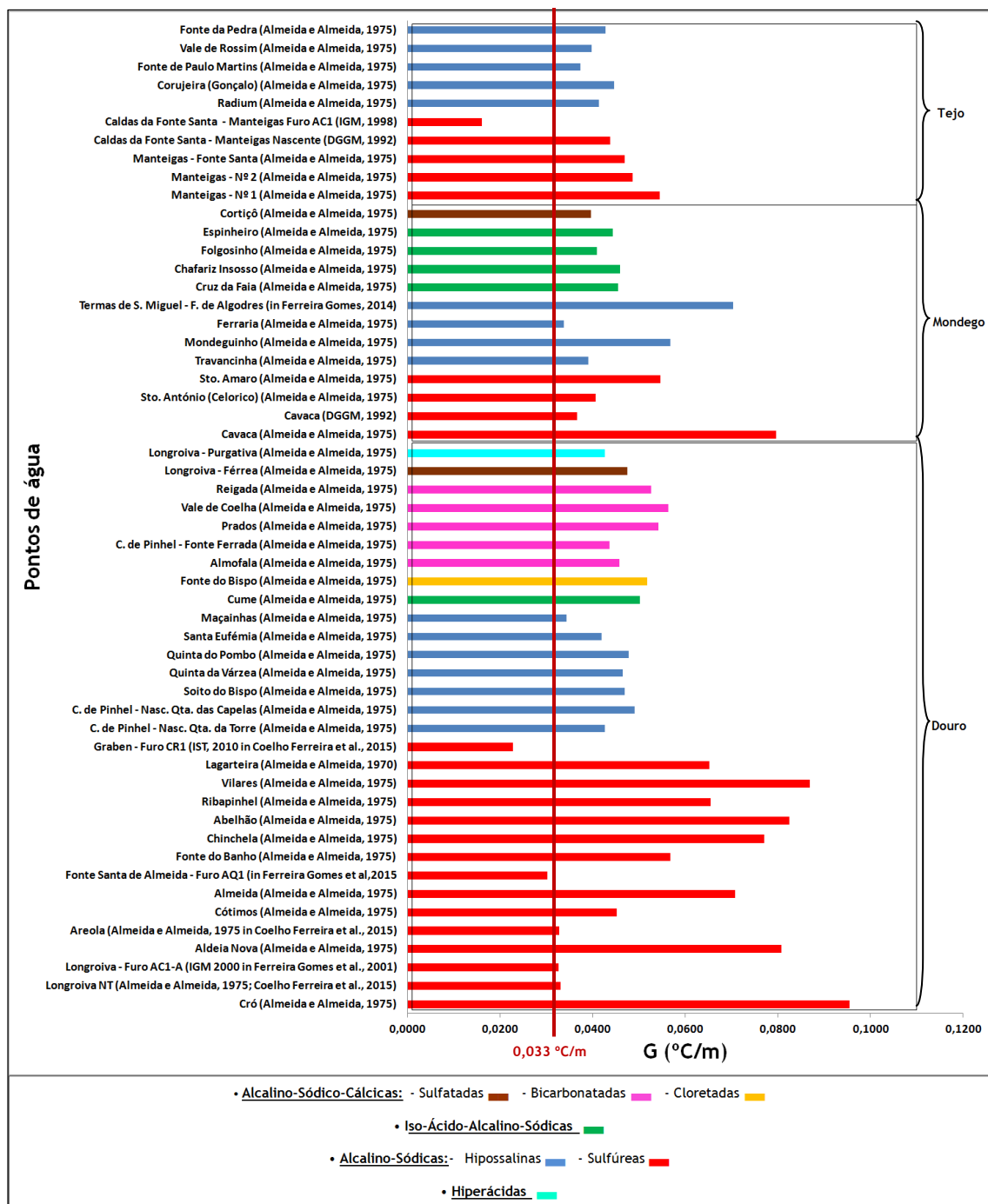
**Tabela 4.22** - Síntese dos elementos sobre potencial geotérmico para os locais dos pontos de água da bacia do Mondego do Distrito da Guarda.

Bacia	Pontos de água	Ts (°C)	TE (°C)	Tr (°C)	Tr-Ts (°C)	Dr (m)	G (°C/m)
Mondego	Cavaca (Almeida e Almeida, 1975)	27,9	9,51	107,39	79,5	1000	0,0795
	Cavaca (DGGM, 1992)	27,9	9,51	101,04	73,1	2000*	0,0366
	Sto. António (Celorico) (Almeida e Almeida, 1975)	20,0	9,51	121,24	101,2	2500	0,0405
	Sto. Amaro (Almeida e Almeida, 1975)	20,0	9,51	90,76	70,8	1300	0,0544
	Travancinha (Almeida e Almeida, 1975)	14,5	9,51	51,59	37,1	950	0,0390
	Mondeguinho (Almeida e Almeida, 1975)	14,5	9,51	21,31	6,8	120	0,0568
	Ferraria (Almeida e Almeida, 1975)	14,5	9,51	37,44	22,9	680	0,0337
	Termas de S. Miguel - F. de Algodres (in Ferreira Gomes, 2014)	14,5	9,51	70,73	56,2	800	0,0703
	Cruz da Faia (Almeida e Almeida, 1975)	14,5	9,51	48,48	34,0	750	0,0453
	Chafariz Insooso (Almeida e Almeida, 1975)	14,5	9,51	55,75	41,3	900	0,0458
	Folgosinho (Almeida e Almeida, 1975)	14,5	9,51	63,4	48,9	1200	0,0408
	Espinheiro (Almeida e Almeida, 1975)	14,5	9,51	58,78	44,3	1000	0,0443
	Cortiçô (Almeida e Almeida, 1975)	14,5	9,51	53,17	38,7	980	0,0395

**Tabela 4.23** - Síntese dos elementos sobre potencial geotérmico para os locais dos pontos de água da bacia do Tejo do Distrito da Guarda.

Bacia	Pontos de água	Ts (°C)	TE (°C)	Tr (°C)	Tr-Ts (°C)	Dr (m)	G (°C/m)
Tejo	Manteigas - Nº 1 (Almeida e Almeida, 1975)	40,1	10,01	91,68	51,6	950	0,0543
	Manteigas - Nº 2 (Almeida e Almeida, 1975)	45,3	10,01	96,28	51,0	1050	0,0486
	Manteigas - Fonte Santa (Almeida e Almeida, 1975)	21,5	10,01	90,58	69,1	1400	0,0468
	Caldas da Fonte Santa - Manteigas Nascente (DGGM, 1992)	21,5	10,01	73,06	51,6	1100	0,0437
	Caldas da Fonte Santa - Manteigas Furo AC1 (IGM, 1998)	48,8	10,01	84,76	36,0	2250*	0,0160
	Radium (Almeida e Almeida, 1975)	15	10,01	64,62	49,6	1200	0,0414
	Corujeira (Gonçalo) (Almeida e Almeida, 1975)	15	10,01	58,78	43,8	980	0,0447
	Fonte de Paulo Martins (Almeida e Almeida, 1975)	15	10,01	31,82	16,8	450	0,0374
	Vale de Rossim (Almeida e Almeida, 1975)	15	10,01	26,95	12,0	300*	0,0398
	Fonte da Pedra (Almeida e Almeida, 1975)	15	10,01	51,35	36,4	850	0,0428

(\*) Valores obtidos pelo modelo de fratura plana (conduta plana), por este se ajustar melhor.



**Figura 4.33** - Gradientes geotérmicos obtidos para os locais de pontos de água estudados do distrito da Guarda tendo em consideração a divisão por bacia hidrográfica.

Dos valores dos gradientes geotérmicos obtidos (figura 4.33), claramente a maioria aponta para valores superiores ao gradiente geotérmico considerado normal (0,033°C/m). Essa situação observa-se não só nas zonas de águas sulfúreas, como também na quase totalidade das outras zonas. Aqueles valores deverão ser aferidos com resultados de prospeção mecânica, se possível com furos até cerca de 1000m. Veja-se o caso da Longroiva que nos cálculos aqui apresentados se obteve, quer a partir da Nascente Clássica, quer a partir do Furo AC1-A, gradientes de 0,033°C/m e na prospeção real, do furo AC1-A obteve-se  $G=0,0762^{\circ}\text{C}/\text{m}$ . Este

caso estimula a situação no sentido dos valores reais serem ainda maiores que os teóricos aqui apresentados, mas na realidade, os valores aqui tomados devem ser tidos como orientações gerais, pois na maioria das situações usam-se elementos aproximados nos cálculos.

No sentido dos valores obtidos serem comparados com outros da literatura, apresenta-se a tabela 4.24, onde se salienta o caso em que se obteve o maior valor,  $G = 0,0841 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{m}$ , para os granitos da ilha da Sardenha (D'Amore *et al.*, 1987, in Ferreira Gomes, *et al.*, 2015).

**Tabela 4.24** - Gradientes geotérmicos em diferentes situações segundo vários autores (in Ferreira Gomes *et al.*, 2015)

Local	Gradiente ( $^\circ\text{C}/\text{m}$ )	Gradiente ( $^\circ\text{C}/\text{km}$ )	Fonte
Gradiente médio na crosta continental	0,033	33,0	IGM (1999)
Gradiente considerado normal em maciços graníticos	0,0125	12,5	Pomerol and Ricour (1992)
Áreas continentais cratonizadas	0,010	10,0	Hall (1996)
Cadeias montanhosas recentes e em regiões vulcânicas	0,050	50,0	Hall (1996)
Cadeias montanhosas modernas - Cadeias Béticas (sul de Espanha)	0,041-0,056	41-56	Cerón <i>et al.</i> (2000)
Granitos de Carnmenellis, hercínicos (sudoeste de Inglaterra)	0,031-0,045	31-45	Lee <i>et al.</i> (1984)
Granitos, na ilha de Sardenha (região de Casteldoria)	0,0841	84,1	D'Amore <i>et al.</i> (1987)
Termas das Águas-Penamacor - Furo AM4	0,0124	12,4	Ferreira Gomes <i>et al.</i> (2015)
Termas de Longroiva - Furo AC1A	0,0762	76,2	
Unhais da Serra - Furo US1-tro,1	0,0174	17,4	
Unhais da Serra - Furo US1-tr2	0,0477	47,7	
Unhais da Serra - Furo US1-tr3	0,0693	69,3	
Termas do Granjal - Sta Comba Dão-Furo AQ1	0,0122	12,2	
Termas do Carvalhal - Furo AC-G1	0,0202	20,2	
Termas de Almeida - Furo AQ1	0,0239	23,9	

#### 4.7.3. Elementos sobre o potencial energético efetivo

Neste item é imperioso que se considere como base ou exemplo o único e bom caso já em vigor no distrito, e apresentado no item 4.6.2., que é o caso das Termas de Longroiva, onde além das termas que não necessitam de aquecer água para as suas aplicações, pois a água mineral já é naturalmente quente e onde ainda algum do calor natural dessa mesma água mineral é transformado em energia térmica para o apoio da climatização do balneário, da climatização do hotel rural associado, e ainda no reaquecimento das águas das piscinas, de entre outros.

Naquele caso a energia disponível ( $E_d$ ) e o potencial Energético ( $E_p$ ) foram avaliados com base na equação fundamental da transmissão de calor, em Monteiro (2001), já usada por

Ferreira Gomes (2007b) e Albuquerque (2011) em situações similares, que é de acordo com o seguinte:

$$E = m CP (T_f - T_i)$$

em que:

- E, é a quantidade de calor, em Joule (S.I.) ou kcal (S.M.);
- m, é a massa, em kg (ou caudal mássico, em kg/s);
- $T_f$  e  $T_i$ , é a temperatura final e inicial, respetivamente, em °C; e
- Cp, é o calor específico do corpo, e que para a água é: 1kcal/kg.°C.

Naquele caso de Longroiva, o elemento fulcral é o recurso do Furo AC1-A, ou seja, daquele furo resulta em contínuo um caudal de 6,3 L/s, em artesianismo, a cerca de 47°C. Como já se mencionou, Ferreira Gomes (2015) contabilizou a energia disponível, admitindo a temperatura de 15°C, como aquela temperatura de base no fluido a aquecer até aos 47°C. Note-se que a temperatura média ao longo do ano das águas subterrâneas daquela região ronda os 15°C, e se o recurso não fosse naturalmente quente, teria necessariamente que se aquecer.

Assim, pela equação fundamental de transmissão de calor, anteriormente mencionada obteve-se uma energia disponível,  $E_d = 7\,392\,564$  kWh/ano.

Entretanto refere-se que segundo os estudos aqui apresentados a temperatura de reservatório,  $T_r$ , é de 110°C. Admitindo que esta situação é real, só para o caso de Longroiva, o valor de  $E_d$  potencial será de acordo com o seguinte:

$$E_d = 12 \text{ kg/s} \times (110 - 15) \text{ °C} \times 1 \text{ kcal/kg} = 1140 \text{ kcal/s} = 41,8 \times 10^6 \text{ kWh/ano}$$

Salienta-se que no caso anterior usou-se o equivalente a um caudal de 12 L/s, em vez de 6,3 L/s, pois numa captação que atinja o reservatório, e de acordo com o potencial em caudal já hoje revelado, admite-se que aquele valor será possível de obter.

Aquela energia poderá ser utilizada na forma de energia térmica em aproveitamentos em cascata, com aquecimento ambiental de edifícios em fase inicial, aquecimento de águas sanitárias em fase seguinte, e ainda termalismo e outras aplicações a jusante, mas salienta-se que com aquele caudal a 110°C poderia logo a montante se produzir energia elétrica. Isto poderá estar ao alcance da sociedade.

O caso de Longroiva é de facto um bom exemplo, pois naquela freguesia, há poucos anos havia apenas uma nascente com um caudal de cerca de 0,28L/s, a temperatura de 21,6°C e

umas termas abandonadas que nunca tinham sido legalizadas. Hoje, depois do novo furo AC1A, há umas termas novas, há um hotel termal associado, e ambos usufruem de água mineral e do seu calor em aplicações geotérmicas. O futuro de Longroiva tem potencial para ser em crescendo, em especial no domínio do turismo de saúde.

O panorama global do distrito, quando se analisam os resultados do presente trabalho, é muito animador no domínio da geotermia, em especial quando se analisam os gradientes geotérmicos, e em particular as temperaturas de reservatório (figura 4.27 e 4.33). O ideal seria analisar cada caso detalhadamente e avaliar a energia potencial em cada situação. Acontece que para isso, até para não se criarem eventuais expectativas incorretas, seria absolutamente fundamental disponibilizar de estudos geológicos, hidrogeológicos, de entre outros, detalhados para que os resultados fossem bem fundamentados. Assim isso não se faz nesta fase, mencionando-se apenas, que, com forte probabilidade, a situação poder-se-á replicar para o caso de quase todas as sulfúreas, nomeadamente para:

- Manteigas, na bacia do Tejo, Cavaca e Santo António (Celorico da Beira) na bacia do Mondego, em montantes energéticos equivalentes ao da Longroiva;

- Santo Amaro na bacia do Mondego, e Graben de Longroiva, Lagarteira, Vilares, Ribapinhel, Abelhão, Chinchela, Almeida, Cótimos e Cró, na bacia do Douro, em níveis de energia que na ordem de  $\frac{1}{4}$  do caso de Longroiva.

Assim, neste cenário a ordem de grandeza de energia disponível a partir dos locais de água sulfúrea para todo o distrito da Guarda, seria de:

$$Ed\text{- total} = (4 + \frac{1}{4} \times 10) 41,8 \times 10^6 \text{ kWh/ano} = 271,7 \times 10^6 \text{ kWh/ano}$$

A energia geotérmica dos outros locais dos vários pontos de água estudados, inclusive algumas águas hipossalinas, pontualmente poderão ter algum interesse, mas sem se estudar detalhadamente cada caso, nesta fase, considera-se o seu contributo energético residual no panorama do distrito da Guarda.

#### **4.7.4. Elementos ambientais**

Em relação a aspetos ambientais merece aqui referência, o facto de que se a energia geotérmica não estiver disponível, e sendo necessário usar energia a partir de outra fonte, ela tende na região da Guarda a ser a partir de uma energia com origem fóssil e que de entre vários aspetos ambientalmente negativos, resulta CO<sub>2</sub> para a atmosfera, e como se sabe tem um efeito pernicioso na natureza, pois atualmente está a haver o efeito de estufa e em

consequência mudanças climáticas fora do comum estão a acontecer com situações por vezes muito catastróficas para as populações.

Desta forma, uma possibilidade de fornecer energia, não havendo geotermia, seria a partir do gás propano.

Assim, se a energia potencial do distrito da Guarda, anteriormente avaliada, no valor de  $271,7 \times 10^6$  kWh/ano, fosse fornecida por caldeiras a gás propano com poder calorífico (PCI) de 12,9kWh/kg (GDP, 1998, *in* Ferreira Gomes, 2015), com um rendimento de queima de 90%, levaria a gastar a quantidade de gás de 23 168 217 kg/ano.

Tendo em conta que no consumo de 1 grama de gás propano se formam 2,995 gramas de CO<sub>2</sub> (Ferreira Gomes, 2007a), na queima daquele gás seria produzida a quantidade de CO<sub>2</sub> de 69389 toneladas/ano. Ora este valor de CO<sub>2</sub> a menos na atmosfera seria um bom contributo do distrito da Guarda na senda das energias limpas e de um mundo melhor.



## CAPÍTULO 5

### 5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na presente dissertação, depois de se fazer uma breve introdução à temática da geotermia sobre a sua importância e atualidade, apresenta-se o estado da arte deste assunto com alguns aspetos didáticos, técnicos, e científicos, em relação a algumas situações que ocorrem no mundo, em Portugal e ainda no distrito da Guarda, de modo a desenvolver-se uma adequada sensibilidade sobre esta temática. Sobre essa parte da dissertação enfatiza-se em especial que em Portugal já existem boas experiências, como é o caso da produção de eletricidade nos Açores a partir do recurso geotérmico de alta entalpia, e ainda o caso de S. Pedro do Sul com seu aproveitamento em cascata, que de entre outros, se climatizam espaços interiores de edifícios, aquecem-se as suas águas sanitárias e ainda se produzem ananases e bananas com base no recurso geotérmico. Portanto já existe know-How que será fácil de alargar a outros casos em Portugal.

Depois, sobre o distrito da Guarda, assinala-se apenas um caso de uso oficial de energia geotérmica, que é nas Termas de Longroiva, sendo também um excelente exemplo, e que se baseia apenas na captação de água subterrânea quente a cerca de 47°C, com um caudal de 6,3 L/s, mas como se mostra no decorrer do trabalho, nomeadamente este local, se se realizarem perfurações mais profundas, poder-se-á atingir água muito mais quente, que segundo os resultados na presente dissertação, podem atingir cerca de 110°C; ora com esta temperatura, já daria para produzir eletricidade; há portanto ainda muito potencial, mesmo neste local, a explorar.

Sobre o distrito da Guarda, num todo existem as seguintes principais conclusões que merecem referência:

- a) o distrito da Guarda abrange uma área de 5 535,31 km<sup>2</sup> com seu território em áreas pertencentes a três bacias hidrográficas: i) Rio Douro, ii) Rio Tejo, e iii) Rio Mondego, com a particularidade de ser no essencial o Rio Côa no setor da Bacia do Douro, o Rio Zêzere no setor do Rio Tejo e o próprio Rio Mondego, na sua parte inicial deste principal curso de água com percurso totalmente em território português;
- b) as rochas que predominam naqueles três grandes setores são essencialmente granitoides e em menor representatividade rochas xistosas, para pontualmente ocorrerem alguns depósitos de cobertura, mas sem grande significado no contexto global do distrito;
- c) sobre grandes fraturas geológicas há um sistema de falhas de direção global NE-SW, das quais sobressai a Falha da Vilariça, que atravessa todo o distrito e é

particularmente importante na presente dissertação pois condiciona à escala regional a percolação da águas subterrânea e à mesma estão particularmente associadas algumas ressurgências de águas com gradientes geotérmicos anómalos, e consequentemente se associam algumas nascentes termais; é o caso das Termas de Manteigas, Santo António (Celorico da Beira), Cótimos (Trancoso) e Graben de Longroiva;

- d) além das águas subterrâneas comuns, existem algumas águas especiais e registadas por vários autores ao longo dos anos; algumas dessas águas são já classificadas como minerais; são o casos de águas das Termas de Longroiva, Fonte Santa de Almeida, Caldas da Cavaca, Termas de S. Miguel (Fornos de Algodres), Termas do Cró, Corgas Largas, e Caldas de Manteigas; só o caso da água das Termas de Longroiva, é classificado como recurso geotérmico; entretanto, há dezenas de locais em que à partida apresentam características para serem classificadas como minerais, e que à partida têm potencial geotérmico;
- e) considerando todos os pontos de águas especiais, e que quase na totalidade foram inventariados por Almeida e Almeida (1970,1975), dos quais alguns são os que atualmente estão licenciados, organizaram-se segundo o agrupamento efetuado por aqueles autores e que é o seguinte:

- Águas alcalino-sódicas
  - i) Sulfúreas
  - ii) Hipossalinas
- Águas iso-ácido-alcalino-sódicas
- Águas alcalino-sódico-cálcicas
  - i) Cloretadas
  - ii) Bicarbonatadas
  - iii) Sulfatadas
- Águas hiperácidas;

- f) de todas as águas, as que apresentam maior potencial geotérmico são as do grupo das sulfúreas; é neste grupo que se enquadram as águas mais quentes do distrito, e em particular as águas das Termas de Manteigas com 48,8°C no máximo, as águas das Termas de Longroiva com 47,5°C no máximo, e ainda a realçar as águas das Termas da Cavaca com 27,9°C e a água o novo Furo das Termas de Almeida com 31°C.
- g) ainda em relação ao potencial, com base nas temperaturas de reservatório avaliadas a partir de geotermómetros, continuam a ser as águas sulfúreas que apresentam inclusive valores de temperatura em profundidade muito interessantes (figura 4.27); realçam-se os casos de Santo António (Celorico), Chinchela e Abelhão, com 121,2 °C, 119 °C e 118 °C respetivamente;

- h) os outros casos, das outras águas, apesar de pontualmente apresentarem temperaturas de reservatório muito interessantes, pelo seu contexto geológico e hidrológico, considera-se que em termos globais não tem interesse geotérmico;
- i) o caso das águas sulfúreas apresentam profundidades de reservatório muito interessantes, por se considerarem modestas, ou seja, não ultrapassam os 2750 m de profundidade; de qualquer modo sobre este assunto dever-se-ão realizar estudos mais apurados, pois os valores de caudais dos vários pontos de água usados nos cálculos, por vezes foram inferidos com base nos resultados do balanço hidrológico, e poderão ter sido considerados por defeito, levando consequentemente a valores de profundidade de reservatório menos fidedignos;
- j) em relação aos gradientes geotérmicos avaliados é de realçar que quase na totalidade se obtiveram valores superiores ao considerado médio em termos globais (0,033°C/m), tendo se obtido valores muito superiores em algumas sulfúreas; o caso das Termas de Longroiva, obtém-se pelos cálculos teóricos o valor de 0,0325 °C/m, sendo de realçar que o gradiente geotérmico determinado experimentalmente, com a realização do Furo AC1-A foi de 0,0762 °C/m (tabela 4.24);
- k) a energia geotérmica disponível, admitindo apenas o potencial das águas sulfúreas, e com base nos resultados obtidos e em especial na experiência de Longroiva, estima-se para o distrito o valor global de 271,7 x10<sup>6</sup> kWh/ano; admitindo que aquela energia iria substituir o consumo de gás propano, evitar-se-ia lançar para a atmosfera a quantidade de CO<sub>2</sub> de 69 389 toneladas/ano.

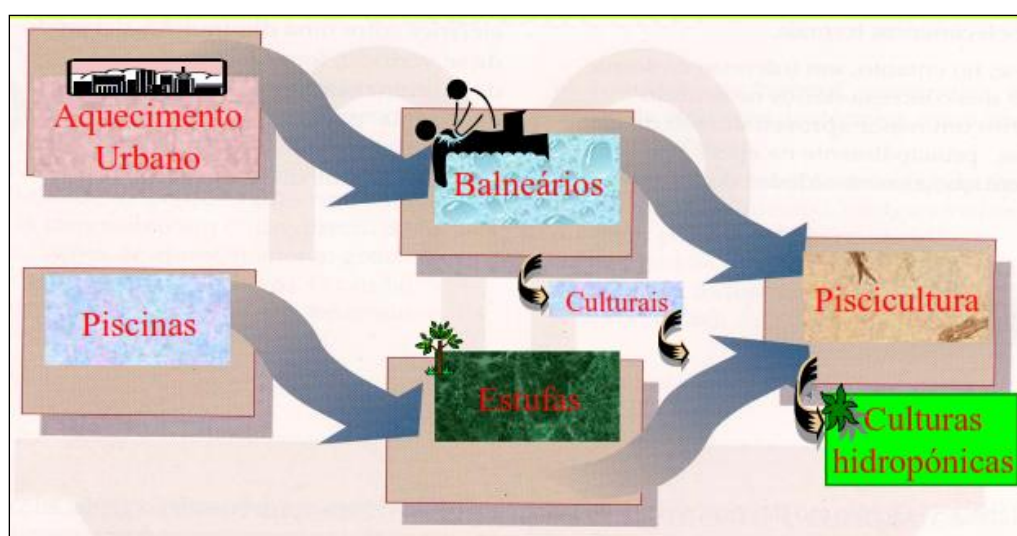
Por fim, refere-se que para as estimativas apresentadas e os valores de energia disponível serem mais rigorosos, seria muito importante que em cada local de ponto de água considerado se efetuem:

- i) estudos geomorfológicos, geológicos e hidrogeológicos detalhados;
- ii) os modelos geohidráulicos conceptuais;
- iii) furos de prospeção mecânica de pesquisa de modo a comprovar a produtividade dos sistemas aquíferos locais e gradientes geotérmicos; e
- iv) em casos de maior potencial, furos/captações de modo a incrementar os caudais disponíveis e águas quentes.

Depois de comprovar a existência do recurso, quer em termos de caudais, quer em termos de temperaturas disponíveis, dever-se-ão, função do local, em termos de acessos, distâncias a meios urbanos, inclusão ou não em locais de património arquitetónico especial como castelos, casas senhoriais, e outros, ou simples património vernacular, ou em quintas, de entre muitos outros, dever-se-ão procurar várias aplicações, se possível em cascata. Veja-se por exemplo o que já se passa em S. Pedro do Sul, e apresentado neste trabalho (figura 3.7),

em que o recurso, genericamente, numa primeira fase (1º patamar) é usado para aquecer o ambiente do interior de edifícios, num 2º patamar, com menos temperatura aquecer as águas sanitárias dos mesmos edifícios, e num 3º patamar usa-se a água mineral natural com temperatura na ordem dos 40°C no termalismo. Salienta-se que a água depois de ser usada no termalismo é rejeitada com temperaturas em termos médios na ordem dos 25 a 30°C. Este fluido ainda poderia ser usado diretamente ou indiretamente, num 4º patamar em aproveitamentos do tipo agrícola (estufas), piscícola (peixes e afins em tanques, em ambientes fechados), ou outros; no caso do aproveitamento piscícola poderia haver ainda um 5º patamar com o uso de hidroponia baseada nas águas residuais resultantes da produção piscícola; este último patamar viria particularmente, além da sua utilidade direta em termos comerciais, a ser útil para o meio ambiente, pois minoraria o tratamento das águas residuais a rejeitar, dado que as plantas enraizadas diretamente na água rica em nutrientes, deixaria essa mesma água com menos carga poluente, antes de ser rejeitada.

Na figura 4.34 apresenta-se um esquema de princípio genérico sobre os aproveitamentos em cascata, orientando para várias possibilidades, mas que dependem das temperaturas iniciais do fluido a captar nos sistemas aquíferos.



**Figura 4.34** - Esquema de princípio sobre aproveitamentos em cascata a partir de fluido com temperaturas inferiores a 100°C de interesse em aplicar em locais de potencial geotérmico do distrito da Guarda (Ferreira Gomes, 2005).

Com os aproveitamentos em cascata poderão surgir aproveitamentos múltiplos, desde simples termas novas com aproveitamentos geotérmicos associados, a ecotermas rurais com os aproveitamentos geotérmicos, a simples aproveitamentos agrícolas, em floricultura,

ranicultura, cultivo de camarão, frutos tropicais, a estabelecimentos de terceira-idade estrategicamente bem colocados para receberem aproveitamento geotérmicos, e que poderiam ser de interesse nacional (recebendo pessoas de várias parte do país) com pequenos espaços de hidrosaúde associados, de entre muitos outros. A Guarda necessita, o distrito muito mais, e o país ficaria muito melhor e até o mundo, pois o ambiente iria também melhorar. Há assim, imensas oportunidades no distrito da Guarda com base no seu potencial hídrico e geotérmico associado aos seus pontos de água especiais distribuídos por todo o seu território.



# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrantes, J. (1996)** Formas de modelado granítico na região da Guarda. Dissertação referente ao curso de Mestrado em Geografia (área de especialização em Geografia Física) na Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra. 110p.
- AEP. (2004)**. Associação Empresarial de Portugal. <http://www.aeportugal.pt/>. Consultado em Maio de 2016.
- Albuquerque, F.J.R.A. (2011)**. Energia Geotérmica Em Edifícios - O Caso do Hotel do Parque no Campo Geotérmico e Hidromineral de São Pedro do Sul. Dissertação de Mestrado em Geotecnia Aplicada, UBI, Covilhã. 142p.
- Albuquerque, F.J.R.A.; Ferreira Gomes, L.M. e Miranda, A.B. (2013)**. Utilization of geothermal energy in a hotel in São Pedro do Sul - Portugal. Proceedings of the International Conference on Civil Engineering (Towards a Better Environment) - CE13. Published by CI - Premier PTE LTD, Singapore, ISBN:978-981-07-6066-3. pp. CE - 77 - CE86.
- Almeida, A. C. (2009)**. Mudanças no uso do solo no interior Centro e Norte de Portugal, Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Almeida, J. D. e Almeida, A. (1975)**. Inventário Hidrológico de Portugal - Beira Alta. Lisboa : Instituto de Hidrologia e de Lisboa, 1975. Vol. 3º Volume.
- Almeida, J. D. e Almeida, A. (1970)**. Inventário Hidrológico de Portugal - Trás-Os-Montes e Alto Douro. Lisboa : Instituto de Hidrologia de Portugal, 1970. Vol. 2º Volume.
- Bertani, R., (2005)**. World geothermal power generation in the period 2001-2005. Geothermics, 34, 651-690.
- Bertani, R., (2007)**. World geothermal power generation in 2007. Proceedings of the European Geothermal Congress 2007, Unterhaching, Germany, 30 May - 1 June 2007.
- Bertani, R. (2009)**. Long-term projections of geothermal-electric development in the World. Seminário de Sistemas Geotérmicos Estimulados. LNEG.
- Bertani, B. (2010)**. Geothermal Power Generation in the World 2005-2010 Update Report. Proceedings World Geothermal Congress 2010 Bali, Indonesia, 25-29 April 2010. 41p.
- Bertani, R. (2013)**. Geothermal Energy Use, Country Update for Italy - European Geothermal Congress 2013. Pisa, Itália.
- Bicudo da Ponte, C. (2010)**. Geothermal energy situation at the Azores Islands: a successful case study. GEOFAR -A European Solution for Geothermal Energy Projects in Portugal, Lisbon, November 5th, 2010. Organized by IENE -Institute of Energy for Southeast Europe and ARENA -Regional Agency for Energy and Environment of Azores. 62p.

- Bicudo da Ponte, C. (2016).** Aproveitamentos Geotérmicos nos Açores. Governo dos Açores. Site: [http://siaram.azores.gov.pt/energia/geotermia/\\_texto.html](http://siaram.azores.gov.pt/energia/geotermia/_texto.html), consultado em 2016.09.27.
- Brandl, H. (2006).** Energy Foundations and Other Thermo-Active Ground Structures - Geotechnique 56. 2006. Vol. 2.
- Brandl, H. (2008).** Energy piles and diaphragm walls for heat transfer from and into the ground, in deep foundations on bored and auger piles. in 5th International Symposium on Deep Foundations on Bored and Auger Piles (BAP V), Ghent, Belgium. pp. 77-95.
- Cardoso, S.E.B. (1999).** Estudo sobre Proposta de uma Tarifa relativa ao calor geotérmico, no âmbito do Projecto Geotérmico de S.Pedro do Sul. C. M. S. Pedro do Sul.
- Carvalho, A. H.; Almeida, J.D. e Reis, E. M. (1961)** - “Guia de Análise Química das Águas: Potáveis, Minerais e Para a Indústria”, Rádio Renascença, Lisboa. 162 p.
- CEC (1988).** “Atlas of Geothermal Resources in the European Community, Austria and Switzerland”. R. Haenel & E. Staroste (eds.), Commission of the European Communities, D.G. for Science, Research and Development. Bruxelles/Strasbourg. 74 pp.
- Coelho Ferreira, P.J.; Ferreira Gomes, L.M.; Oliveira, A. e Carvalho, P.E.C. (2015).** Contribution to the knowledge of the geothermal potential of the Municipality of Meda (Portugal). Proceedings World Geothermal Congress 2015. Melbourne, Australia, 19-25 April.
- Cruz, R.J.L.V. (2013).** Utilização da Energia Térmica do Solo para Climatização de Edifícios. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade de Aveiro. 59p.
- Cunha Gomes, C.S. (2008).** A importância do Termalismo na prática do cuidar. Tese de Licenciatura em Enfermagem. Escola Superior de Saúde Jean Piaget de Viseu. 134p.
- Cunliffe, B. (1993).** The Roman Baths at Bath. Bath Archaeological Trust. 47p. Bath. Reino Unido.
- Custódio, E. e Llamas M.R. (2001).** Hidrologia subterranea, tomo I, 2ª edição, Ediciones Omega, Barcelona.
- Dickson, M.J. e Fanelli, M. (2004).** What is Geothermal Energy? - Istituto de Geoscienze e Georisorce, CNR, Pisa, Italy.
- DGEG (2015)..** Aproveitamento Geotérmico em Portugal a partir dos Recursos Geotérmicos em Portugal. Direção Geral da Energia e Geologia.
- DGGM. (1992).** Direção Geral de Geologia e Minas. Termas e Águas Engarrafadas em Portugal. Lisboa.
- D.L. (1976).** Decreto-Lei nº 560-C/76, de 16 de Junho (1976) - “Define o regime de prospecção, pesquisa e exploração de recursos geotérmicos”. Imprensa Nacional Casa da Moeda. Lisboa.
- D.L. (1990a).** Decreto-Lei nº87/90, “Aprova o regulamento dos recursos geotérmicos”, Imprensa Nacional Casa da Moeda. Lisboa.

- D.L. (1990b).** Decreto-Lei nº 90/90, de 16 de Março (1990) - “Disciplina o regime geral de revelação e aproveitamento dos recursos geológicos”. Imprensa Nacional Casa da Moeda. Lisboa.
- D.L. (2010).** Decreto-Lei nº 141/2010, de 31 de Dezembro (2010) - “Define as metas para a produção de energia com base em fontes renováveis”. Imprensa Nacional Casa da Moeda. Lisboa.
- D.L. (2015).** Decreto-Lei nº 54/2015, de 22 de Junho (2015) - “Bases do regime jurídico da revelação e do aproveitamento dos recursos geológicos existentes no território nacional, incluindo os localizados no espaço marítimo nacional”. Imprensa Nacional Casa da Moeda. Lisboa.
- D.R. (2005).** Diário da República, IIIª Série - N.º 18 de 26 de Janeiro de 2005, para atribuição de Área de Concessão, correspondente ao número HM-53 de cadastro de designação “Longroiva”.
- D.R. (2015).** Extrato do contrato de exploração. HM71 - Termas de S. Miguel. Diário da República, 2ª Série - Nº 194 - 5 de outubro.28503p.
- Fernandes, A.R. (2011).** Proposta de Regeneração das Termas de Vizela. Dissertação de Mestrado em Arquitetura, UBI, Covilhã.81p.
- Ferreira, A.B. (2005).** Geomorfologia do Macico Antigo, in C.A. Medeiros, Geografia de Portugal I, O ambiente físico, Circulo de Leitores, Lisboa.
- Ferreira Gomes, L.M. (1997).** Legalização da água mineral termal do “Campo Geotérmico” de S. P. do Sul como “Recurso Geotérmico”. Memória Descritiva. Termas de S. Pedro do Sul. C.M.S.P.S., UBI (Relatório Interno).
- Ferreira Gomes, L.M. e Albuquerque, F.J.A.(1998).** A Utilização em Multi-usos da Água Minero-termal do Campo geotérmico de S. Pedro do Sul. 4º Congresso da Água. Lisboa APRH. p. 243 de relatos e resumos e 14 p em CD, paper 062.
- Ferreira Gomes, L.M. (2001).** Revisão do Plano de Exploração. Aproveitamento Geotérmico do Pólo das Termas. Termas de S. Pedro do Sul. C. M. de S. S.Pedro do Sul. UBI. Março, 2001. 28p. (Relatório Interno).
- Ferreira Gomes, L. M.; (2005).** As águas minerais termais. Desafios sobre as suas aplicações para o futuro. XV Encontro Nacional do Colégio de Engenharia Geológica e Minas - Ponta Delgada; Ordem dos Engenheiros.pp.187-205
- Ferreira Gomes, L.M.; Andrade Pais, L. e Mendes, E. (2007).** Contribution for the knowledge of the fracturing and hydraulic characterization of the granitic pluton of Castro Daire region - Viseu (Portugal). 11th Cong. of the International Society for Rock Mechanics. Ed(s): Ribeiro e Sousa, Olalla & Grossmann. Taylor y Francis Group London. ISBN 978-0-415-45084-3. Vol.1. pp.207-210.
- Ferreira Gomes, L.M. (2007a).** Energia Geotérmica. O Caso de Baixa Entalpia do Campo Hidromineral e Geotérmico de São Pedro do Sul. Palestra proferida no âmbito das Jornadas Tecnológicas da FCT-UNL, no âmbito do tema: Energias Renováveis e o Ambiente. 9 de Maio de 2017. Associação de Estudantes da FCT-UNL.58p.

- Ferreira Gomes, L.M. (2007b).** Aproveitamento Geotérmico em Cascata em São Pedro do Sul. Boletim de Minas, 42 (1). DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia. Lisboa. ISSN 00008 5935.
- Ferreira Gomes, L.M. (2007c).** Elementos Construtivos e Hidráulicos da Nova Captação de Água Mineral das Termas de Carvalhal - Castro Daire. Boletim de Minas 42 (2). DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia. Lisboa. ISSN 00008 5935.
- Ferreira Gomes, L.M. (2008).** Qualificação da Água Mineral das Termas de Longroiva também como Recurso Geotérmico e Revisão do Plano de Exploração. C. M. da Mêda. Abril. UBI (Relatório Interno).50p.
- Ferreira Gomes, L.M. (2009).** Estudo Hidrogeológico para Atribuição Directa de Concessão como Água Mineral em Actividade Termal. Termas da Fonte Santa de Águas - Penamacor. Para C. M. de Penamacor. UBI (Relatório interno). Agosto.60p.
- Ferreira Gomes, L.M. (2014).** A Geotermia no Pólo das Termas de São Pedro do Sul: uma experiência de mais de uma década. Comunicação Oral apresentada no 2º Seminário da Plataforma Portuguesa de Geotermia Superficial, PPGS, Alfragide e LNEG, 9 de outubro de 2014; 30p.
- Ferreira Gomes, L.M. e Albuquerque, F.J.R.A. (2015).** Aproveitamentos geotérmicos no Campo Hidromineral e Geotérmico de São Pedro do Sul - Elementos Globais. Plataforma Portuguesa de Geotermia Superficial (PPGS); NEWSLETTER; Nº 2; Janeiro 2015.pp. 4-5.
- Ferreira Gomes, L.M. (2015).** Termas de Longroiva - Revisão do Plano de Exploração, Alargamento dos sistemas geotérmicos ao novo hotel - Hotel Rural de Longroiva. Para C M de Mêda. UBI (Relatório interno).41p.
- Ferreira Gomes L.M.; Ferreira Guedes J.; Gomes da Costa T.C.; Coelho Ferreira P.J. e Neves Trota A.P. (2015).** Geothermal potential of Portuguese granitic rock masses: lessons learned from deep boreholes. Environmental Earth Sciences. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Vol. 73, Number 6, March 2015, pp.2963-2979.
- Freitas, V.R. e Freitas, T.R. (2011).** Considerações ambientais de aproveitamento da Energia Geotérmica. Site: Geotermia e Aplicações\ENERGIA GEOTÉRMICA.mht, visitado em Outubro 2011.
- Fridleifsson, I.B. e A. Ragnarsson (2007).** Geothermal Energy, 2007 Survey of Energy Resources - World Energy Council.
- Henriques, S.A. (2011).** Reincidência de incêndios florestais no distrito da Guarda. Factores desencadeantes e consequências ambientais da manifestação do risco dendrocaustológico. Dissertação de Mestrado e Geografia Física - Ambiente e Ordenamento do Território apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra. Coimbra.108p.
- IGM (1998).** Recursos Geotérmicos em Portugal Continental; Baixa entalpia. Instituto Geológico e Mineiro. Ministério da Economia. Lisboa. 23p.

- IGM (1999).** Catálogo de Recursos Geotérmicos. Instituto Geológico e Mineiro. Ministério da Economia. Lisboa. Base em CD.
- I.N. (2009).** Portaria nº 865/2009, de 13 de Agosto (2009) - “Determina os valores do coeficiente Z, aplicável às centrais eléctricas que utilizem energia geotérmica em Portugal Continental”. Imprensa Nacional. Casa da Moeda. Lisboa.
- INE. (2015).** Instituto Nacional de Estatística - NUTS 2013 - As novas unidades territoriais para fins estatísticos. Lisboa.30p.
- JOUE. (2005).** Parecer do Comité Económico e Social Europeu Sobre a Utilização da Energia Geotérmica - O Calor da Terra - Jornal Oficial da União Europeia.
- Lencastre, A. e Franco, F. M. (1984).** Lições de Hidrologia. Universidade Nova de Lisboa. Monte da Caparica.451p.
- Lindal, B. (1973).** Industrial and other applications of Geothermal Energy. In: ARMSTEAD H. C. H., eds., Geothermal Energy, UNESCO, Paris.
- Lourenço, C.; Melo, B.; Rosa, C. e Rosa, D. (2010).** Geotermia em Portugal Continental: Situação actual e novas oportunidades . Boletim de Minas, Vol. 45, N.º 2; pp.105-116.
- Lourenço, C. (2013).** Enquadramento legislativo do aproveitamento dos recursos geotérmicos/geotermia. SESSÃO 1: Apresentação da PPGS e Atividades. Resumos de Atividades. 1º Seminário da Plataforma Portuguesa de Geotermia Superficial - PPGS. 8 Julho 2013, Auditório do LNEG, Alfragide. Apresentações.
- Lund, J.W.; Freeston, D.H. e Boyd, T.L., (2005).** Direct application of geothermal energy: 2005 Worldwide review. Geothermics 34, 691-727.
- Lund, J.W.; Freeston, D.H. e Boyd, T.L. (2010a).** Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 Worldwide Review, Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25-29 April 2010; 23p.
- Lund, J.W.; Gawell, K.; Boyd, T.L. e Jennejohn, D. (2010b).** The United States of America Country Update 2010, Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25-29 April 2010; 18p.
- Martins de Carvalho, J. e Carvalho, M.R. (2004).** Recursos geotérmicos e seu aproveitamento em Portugal. Caderno Lab. Xeolóxico de Laxe Coruña. 2004. Vol. 29, pp. 97-117.
- Martins de Carvalho, J. e Nunes, J.C. (2010).** An Overview of Geothermal Energy Developments in Portugal. GEOFAR -A European Solution for Geothermal Energy Projects in Portugal, Lisbon, November5th, 2010. Organized by IENE -Institute of Energy for Southeast Europe and ARENA -Regional Agency for Energy and Environment of Azores. 62p.
- Nolla, F.R. (1995).** Utilização de Geotermômetros no Monitoramento de Temperatura de Reservatórios de Petróleo, Submetidos à Injeção Cíclica de Vapor. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Geociências. Geoengenharia de Reservatórios. São Paulo.100p.

- Pavão, S. (2010).** Estudo do Potencial de Aproveitamento da Energia Geotérmica nos Açores. Instituto Politécnico de Leiria - Escola Superior de Tecnologia e Gestão. Leiria;
- Pires, M.R.J. (2014).** Projetos Geotérmicos, para Usos Diretos em Portugal Continental - Tipologias e Viabilidade Económica. Dissertação submetida para a obtenção do grau de Mestre em Energias Sustentáveis. Instituto Superior de Engenharia do Porto, Departamento de Engenharia Mecânica. Porto.73p.
- Pomerol, Ch. e Ricour, J. (1992).** “Terroirs et Thermalisme de France”, BRGM, Orléans. 288p.
- Rio, J.P.T.E. (2011).** Geotermia e Implicações nas Tecnologias de Construção - Estudo de Casos. Porto. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Meste em Engenharia Civil –Especialização em Construções. FEUP. Porto.165p.
- Rocha, S.S.P.G. (2011).** Caracterização de Sistemas Hidrotermais de Baixa Entalpia na Ribeira Grande, Ilha de S. Miguel, Açores. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Geológica - Georrecursos. Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade Nova de Lisboa.100p.
- R.P. (2009).** Plano Nacional de Acção para as Energias Renováveis ao Abrigo da directiva 2009/28/CE. De acordo com o modelo estabelecido pela Decisão da Comissão de 30.6.2009. Versão final, República Portuguesa.135p.
- Rybach, L. (1990).** Determination of termal water circulation depth, with examples from the Valaisan Alpes, Switzerland. Memoires of the 22nd Congress of IAH, Vol. XXII. Lusanne. pp. 608-615.
- Schneider, E. (1977).** A Saúde pelos Tratamentos Naturais, 4ªEdição, Publicadora Atlântico, S.A.R.L.: Sacavém.
- SNIRH. (2016).** Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. <http://www.snirh.pt/>. Consultado em Julho de 2016.
- Speedy, J.A. (2013).** Blog Guia de Férias. <http://www.oguiadeferias.com/2013/08/bath-e-suas-aguas-termais.html>. Consultado em Maio de 2016.
- Tavares, N. (2011).** Simulação Energética de Edifícios: Energia Geotérmica e Estudo de Ventilação por CFD. Setúbal.173p.
- Teixeira Nascimento, P.A.; Pereira Silva, J.B. e Ferreira Gomes, L.M. (2013).** Elementos hidrogeoambientais com implementar a primeira Unidade Termal de Saúde na ilha da Madeira.
- Trillo, L. e Angulo, R.A. (2008).** Guía de la Energía Geotermica.
- Trota, A.N. (2009).** Estudos de deformação crustal nas ilhas de S. Miguel e Terceira (Açores). Avaliação da actividade vulcânica na área do Fogo/Congro (S. Miguel).