



# IPG

Politécnico  
da Guarda

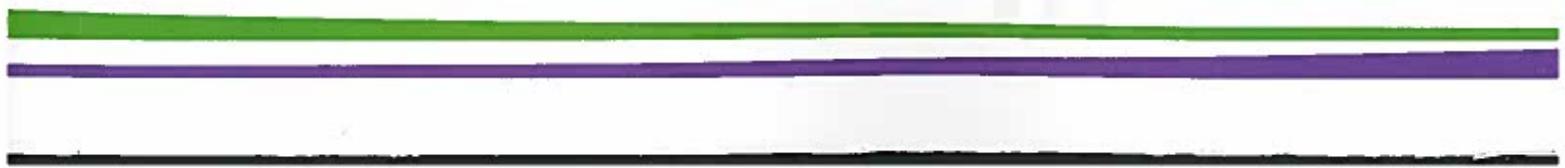
Polytechnic  
of Guarda

## RELATÓRIO DE PROJETO

Licenciatura em Energia e Ambiente  
Engenharia do Ambiente

Milton Daniel Gonçalves Raposo  
Tiago Alexandre Sequeira Pinheiro

dezembro | 2015



## **Ficha de identificação**

Nomes:

Milton Daniel Gonçalves Raposo

Tiago Alexandre Sequeira Pinheiro

Nº Aluno:

1010670

1009680

Estabelecimento de Ensino:

Escola Superior de Tecnologia e Gestão - Instituto Politécnico da Guarda

Curso:

Energia e Ambiente

Engenharia do Ambiente

Email:

milton\_raposo@hotmail.com

tiagop717@outlook.com

Orientador:

Prof. Rui Pitarma

Data de Início:

18 de março de 2015

Data de Conclusão:

2 de dezembro de 2015

## **Agradecimentos**

Para nós, concluir esta licenciatura, representa o culminar de um objetivo académico a que nos propusemos e que não seria possível sem a ajuda de um número considerável de pessoas.

Queremos agradecer a todos os nossos professores por tudo aquilo que nos ensinaram e expressamos de especial modo a nossa enorme gratidão ao nosso orientador de projeto, Professor Rui Pitarna, por ter sido quem nos incentivou a acreditar e a aprofundar o conhecimento acerca do tema sobre o qual se desenvolve o presente projeto, pela sua simpatia e total disponibilidade, nesta fase que tanto significa para nós.

Por último queremos agradecer aos nossos pais, pela amizade, companheirismo e apoio condicional que, em muito nos ajudaram a chegar à última página deste projeto.

Obrigado a todos, por permitirem o desfecho de mais uma etapa curricular.

## Resumo

Atualmente, perante um cenário de crise energética mundial, traduzida por consequências negativas ambientais e económicas, impõem-se a necessidade de utilizar mais as energias renováveis, em detrimento dos combustíveis fósseis.

Existem vários tipos de energias renováveis, sendo que a energia geotérmica é das menos exploradas, não significando isto que esta fonte tem menos potencial que a solar ou eólica. A geotermia pode ser dividida em alta e baixa entalpia; neste trabalho apenas será analisada a de baixa entalpia ou de baixa profundidade. Este aproveitamento da temperatura do solo a baixa profundidade tem revelado ser uma fonte de energia térmica muito estável e que pode ser aproveitada para climatização de edifícios. A solução criada para fazer o aproveitamento das temperaturas, praticamente constantes, do solo está em utilizar os elementos no subsolo para extrair ou introduzir energia térmica ao solo. Apesar de em Portugal esta tecnologia ser pouco aproveitada, existem países na Europa que a utilizam em grande escala, como por exemplo, a Alemanha, Hungria e Suíça.

Esta análise às bombas de calor geotérmicas pode ser dividida em alguns subtemas que são inerentes a um sistema deste género. Assim, foram analisados neste trabalho conteúdos como modo de funcionamento de uma bomba, alguns tipos de captação possíveis de se implementar, os sistemas de distribuição de calor no edifício, entre outros. Também são referenciados os fatores influenciadores desta tecnologia, os custos que estão associados a um sistema deste tipo e os seus benefícios. Por último, é analisado o estado legal nesta área e revistas algumas conclusões retiradas de outros trabalhos efetuados no âmbito das bombas de calor geotérmicas.

Este trabalho teve como principal objetivo a recolha de informação relevante acerca das bombas de calor geotérmicas, sem esquecer a importância da divulgação desta energia renovável como uma alternativa para a climatização de edifícios.

## **Abstract**

Nowadays, before a world energy crisis scenario, marked by environmental and economic struggles, there is a need for the usage of renewable energies at the expense of fossil fuels.

There are several types of renewable energy, and geothermal energy is the least explored, but this does not mean it has less potential than solar or wind energies. The geothermal energy can be divided into high and low enthalpy; this work will be focused on the low enthalpy type. This use of soil temperature at low depth has proved a very stable thermal energy source that can be used to air conditioning of buildings. The solution designed to make use of temperatures, practically constant, of the soil is to use the underground elements to extract or introduce thermal energy to the ground. Although in Portugal this technology is little exploited, there are countries in Europe who use it on a large scale, for example, Germany, Hungary and Switzerland.

This analysis of the geothermal heat pumps can be divided into several sub-themes that are inherent in such a system. Thus, the operation mode of a pump was analyzed, as well as some possible types of catchment and heat distribution systems able to be installed in the building. Besides this, the influencing factors of this technology are referenced, as well as the costs that are associated with such a system and its benefits. Finally, we analyzed the legal status in this area and reviewed some conclusions drawn from other work done in the context of geothermal heat pumps.

This work aimed to the relevant collection of information regarding geothermal heat pumps, without overlooking the importance of disclosure of this renewable energy as an alternative to air conditioning of buildings.

## Índice geral

Ficha de identificação .....	i
Agradecimentos .....	ii
Resumo .....	iii
Abstract.....	iv
CAPÍTULO 1 - Introdução.....	1
1.1 Objetivos .....	2
1.2 Estrutura do Projeto .....	3
CAPÍTULO 2 - Energia Geotérmica .....	4
2.1 Origem e Definição .....	4
2.2 Perspetiva Histórica sobre a Energia Geotérmica .....	5
2.3 Aproveitamentos Geotérmicos .....	7
2.3.1 Na Europa .....	7
2.3.2 Em Portugal .....	11
CAPÍTULO 3 - Bombas de Calor Geotérmicas .....	15
3.1 Conceito.....	15
3.2 Funcionamento de uma bomba de calor .....	16
3.2.1 Sistemas de bombas de calor .....	16
3.2.2 Tipos de ligações subterrâneas .....	18
3.2.2.1 Circuito fechado .....	18
3.2.2.2 Circuito aberto .....	21
3.2.3 Distribuição de calor.....	23
3.2.3.1 Piso radiante .....	24
3.2.3.2 Ventilador-convetores.....	26
3.3 Fatores que Influenciam o seu Funcionamento .....	27
3.4 Parâmetros Geotérmicos.....	29
3.4.1 Tipo de Solo .....	29
3.4.2 Condições Freáticas .....	30
3.4 Fenómenos de Transferência de Calor .....	31
3.4.1 Condução .....	32
3.4.2 Convecção .....	33
3.5 Propriedades Térmicas do Solo .....	34
3.5.1 Condutividade Térmica .....	34

---

3.5.2 Resistividade Térmica .....	35
3.5.3 Difusidade Térmica .....	35
3.5.4 Calor Especifico .....	35
3.7 Instalação .....	39
3.7.1 Sistema Geotérmico.....	39
3.7.2 Captação .....	40
3.8 Algumas vantagens .....	46
3.9 Enquadramento Legal .....	47
CAPÍTULO 4 - Alguns Estudos de Aplicação Prática.....	52
4.1 Integração de Sistemas de Bombas de Calor Geotérmicas em Edifícios .....	52
4.2 Geotermia e Implicações nas Tecnologias da Construção - Estudo de Casos.....	54
CAPÍTULO 5 - Considerações Finais .....	57
Bibliografia.....	59

## Índice de figuras

Figura 1. Termas romanas de Bath .....	6
Figura 2. Universidade do Estado de Ohio, nos E.U.A .....	7
Figura 3. Aquecimento do pavimento numa rua em Reiquejavique, Islândia.....	7
Figura 4. Distribuição de utilizações diretas da geotermia na Europa (MWt) .....	8
Figura 5. Hotel Storforsen .....	10
Figura 6. Campo de circuitos verticais em Nydalen.....	10
Figura 7. Sistema vertical na Hungria .....	10
Figura 8. Habitação na Turquia com circuito vertical .....	11
Figura 9. Central geotérmica piloto do Pico Vermelho (10 MW).....	12
Figura 10. Central geotérmica da Ribeira Grande .....	12
Figura 12. Hotel Aqua Flaviae em Chaves.....	14
Figura 14. Central geotérmica de S. Pedro do Sul.....	14
Figura 14. Ciclo por compressão de vapor .....	17
Figura 15. Circuitos vertical (esquerda) e horizontal (direita) .....	18
Figura 16. Configuração em U (esquerda) e coaxial (direita) .....	19
Figura 17. Circuito horizontal simples .....	20
Figura 18. Circuito horizontal em série .....	20
Figura 19. Circuito horizontal paralelo.....	20
Figura 20. Colocação em espiral .....	20
Figura 21. Circuito aberto.....	22
Figura 22. Ventilador embutido .....	23
Figura 23. Ventilador de parede .....	23
Figura 24. Circuito de tubagem de piso radiante .....	23
Figura 25. Perfis de temperatura para os diversos sistemas de distribuição (função aquecimento) .....	25
Figura 26. Modelo conceptual do solo .....	29
Figura 27. Transferência de calor por condução .....	32
Figura 28. Corrente de Convecção .....	33
Figura 29. Teste de Resposta Térmica.....	38
Figura 30. Máquina de perfuração .....	40
Figura 31. Compressor .....	41
Figura 32. Martelo de fundo-de-furo .....	41
Figura 33. Perfuração .....	41
Figura 34. Peso de fundo e equipamento para desenrolar .....	42
Figura 35. Tubo na posição superior .....	42
Figura 36. Pontas do tubo .....	42
Figura 37. União aos coletores de distribuição.....	43
Figura 38. Coletores de distribuição .....	43
Figura 39. Desaterro .....	44
Figura 40. Ligação aos coletores de distribuição .....	44
Figura 41. Estacas e alinhamento .....	45
Figura 42. Fixação [16] .....	45
Figura 43. Enchimento com solo [16] .....	45

Figura 44. Legislação de 16 março de 1990 - Prospeção, pesquisa e exploração .....	48
Figura 45. Recursos Geotérmicos: Acesso à atividade .....	49
Figura 46. Áreas de intervenção da PPGS.....	50
Figura 47. Ações e iniciativas em curso da PPGS .....	51
Figura 48. Divisão do edifício por zonas e orientação das suas fachadas .....	52
Figura 49. Carga térmica média diária do edifício .....	53
Figura 50. Esquema típico da bomba de calor geotérmica com os módulos básicos utilizados no simulador TRSYS .....	53
Figura 51. Comparação entre a bomba de calor geotérmica (GSHP) e a bomba de calor ar-ar (ASHP) .....	54
Figura 52: Comparação de custos anuais de uma moradia.....	55
Figura 53: Amortizações dos equipamentos.....	56

## Índice de tabelas

Tabela 1. Produção de energia elétrica na Europa.....	8
Tabela 2. Utilização direta da geotermia na Europa .....	9
Tabela 3. Fatores que influenciam o funcionamento da bomba de calor geotérmica ....	28
Tabela 4. Definição das grandezas básicas descritas do estado físico dos solos.....	30
Tabela 5. Condutividades térmicas de diferentes minerais, água e ar .....	34

## CAPÍTULO 1 - Introdução

Um dos grandes desafios que a humanidade tem de ultrapassar é sua forte dependência em relação aos combustíveis fósseis. O Homem desde a idade média que assiste impávido e sereno à constante destruição dos recursos não renováveis existentes no seu planeta, não refletindo de forma consciente que o seu mundo é finito.

Essa dependência surge devido ao elevado consumo energético, bem como, devido à forma como se obtém a energia para fazer face ao mesmo. Deste modo, pode-se afirmar que o setor energético anseia por uma revolução urgente e à escala mundial, sendo para tal, necessário investir em novas fontes de energia mais abrangentes e menos poluentes, por forma a garantir um futuro para as gerações vindouras.

A utilização massificada e indiscriminada dos combustíveis fósseis, constitui a principal força motora por detrás das alterações climáticas, que ao longo dos anos e que ainda hoje todos nós assistimos. Além disso constitui o principal foco da má qualidade do ar que atualmente tanto nos tem penalizado.

É neste contexto que começam a ser cada vez maiores os investimentos nas chamadas energias renováveis, ou seja, em fontes inesgotáveis de energia obtidas da Natureza, como o Sol (energia solar), a água (energia hídrica), o vento (energia eólica), o movimento das ondas (energia maremotriz), o solo (energia geotérmica) e a biomassa.

Contudo não é somente o setor energético que carece de uma grande mudança, mas sim também o próprio universo da construção, neste caso os edifícios, onde no qual há necessidade de reter noções como o desenvolvimento sustentável, arquitetura e construção sustentável, dando especial realce à eficiência energética e à exploração das energias renováveis.

Todos estes aspetos tornam-se cada vez mais preponderantes no momento da tomada de decisão, quanto aos materiais e equipamentos a utilizar numa habitação. Como todos nós sabemos existem diversas formas de satisfazer as necessidades de climatização (aquecimento/arrefecimento) numa habitação, recorrendo a diversos sistemas, os quais exploram diferentes fontes de energia.

No entanto, existe um sistema geotérmico já bastante desenvolvido e utilizado na Europa, mas que em Portugal por vários fatores, ainda se encontra pouco disponível no mercado, sendo este a bomba de calor geotérmica, também conhecida na terminologia inglesa por “Ground Source Heat Pumps”.

Este tipo de sistema permite o aproveitamento do calor armazenado no subsolo ou em águas freáticas para a produção de águas quentes sanitárias e climatização (aquecimento e arrefecimento) produzindo para tal, menos agentes contaminantes e utilizando um baixo consumo de eletricidade convencional.

A utilização desta tecnologia é uma realidade presente em diversos países, sendo implementada para climatização de habitações uni e multifamiliares, escritórios de grande e pequena dimensão e infraestruturas subterrâneas, tais como estações de metropolitano.

Para além disso, esta apresenta outras áreas de aplicabilidade tais como, o sector agropecuário (para climatização de estufas ou aviários), em unidades de piscicultura e no sector industrial dos têxteis e do vinho.

Há muito que em Portugal a geotermia tem sido tratada, desculpem a expressão, como o “filho indesejado” entre as fontes de energias renováveis. Ou porque não existe potencial, ou porque é caro, ou porque é de difícil execução, são algumas das ideias feitas que têm distanciado as pessoas desta solução, na maioria por puro desconhecimento.

No entanto, com este projeto esperamos despertar a atenção da sociedade civil para as potencialidades desta forma de energia e principalmente dar a conhecer conteúdos adjacentes às bombas de calor geotérmicas, uma tecnologia alternativa para colaborar no desafio do momento: reduzir a dependência dos combustíveis fósseis.

## **1.1 Objetivos**

O presente projeto tem como objetivo central dar a conhecer ao público em geral, uma nova tecnologia no ramo da geotermia, ainda pouco conhecida e divulgada no mercado, mas que apresenta um elevado potencial em matéria de climatização e produção de água quente sanitária (AQS).

Com esse propósito pretende-se aprofundar todos os aspetos relacionados com as bombas de calor geotérmicas, bem como:

- Identificar as potencialidades da energia geotérmica;
- Desenvolver conhecimentos acerca do funcionamento das bombas de calor geotérmicas e da forma como se processa a captação da energia do solo;

- Identificar os fatores mais importantes que influenciam o seu correto funcionamento;
- Contribuir para a sua divulgação.
- Contribuir para a mudança do paradigma energético, nomeadamente, para a redução do consumo de combustíveis fósseis e para a aposta nas energias renováveis.

## **1.2 Estrutura do Projeto**

O presente projeto encontra-se dividido em 4 capítulos, os quais revelam o desenvolver do trabalho efetuado, salientando os aspetos essenciais. Neste primeiro capítulo é realizada uma pequena reflexão sobre o tema do projeto, sendo ainda apresentados os seus objetivos.

No capítulo 2 é introduzido o tema da geotermia com especial atenção na energia geotérmica de baixa entalpia, onde se aborda a sua origem e os aproveitamentos realizados na Europa e em Portugal.

O capítulo 3 apresenta o objetivo primordial deste projeto. Aqui será dado a conhecer os conteúdos essenciais ao conhecimento da bomba de calor geotérmica, tais como, o seu funcionamento, os fatores que influenciam o mesmo, a eficiência produzida por este sistema, os custos adjacentes à sua aquisição, entre outros.

No capítulo 4 expõem-se dois estudos desenvolvidos em Portugal no âmbito deste tema, onde se dá a conhecer de forma sucinta o seu conteúdo e as conclusões retiradas dos mesmos, como exemplo dos demais estudos nacionais já concretizados na área das bombas de calor geotérmicas.

Por fim, no capítulo 5 retiram-se as principais considerações relativas à temática desenvolvida no trabalho.

## CAPÍTULO 2 - Energia Geotérmica

### 2.1 Origem e Definição

A energia geotérmica ou geotermal, pode ser descrita como sendo, a energia que se obtém a partir do calor proveniente da Terra, mais propriamente do seu interior. Por definição, a energia geotérmica “é a energia armazenada sob a forma de calor por debaixo da superfície sólida terrestre” [1]. Num sentido mais pragmático, a energia geotérmica é vista como sendo a energia calorífica presente no interior da Terra, a qual se encontra, do ponto de vista económico, em condições de ser extraída de forma rentável. [2]

No que diz respeito á sua origem, esta provem das altas temperaturas do núcleo liquefeito da Terra, onde as temperaturas atingem os 5000°C, e pela desintegração de materiais radioativos contidos nas rochas existentes no interior do planeta, tais como o U, Th e Kr. O fluxo de calor originado é continuamente dissipado para a superfície pelos processos de condução, convecção e radiação [2] [3].

Uma outra noção, que é necessário reter quando se aborda a temática da energia geotérmica é o conceito de gradiente geotérmico, o qual em função da profundidade, avalia a variação da temperatura no interior da Terra (expressa-se em °C/Km). Como anteriormente se referiu a energia geotérmica tem origem no interior da Terra, constatando-se, que em termos médios a temperatura aumenta em profundidade a uma taxa sensivelmente de 3°C por cada 100 m. Á profundidade de 5 m a temperatura é estável e de aproximadamente 15°C todo o ano [1] [4].

No entanto, pelo facto da crosta terrestre ser heterogénea surgem zonas anómalas, isto é, zonas onde a variação da temperatura com a profundidade (gradiente geotérmico) é inferior ou superior ao valor médio referido, como tal, o gradiente geotérmico varia de lugar para lugar consoante as suas características. [3]

A energia geotérmica, consoante a gama de temperaturas, pode ser subdividida em dois subconjuntos, nomeadamente em alta e baixa entalpia (o termo entalpia designa-se pela quantidade de energia térmica que um fluido ou objeto é capaz de transferir em seu redor; expressa-se em kJ/kg ou kcal/kg. [1]). As categorias de temperaturas são definidas de forma diferente de autor para autor, contudo para a temática em estudo, apenas as baixas entalpias são relevantes.

Um dos trunfos que esta forma de energia detém, destacando-a dos restantes tipos de energia, é a independência que a mesma apresenta faces às condições externas, nomeadamente, à radiação solar, ao vento ou às condições climatéricas. Tal facto, faz com que esta seja encarada como uma forma de energia contínua, disponível 24 horas por dia [5].

Para além disso esta é considerada uma energia renovável, na medida em que se pressupõe inesgotável, ecológica devido à sua reduzida emissão de gases para a atmosfera, segura e controlável [5].

## **2.2 Perspetiva Histórica sobre a Energia Geotérmica**

Ao longo dos anos, o ser humano sempre procurou recursos que tornassem a sua vida mais confortável, saudável e sustentável. Com esta procura foram sendo descobertas novas fontes de energia, as quais permitiram o desenvolvimento da sociedade em que hoje todos nós vivemos.

Desde os tempos mais longínquos que a água que flui livremente do interior da superfície da Terra a temperaturas superiores, à que se encontra nas correntes naturais ou pluviais, é vista como um polo de atração devido à sua temperatura. As civilizações antigas faziam uso desta água para confeccionarem os seus alimentos e banharem-se (devido à existência de fontes termais e fumarolas). [1]

A título de exemplo dessas civilizações, foram os paleoíndios da América do Norte, há cerca de 10000 anos atrás, os quais utilizavam a água para cozinhar e para fins medicinais e as primeiras civilizações há 3500 anos antes de Cristo. [1]

Com o aparecimento da civilização grega e romana, foi-se adquirindo novas aplicações para a energia geotérmica, nomeadamente com as tradicionais termas e banhos públicos, sendo a mesma utilizada no tratamento de doenças de pele e dos olhos e em Pompeia já se aqueciam edifícios. [1] e [2]

No início do século XX, a sociedade da altura cada vez mais moderna e carecida de energia para se sustentar, leva a um avanço no que diz respeito às aplicações da energia geotérmica, é então que o calor originário do interior da Terra e do vapor de água a ele associado é utilizado para a produção de energia elétrica. [1]

No ano de 1930, surge a primeira rede moderna de aquecimento urbano abastecida por energia geotérmica, em Reiquejavique, Islândia, inovação esta que conduziu ao aparecimento de outras redes de aquecimento um pouco por todo o mundo. [1]

Após a Segunda Guerra Mundial, surgem as primeiras instalações equipadas com bomba de calor geotérmica, nomeadamente, habitações e edifícios escolares, como por exemplo, a Universidade do Estado de Ohio, nos E.U.A (em 1948). [1]

Em Portugal, a utilização da energia geotérmica, surge no tempo da colonização romana, com a utilização da água quente natural, para a prática da balneoterapia. Neste é possível encontrar alguns vestígios arqueológicos que atestam o aproveitamento desta forma de energia pela civilização romana [3].

Para além disso, surge no ano de 1980 nos Açores a primeira experiência na produção de energia elétrica por via geotérmica, com a instalação no Pico Vermelho na ilha de São Miguel, de uma central geotérmica piloto, com uma potência instalada de 3 MW [3].



**Figura 1. Termas romanas de Bath**

**Fonte: <http://footage.framepool.com/es/shot/677994652-termas-romanas-de-bath-bath-inglesa-bano-termal-roma-antigua>**



**Figura 2. Universidade do Estado de Ohio, nos E.U.A**

**Fonte:** <http://www.bv.fapesp.br/linha-do-tempo/2200/acordo-com-universidade-de-ohio/>



**Figura 3. Aquecimento do pavimento numa rua em Reiquejavique, Islândia**

**Fonte:** <http://www.cidadessustentaveis.org.br/boas-praticas/energia-que-vem-do-solo>

## **2.3 Aproveitamentos Geotérmicos**

### **2.3.1 Na Europa**

O continente europeu é caracterizado pela existência de uma bacia de recursos geotérmicos vulcânicos e sedimentares com grande potencial. Visto que a União Europeia é a maior importadora de energia do mundo, esta tem vindo a investir cada vez mais em energia eólica e solar, por isso a tendência será dar cada vez mais importância à energia geotérmica já que esta é também renovável. Neste subcapítulo vamos ver que países tomam partido desta energia e de que forma a utilizam.

O uso da energia geotérmica para produção de eletricidade é significativo nalguns países da Europa, devido à sua configuração geológica, e podemos ver que apesar

de a Itália ser o país número um, a ilha de São Miguel nos Açores é das maiores produtoras na Europa (Tabela 1) [6].

Tabela 1. Produção de energia elétrica na Europa [6]

País	Capacidade Instalada [MWe]	Capacidade Utilizada [MWe]	Energia Produzida Anualmente [GWh/ano]	Número de Unidades	% de Capacidade Nacional	% de Energia Nacional
Áustria	1,2	1,1	3,2	2	Desprezível	Desprezível
Alemanha	0,2	0,2	1,5	1	Desprezível	Desprezível
Islândia	202	202	1483	19	13,7	17,2
Itália	810,5	711	5200	32	1,0	1,9
Portugal (ilha de São Miguel)	16	12	90	5	25*	n/a*
Turquia	30	30	108	2	Desprezível	Desprezível
<b>Total</b>	<b>1059,9</b>	<b>957,3</b>	<b>6885,7</b>	<b>61</b>	-	-

\*Capacidade local

O aproveitamento de calor a partir da energia geotérmica é, principalmente, realizado com base nas águas quentes de aquíferos profundos ou a partir do calor armazenado no solo pouco profundo que vai ser empregado nas bombas de calor - tema deste trabalho [6]. Existem outras utilizações diretas da energia geotérmica tais como a aquacultura, aquecimento de estufas, secagem de colheitas e aquecimento de águas de piscinas ou banhos [6].

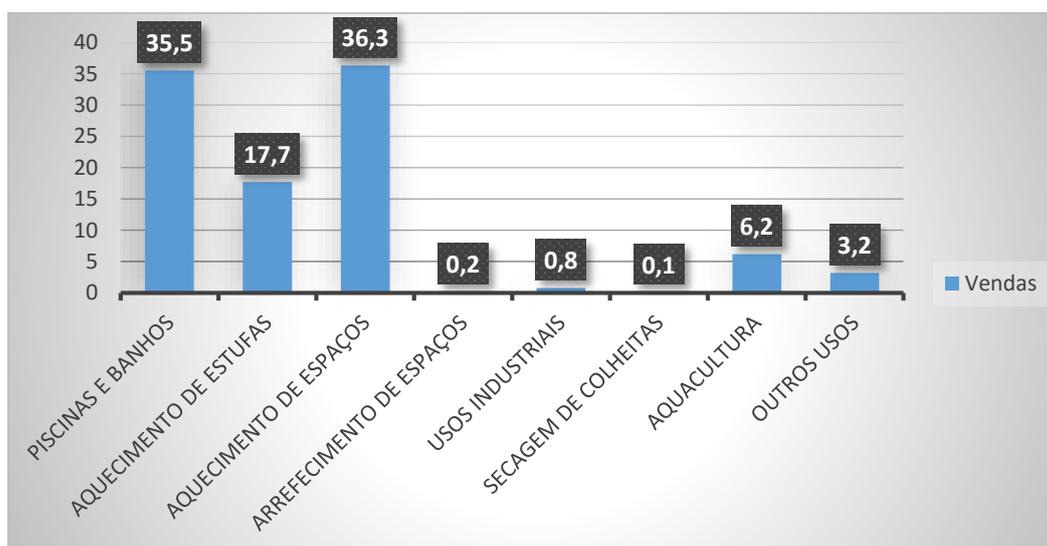


Figura 4. Distribuição de utilizações diretas da geotermia na Europa (MWt) [6]

Na tabela 2 podemos verificar os valores aproximados dos sistemas de captação de energia calorífica proveniente do solo, instalados em cada país da Europa. Como tal, a partir dos dados apresentados constata-se, que os países que mais tiram partido da energia geotérmica são a Alemanha, Hungria, Islândia, Itália, Noruega, Suíça, Turquia e a Suécia, tendo esta última o maior valor registado, com 3840 megawatts térmicos de capacidade instalada.

**Tabela 2. Utilização direta da geotermia na Europa [6].**

<b>País</b>	<b>Capacidade MWt</b>	<b>Utilização TJ/ano</b>	<b>Fator de utilização</b>
Albânia	9,6	8,5	0,03
Áustria	352,0	2229,9	0,20
Bielorrússia	2,0	13,3	0,21
Bélgica	63,9	431,2	0,21
Bulgária	109,6	1671,5	0,48
Croácia	114,0	681,7	0,19
Republica Checa	204,5	1220,0	0,19
Dinamarca	330,0	4400,0	0,42
Finlândia	260,0	1950,0	0,24
França	308,0	5195,7	0,53
Geórgia	250,0	6307,0	0,80
Alemanha	952,0	6060,0	0,18
Grécia	74,8	567,2	0,24
Hungria	694,2	7939,8	0,36
Islândia	1844,0	24500,0	0,42
Irlanda	20,0	104,1	0,17
Itália	650,0	8000,0	0,39
Lituânia	21,3	458,0	0,68
Macedónia	62,3	598,6	0,30
Países Baixos	253,5	685,0	0,09
Noruega	600,0	3085,0	0,16
Polónia	210,0	1108,0	0,16
Portugal	30,6	385,3	0,40
Romania	145,1	2841,0	0,62
Rússia	308,2	6143,5	0,63
Servia	88,8	2375,0	0,85
Eslováquia	187,7	3034,0	0,51
Eslovénia	49,6	729,6	0,47
Espanha	22,3	347,2	0,49
Suécia	3840,0	36000,0	0,30
Suíça	650,0	5500,0	0,23
Turquia	1385,0	24000,0	0,53
Ucrânia	10,9	118,8	0,35
Reino Unido	10,2	45,6	0,14
<b>Total</b>	<b>14114,1</b>	<b>158734,5</b>	-

Como exemplos da utilização de bombas de calor geotérmicas na Europa temos [7]:

- O Hotel Storforsen na Suécia que tira partido de 33 furos no solo para climatização:

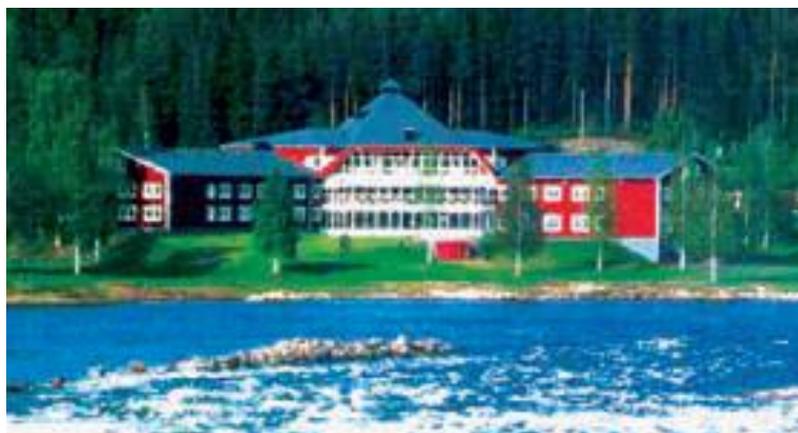


Figura 5. Hotel Storforsen [7]

- Um campo de circuitos verticais em Nydalen na Noruega:



Figura 6. Campo de circuitos verticais em Nydalen [7]

- Um prédio de escritórios em Törökbalint na Hungria que também utiliza o sistema vertical:



Figura 7. Sistema vertical na Hungria [7]

- Uma habitação em Istanbul na Turquia que tem como fonte calorífica um circuito vertical com 4 perfurações:



Figura 8. Habitação na Turquia com circuito vertical [7]

### 2.3.2 Em Portugal

As temperaturas elevadas existentes no interior do nosso planeta, resultantes da ação conjunta de diversos fatores, tais como, a tectónica de placas, o vulcanismo, as características geologias dos diferentes locais e o decaimento radioativo de alguns componentes presentes nas rochas, tem sido alvo de muito interesse, não só económico como ambiental.

Em Portugal constata-se, que os recursos geotérmicos disponíveis diferem por todo o país, existindo uma clara distinção entre os recursos disponíveis no arquipélago dos Açores e aqueles presentes no território continental [8].

No caso do arquipélago dos Açores, fruto da sua localização na fronteira de placas, há muito que os recursos geotérmicos presentes têm sido aproveitados, nomeadamente, a designada geotermia de “alta entalpia”, a qual é utilizada para a produção de energia elétrica [8].

O primeiro passo dado nesse sentido, foi o da instalação da Central Geotérmica do Pico Vermelho (um projeto piloto de confirmação do potencial geotérmico da zona), a qual possuía uma potência instalada de 3 MW. Contudo, esta potência nunca foi alcançada, dado que apenas se dispunha de uma fração do caudal nominal de vapor, produzido por um único poço. Perante tal facto, a referida central sofreu um processo de remodelação que conduziu à instalação de um grupo gerador com uma potência de 10 MW [9].

Além da referida central foi instalada uma outra central, a Central Geotérmica da Ribeira Grande (em 1994), a qual possui uma capacidade de geração de 13 MW e no início do ano 2000, tiveram lugar os primeiros estudos geofísicos para a construção de uma nova central geotérmica na ilha Terceira, os quais revelaram uma área significativa e com reservas de calor suficientes para suportar um projeto geotérmico com 10/12 MW [9].



**Figura 9. Central geotérmica piloto do Pico Vermelho (10 MW) [9]**



**Figura 10. Central geotérmica da Ribeira Grande [9]**

Relativamente, a Portugal Continental o panorama existente nesta parte do país é bastante diferente da dos Açores, saindo do domínio da designada “alta entalpia” para entrar na de “baixa entalpia”. Em resultado de uma complexa e diversidade geologia, Portugal Continental possui um elevado potencial geotérmico, demonstrado pelas inúmeras ocorrências geotérmicas com temperaturas superiores a 20°C [8].

Nos últimos anos, tem-se notado um interesse cada vez maior, na realização de estudos e projetos geotérmicos, com vista ao aproveitamento desta forma de energia, muito dos quais aplicados ao nível da indústria, agricultura e aquecimento urbano [8].

O potencial geotérmico presente em Portugal Continental, pode ser aproveitado por duas vias, as quais a seguir se referem [8]:

- Aproveitamento dos polos termais existentes, os quais apresentam uma gama de temperaturas entre os 20°C e os 76 °C;
- Aproveitamento do calor proveniente de aquíferos ou formações geológicas com recurso a bombas de calor, permitindo utilizações para climatização.

A título de exemplo destes tipos de aproveitamento, temos o aproveitamento geotérmico em Chaves, onde a água proveniente do furo geotérmico das Termas é utilizada no aquecimento da água da piscina municipal, na climatização ambiental do hotel Aqua Flaviae e no aquecimento de estufas situadas nas proximidades das termas [8].

De igual modo, em S. Pedro do Sul, uma central geotérmica (em funcionamento desde 2001) constituída no essencial por um grande permutador que transfere a temperatura da água mineral natural (proveniente de um furo de 500m de profundidade) para a água normal da rede (água não mineral) é utilizada para aquecer o balneário Rainha D. Amélia e dois hotéis localizados nessa localidade [8].

No caso das bacias sedimentares foi realizada uma operação geotérmica com um único furo de 1500 m de profundidade, no Hospital da Força Aérea no Lumiar (Lisboa), com vista à produção de água quente sanitária, climatização e água potável fria [8].

Para idênticos fins, foi aproveitado nos Serviços Sociais das Forças Armadas em Oeiras, o calor proveniente de um furo de 475 m de profundidade com o apoio de uma bomba de calor [8].



**Figura 1211. Hotel Aqua Flaviae em Chaves**

Fonte: <http://www.booking.com/hotel/pt/aquae-flaviae.pt-pt.html>



**Figura 13. Hospital da Força Aérea no Lumiar**

Fonte:  
[http://www.snipview.com/q/Hospital\\_da\\_For%C3%A7a\\_A%C3%A9rea](http://www.snipview.com/q/Hospital_da_For%C3%A7a_A%C3%A9rea)



**Figura 124. Central geotérmica de S. Pedro do Sul**

Fonte: <http://slideplayer.com.br/slide/283360/>

## CAPÍTULO 3 - Bombas de Calor Geotérmicas

### 3.1 Conceito

A bomba de calor é um equipamento que utiliza uma fonte de energia natural para a produção de aquecimento ou arrefecimento (climatização), possibilitando de igual modo a produção de águas quentes sanitárias (AQS) [10].

Este sistema funciona por compressão de vapor, realizando um ciclo termodinâmico (que se baseia no ciclo de Carnot) entre duas fontes de energia, uma a baixa temperatura (fonte fria) e outra a alta temperatura (fonte quente). A bomba de calor tem por objetivo fornecer calor a uma fonte de energia fria, através de calor absorvido a baixa temperatura, por forma a aquecê-la [10] [11].

Como tal, para isso é utilizado um ciclo de compressão de vapor, onde no qual intervêm um conjunto de elementos, nomeadamente um evaporador, um compressor, um condensador e uma válvula de expansão [11].

Nos dias de hoje, com o desenvolvimento tecnológico vivenciado aos longos os anos, a oferta comercial em matéria de bombas de calor é diversificada, existindo vários tipos de sistemas no mercado, sendo os mais frequentes os que a seguir se referem [11]:

- Aerotérmica - tendo como fonte de calor o ar;
- Geotérmica - tendo como fonte de calor o solo;
- Assistido a energia solar;
- Bomba de Calor a gás.

No âmbito da temática selecionada para o presente projeto, dos equipamentos acima referidos, é a bomba de calor geotérmica o sistema sobre o qual o mesmo se desenvolve.

Como anteriormente se referiu, as bombas de calor geotérmicas, aproveitam o calor existente no solo como fonte de calor, sendo esse aproveitamento realizado por meio de tubos enterrados (permutadores) a profundidades diferentes [10].

Em relação, a este tipo de bombas são conhecidos dois tipos de sistemas, nomeadamente:

- Sistema Fechado: é constituído por permutadores de calor (coletores e sondas), os quais se encontram localizados no solo e o fluido de aquecimento circula nestes transportando o calor do solo para a bomba.
- Sistema Aberto: neste sistema, as águas subterrâneas são utilizadas como fluido de calor transportando-o diretamente para a bomba de calor [10].

### **3.2 Funcionamento de uma bomba de calor**

O conceito de bomba de calor já existe desde o século XIX, havendo aplicações na área comercial há 60 anos. Uma bomba de calor geotérmica tem a capacidade de fornecer calor de uma forma eficiente, económica e com poucas emissões de poluentes a partir da energia armazenada no solo/águas subterrâneas, que geralmente se encontram entre os 5°C e 30°C. Esta tem como objetivo aquecer ou arrefecer um espaço e manter a temperatura confortável no interior do mesmo [12].

As bombas de calor geotérmicas (GHPs / GSHPs) são caracterizadas por três sistemas principais [12]:

- Bomba de calor: transfere o calor do solo para a habitação e modifica a sua temperatura.
- Ligação ao solo: permite a extração do calor do solo através de um circuito de permutadores.
- Distribuição no interior da habitação: modo como o calor é distribuído pelo espaço interior destinado.

#### **3.2.1 Sistemas de bombas de calor**

As bombas de calor operam com base no uso de eletricidade com o objetivo de manipular e transportar a energia calorífica ao longo do sistema. As bombas convencionais utilizam o ciclo de compressão e expansão, com uso de um fluido refrigerante que é escolhido com base nas características e requisitos da bomba em questão. O calor é movido do solo para o espaço a climatizar através da manipulação dos valores de pressão e temperatura utilizando para esse efeito métodos de compressão e expansão [12].

A bomba de calor é constituída por cinco grandes componentes que permitem a realização do ciclo (Fig. 14): condensador, válvula de expansão, válvula reversível, evaporador e compressor. Para além destes, existem alguns elementos secundários tais como ventoinhas, tubos e comandos que auxiliam a operação [12].

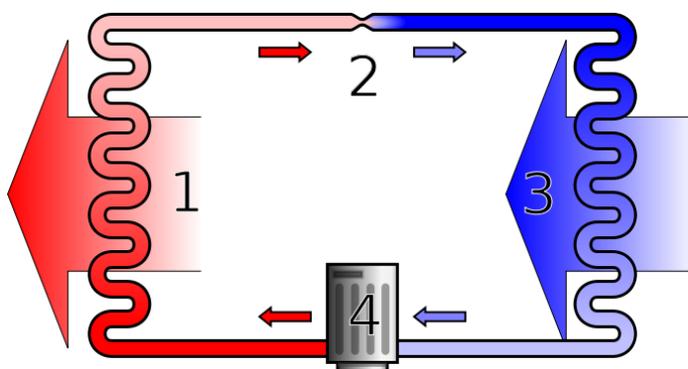


Figura 13. Ciclo por compressão de vapor [15]

As bombas no modo de aquecimento funcionam da seguinte forma [12]:

1. O calor é retirado do solo (através da ligação à terra) é levado até ao evaporador (3);
2. O refrigerante usado no circuito capta o calor terrestre e ao entrar no evaporador (3), entra em ebulição transformando-se num vapor de baixa pressão; nesta fase a temperatura aumenta ligeiramente.
3. O vapor passa pelo compressor (4) onde a pressão é aumentada, resultando assim num vapor de alta temperatura e pressão.
4. O vapor a alta temperatura entra no condensador (1) onde arrefece e condensa, passando o refrigerante a ser um líquido a alta pressão e temperatura. Aqui a energia calorífica é extraída para o espaço a aquecer.
5. A válvula de expansão (2) reduz a pressão do refrigerante, diminuindo assim a temperatura e permitindo ao mesmo iniciar um novo circuito.

Na altura do verão é possível alterar o sistema do modo aquecimento para o modo arrefecimento, sendo o calor retirado da habitação e levado para o solo. Neste modo de arrefecimento, a válvula reversível move o refrigerante no sentido inverso o evaporador passa a executar as funções de condensador e o condensador as funções de evaporador ficando assim o circuito a trabalhar de forma contrária, necessária para o efeito [12] [13].

### 3.2.2 Tipos de ligações subterrâneas

Como já vimos anteriormente, as bombas de calor geotérmicas utilizam o solo como fonte térmica, mas este não é a única fonte passível de ser usada, pois também é possível extrair água de uma massa de água subterrânea e usar o calor desta para o mesmo fim.

A ligação à terra, num dos casos, consiste na instalação de tubos que vão transportar o fluido refrigerante no interior do solo, na outra situação a instalação consiste em tubos que vão bombear água subterrânea até à bomba. Em ambos os casos o objetivo é o mesmo, extrair a energia calorífica presente no interior da terra [12].

Existem dois circuitos possíveis, o fechado e o aberto, sendo que tanto num como noutro existe mais que uma configuração possível [12].

O funcionamento consiste em fazer mover um fluido ao longo de tubos subterrâneos em sistema separado da bomba (circuito fechado) ou então de bombear água de uma massa de água presente no subsolo (circuito aberto) com o objetivo de transportar a energia térmica até à mesma [12].

#### 3.2.2.1 Circuito fechado

Nos sistemas de circuito fechado, o refrigerante que percorre o solo não tem contato direto com este, pois a transferência é feita através do material do tubo. O tubo usado será caracterizado por ter um material de polietileno ou polipropileno e terá um diâmetro de 19 mm para aplicações pequenas e médias [12].

Estes sistemas são os mais comuns neste tipo de bombas e podemos dividi-los em circuito vertical e horizontal (Figura 15) [12].

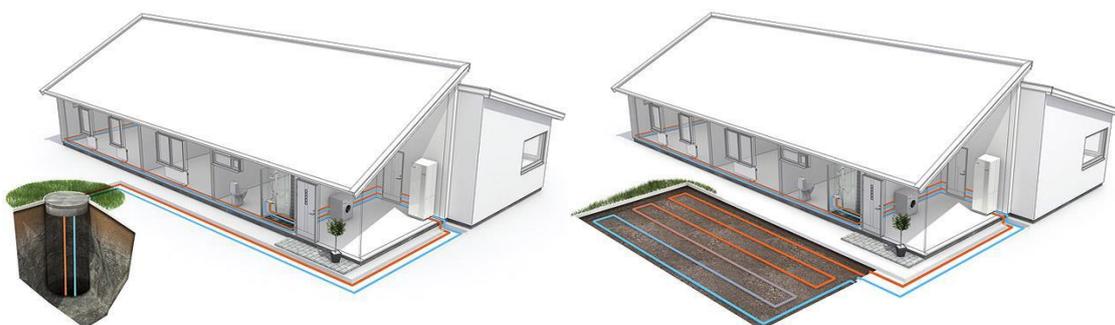


Figura 14. Circuitos vertical (esquerda) e horizontal (direita) [3]

### 3.2.2.1.1 Circuito vertical

Um circuito vertical é composto por uma série de tubos posicionados verticalmente no subsolo. O refrigerante é movido através destes tubos até a bomba e depois da bomba volta a passar pelo circuito nunca saindo do sistema.

Os tubos geralmente formam uma ligação em “U” ou coaxial na parte inferior (Figura 16), mas podem ter ainda a forma dupla e tripla em “U”, a forma em “W” ou em hélice. Estes são inseridos em furos com uma profundidade de 45 a 75 metros para zonas residenciais ou para lá de 150 metros em aplicações de grande escala [12]. Depois de inseridos os tubos, é preenchido o espaço vazio entre as paredes do furo e os tubos permutadores com por exemplo, areia (com diferentes teores de água), bentonite ou misturas de cimento com areia, para melhorar a transferência de calor, impedir infiltrações de água subterrânea e proteger os tubos [12] [13] [14].

Durante o processo de enchimento, o sistema deve estar sob pressão. O diâmetro das perfurações é de aproximadamente 102 milímetros e estas terão um espaçamento a rondar os 5 ou 6 metros para evitar alterações estruturais entre furos [12].

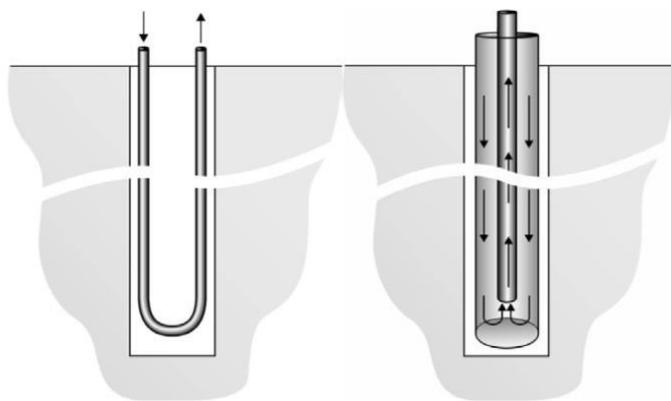


Figura 15. Configuração em U (esquerda) e coaxial (direita) [14]

Os circuitos verticais têm a vantagem de permitir a instalação de um sistema de bomba de calor geotérmica mesmo onde existe pouca área disponível, o que também permite diminuir o impacto paisagístico da obra. Devido ao posicionamento do circuito a grandes profundidades, é possível obter temperaturas mais constantes durante o ano, uma maior eficiência (comparativamente com o circuito horizontal) e conseqüentemente uma menor quantidade de tubos a ser usada. A grande desvantagem deste tipo de circuito é o custo associado a perfurações desta magnitude [12] [13].

### 3.2.2.1.2 Circuito horizontal

Um circuito horizontal consiste numa série de tubos distribuídos horizontalmente em valas e numa ampla área a uma profundidade de cerca de 1 ou 2 metros. Existem diferentes configurações que os tubos podem tomar, tendo em conta os requisitos de calor a transferir e área disponível. Os mais comuns são o circuito simples, circuito em série, circuito paralelo e circuito espiral [12].

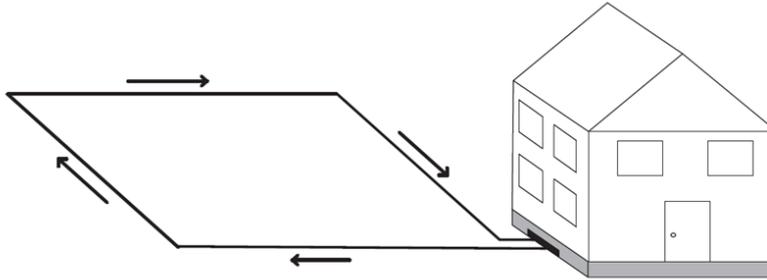


Figura 16. Circuito horizontal simples [12]

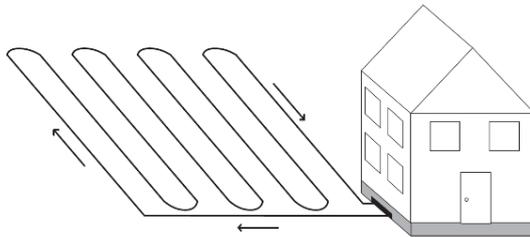


Figura 17. Circuito horizontal em série [12]

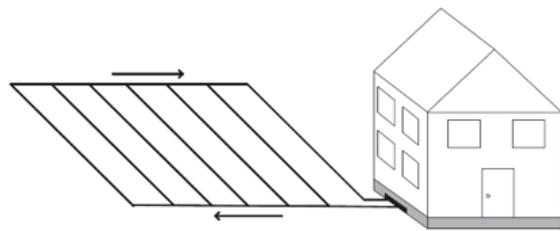


Figura 18. Circuito horizontal paralelo [12]



Figura 19. Colocação em espiral

Fonte: <https://ofigeo.wordpress.com/category/divulgacion/>

Na construção de um circuito horizontal é importante ter em conta o espaçamento a aplicar entre as tubagens e o regime térmico dos solos no local. Depois de as tubagens estarem dispostas, devem ser cobertas pelo material que foi retirado na escavação e deve-se garantir de que as mesmas estão sob pressão e que não há danos no circuito [12].

O circuito simples apesar de necessitar de uma quantidade menor de tubagem, está dependente de uma área disponível grande, pelo contrário nos circuitos em série e paralelo a área é menor, mas aumenta o número de tubos a usar. Também é possível conciliar o circuito em série com o circuito paralelo de forma a aumentar a flexibilidade do sistema horizontal. Ainda existe o circuito espiral que funciona como os circuitos anteriores, mas onde a tubagem é disposta de forma espiral no interior da vala, sendo necessário para isso um maior comprimento da mesma na instalação [12].

No caso dos circuitos horizontais é possível, comparativamente ao circuito vertical, diminuir os custos de instalação para residências, pois a escavação é mais económica que a perfuração [12].

Visto que a tubagem é colocada a uma profundidade reduzida (1 a 2 metros), há uma maior interação do solo com o ambiente nesta situação, que resulta em variações de temperatura diárias e anuais. Nomeadamente a chuva, neve, radiação incidente ou vegetação vão afetar a permutação do calor e conseqüentemente a eficiência do sistema. Igualmente, é necessário neste tipo de ligação, que o fluido tenha propriedades anticongelantes de modo a evitar complicações nas estações frias [12].

### 3.2.2.2 Circuito aberto

Ao contrário do circuito fechado, nos circuitos abertos existe contato direto com solo através das águas superficiais e subterrâneas, tais como lagos e aquíferos, que funcionam como via direta de transporte de calor. A água extraída passa por um permutador de calor da bomba para de seguida ser libertada de novo à fonte ou usada para outros fins como a rega.

Podemos dividir o circuito aberto em três configurações: poços de captação, poços de captação e reinjeção e sistemas de águas superficiais. A mais comum é a de poços de captação e reinjeção, onde a água é extraída a partir de um poço com ligação a um lençol freático e depois de passar pelo permutador localizado na bomba de calor, a

água é novamente injetada de volta ao lençol a partir de outro poço. Para que a transferência de calor não seja afetada, o poço de injeção deve ser localizado a uma distância suficiente do poço de captação.

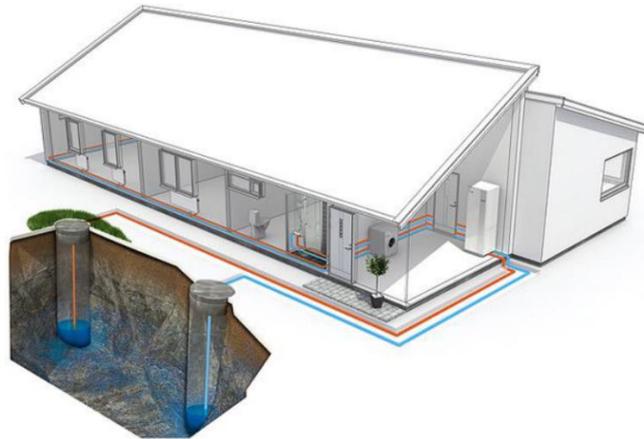


Figura 20. Circuito aberto [14]

Vantagens de sistemas em circuito aberto [12]:

- As águas têm temperaturas praticamente constantes;
- Inexistência de uma ligação à terra, como nos circuitos fechados, havendo assim um maior coeficiente de performance associado.
- Número inferior de perfurações e ligações mais simples (comparativamente com circuito fechado vertical) diminuindo assim os custos iniciais.

No entanto, existem algumas desvantagens neste tipo de sistemas, como por exemplo as limitações que estão associadas à quantidade de água que pode ser extraída ou requisitos de qualidade de água a que é necessário atender. Também é importante ter em consideração as características da água em questão, pois dependendo da sua composição química, poderá ser necessária a manutenção do permutador de calor na bomba devido a corrosão, escamação ou outros tipos de danos no mesmo [12].

### 3.2.3 Distribuição de calor

A distribuição de calor num sistema GSHP define o modo como o calor proveniente da bomba é fornecido ao espaço destinado e divide-se em dois tipos principais: água-ar e água-água. Sistemas de água/ar usam o ar como transportador do calor que for retirado do solo, já os sistemas água/água usam água ou outro fluido como meio de transferência de calor no interior do espaço [12].

O método água-ar consiste na passagem de ar através de uma bobina que é aquecida pelo condensador, esse ar quente é posteriormente conduzido através de máquinas ventiladoras “ventilo-convetores”, posicionadas junto aos pavimentos ou junto ao teto [12].



Figura 21. Ventilo-convetor embutido [16]



Figura 22. Ventilo-convetor de parede [16]

Na distribuição água-água, a energia calorífica é transferida para o circuito de água no condensador e posteriormente bombeada pela habitação, transportando consigo o calor que pode ser utilizado, por exemplo, em pisos radiantes [12].



Figura 23. Circuito de tubagem de piso radiante [16]

### 3.2.3.1 Piso radiante

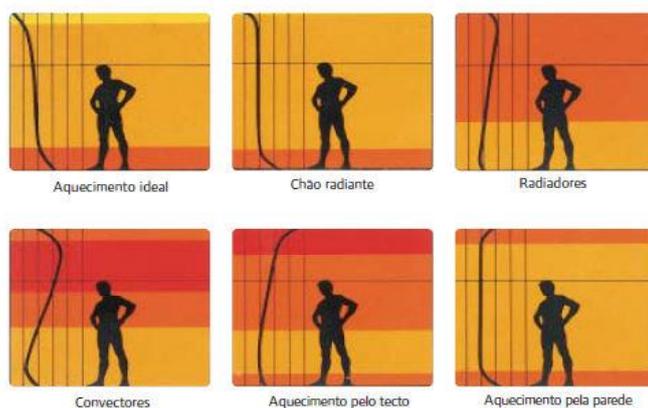
Um sistema de piso radiante consiste na deslocação de água a uma temperatura amena (cerca de 40 °C), através de circuitos de tubos sobre o pavimento do local que se pretende climatizar. Os tubos são envolvidos em argamassa, que vai receber o calor dissipado pela corrente de líquido aquecido que percorre as tubagens e, posteriormente, este material vai transferir a energia térmica para o ambiente interior por convecção e radiação. Existe também o sistema de aquecimento por piso radiante com difusores, os tubos emissores são colocados em placas de alumínio (difusores) que vão emitir a energia necessária ao pavimento a aquecer. As tubagens partem dos coletores de alimentação e retorno, sendo estes equilibrados hidraulicamente, o que permite que o caudal seja regulado eletronicamente em função das necessidades térmicas. Esta regulação permite enviar água à temperatura pretendida e controlar a temperatura de cada divisão independentemente [16].

Visto que o sistema por piso radiante utiliza toda a superfície útil, a distribuição de calor é uniforme, permitindo assim grande conforto térmico sem deslocações de ar [1].

Podemos apresentar várias vantagens deste sistema de distribuição, sendo elas as seguintes [1]:

- **Inexistência de deslocações de massas de ar:** visto que o piso radiante opera a temperaturas inferiores a 30 °C, o diferencial de temperatura da superfície emissora (pavimento) e o ar envolvente é baixo. Isto permite que a velocidade de deslocação das camadas de ar quente para as frias seja muito reduzida e desta forma impercetível e consequentemente confortável ao utilizador. Também é evitado o movimento de pó no espaço, que o torna mais higiénico e saudável.
- **Poupança energética:** uma desvantagem de outros sistemas de aquecimento é a diferença de temperatura nas zonas mais altas para as zonas baixas, o que não acontece em pisos radiantes mesmo com temperaturas inferiores. Isto é possível porque o perfil de temperatura do piso radiante está muito próximo do perfil ideal, enquanto que os outros sistemas não têm esta característica, como podemos ver na figura [2]. Devido ao espaço ter temperaturas interiores

mais baixas, vai ser possível que haja menores perdas energéticas, já que o diferencial de temperaturas do interior para o exterior também é mais reduzido. Outro aspeto que permite poupar energia é o fato de que existem poucas perdas de calor no circuito, visto que este funciona a uma temperatura inferior ao de por exemplo, condutas de caldeiras.



**Figura 24. Perfis de temperatura para os diversos sistemas de distribuição (função aquecimento) [16]**

- **Compatibilidade com a maioria das fontes de energia:** a modesta temperatura que água apresenta num sistema deste tipo permite que este seja compatível com a maioria das fontes energéticas. Particularmente, é o único sistema de aquecimento que pode ser alimentado diretamente por painéis solares.
- **Aquecimento invisível:** a localização do sistema permite que este não seja visível e amplifica o espaço habitável, comparativamente com radiadores.

Para além destas vantagens, temos ainda os seguintes benefícios [16]:

- Instalação compatível com qualquer tipo de pavimento;
- Baixa temperatura de aquecimento (35 °C), possibilitando um elevado rendimento;
- Possibilidade de arrefecimento, embora menos eficaz que para o aquecimento;

- Temperatura superficial do piso instalado de aproximadamente 26°C, garantindo conforto sem danificar os materiais.

Como inconveniente podemos referir o tempo de reação lento, devido à elevada inércia térmica do sistema [16].

### 3.2.3.2 Ventilo-convetores

O sistema de ventilo-convetores consiste na implantação de tubagem com circulação de água glicolada (água com glicol adicionado) pelas paredes ou tetos da habitação, o mais próximo possível dos ventilo-convetores. Depois, ar quente ou frio é transportado para o espaço interior através de uma grelhagem idêntica à dos sistemas AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado) [16].

Os ventilo-convetores são instalados junto ao teto, junto ao pavimento ou suspensos na parede de forma a ser possível a climatização do compartimento interior. Conforme a temperatura da água, proveniente da bomba de calor, que passa nas lâminas do aparelho, obtém-se ar quente ou frio de modo a aquecer ou a arrefecer o espaço [16].

Como vimos anteriormente, o piso radiante opera de uma forma suave e homogénea sem transferência de massas de ar, o mesmo não acontece no caso dos ventilo-convetores onde a climatização é direta e resulta da expulsão de ar. No entanto, essa operação de circulação de ar é silenciosa e confortável contrariamente aos sistemas de ar condicionado. Esse ar sofre um processo de filtração através de um filtro presente no interior do aparelho, que permite que o ar apresente características mais saudáveis [16].

Como características principais dos ventilo-convetores, podemos evidenciar as seguintes [16]:

- Elevada eficiência de emissão em arrefecimento, permitindo uma ótima solução de climatização;
- Inércia térmica muito baixa, permitindo uma elevada reatividade do sistema e um arrefecimento e aquecimento rápido;
- Baixa temperatura de aquecimento (45 °C), possibilitando um bom rendimento;
- Possibilidade de colocação em tetos falsos com impacto estético reduzido ou nulo;

- Controlo individual da temperatura, alimentação elétrica e tubo de drenagem de condensados em cada aparelho;
- Controlo individual de temperatura, permitindo o arrefecimento/aquecimento autónomo de outros compartimentos;
- Rápida resposta térmica, devido às elevadas temperaturas de funcionamento.

É importante dizer que no caso das bombas de calor geotérmicas é possível incorporar mais do que um sistema de distribuição. Assim, um edifício pode possuir tanto um sistema de piso radiante como o de ventilo-convetores na gestão da climatização do mesmo, de forma a assegurar a melhor eficiência possível [16].

### **3.3 Fatores que Influenciam o seu Funcionamento**

Para que um sistema geotérmico, mais propriamente uma bomba de calor geotérmica, funcione de forma estável e eficiente é necessário ter em conta um conjunto de fatores, os quais podem perturbar o seu correto e ideal funcionamento, sendo, portanto, o conhecimento dos mesmos, um processo indispensável para o alcance do objetivo pretendido. [17]

Este conhecimento permite avaliar de forma mais rigorosa, a eficiência energética que advém deste tipo de soluções, permitindo de igual modo selecionar do conjunto de fatores, os que apresentam uma maior importância e influência sobre os sistemas geotérmicos, ou seja, os que mais afetam o funcionamento destes sistemas [17].

Estes fatores podem-se subdividir, para uma melhor organização e compreensão, em três categorias, as quais a seguir se referem:

- Parâmetros geotérmicos;
- Principais propriedades térmicas do solo;
- Fenómenos de transferência de temperatura. [17]

As categorias em cima apresentadas, como anteriormente se mencionou, englobam um amplo conjunto de fatores que afetam o funcionamento dos sistemas geotérmicos (bomba de calor geotérmica) fatores esses., como o tipo de solo, o nível

freático, a condutibilidade e difusividade térmica do solo, os fenómenos de transferência de calor como o processo de condução e convecção, entre outros. [17]

**Tabela 3. Fatores que influenciam o funcionamento da bomba de calor geotérmica [17] [14]**

<b>Fatores Que Influenciam O Sistema</b>		
<b>Propriedades térmicas do solo</b>	<b>Parâmetros geotécnicos</b>	<b>Fenómenos de transferência de calor</b>
Condutividade térmica;	Tipo de solo;	Condução;
Resistividade térmica;	Condições Freáticas.	Convecção;
Difusidade térmica;		Vaporização e condensação;
Calor específico.		Gelo - degelo;
		Troca de iões

### 3.4 Parâmetros Geotérmicos

#### 3.4.1 Tipo de Solo

O solo é um sistema multifásico, sendo constituído por um conjunto de partículas de diferentes formas e tamanhos, cujos vazios (poros) são ocupados por ar e água. A sua composição provém em grande parte da composição do material rochoso de que deriva, bem como, dos agentes de alteração externos (fundamentalmente climáticos e topográficos) que atuam sobre uma dada região. [14] e [18]

As propriedades físicas de um solo são afetadas pela sua mineralogia, a textura dos seus grãos (grossos, finos, arredondados, angulosos, bem calibrados ou mal calibrados) e pela presença de matéria orgânica. [18]

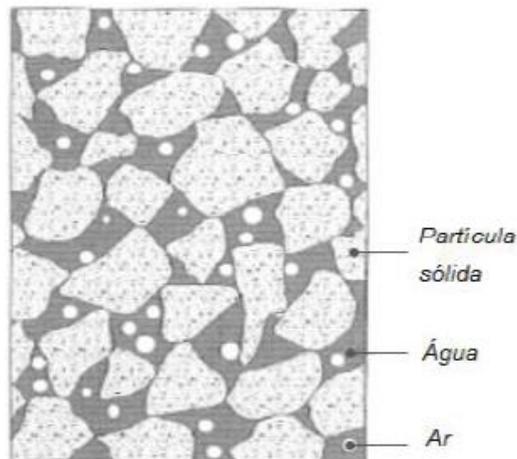


Figura 25. Modelo conceptual do solo [14]

É de extrema importância, para a implementação de uma bomba de calor geotérmica, o conhecimento das propriedades geológicas e geotécnicas dos solos, uma vez que as mesmas definem o seu comportamento térmico. [14]

Relativamente, às propriedades geológicas dos solos torna-se relevante o conhecimento e a análise de propriedades como a massa volúmica, peso volúmico, teor em água, porosidade, composição mineralógica e dimensão dos grãos. [14]

No que respeita aos parâmetros geotécnicos, é importante o conhecimento dos índices físicos descritos em geotecnia, sendo de salientar parâmetros como a massa volúmica, o índice de vazios e o teor em água natural. [14]

Na tabela 4, expõem - se algumas das grandezas básicas de um solo e as expressões que permitem a sua determinação:

**Tabela 4. Definição das grandezas básicas descritas do estado físico dos solos [14]**

<i>Grandezas Básicas de Um Solo</i>			
<b>Grandeza</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Definição</b>	<b>Unidade</b>
Índice de vazios	$e$	$\frac{V_v}{V_s}$	-
Porosidade	$n$	$\frac{V_v}{V}$	-
Grau de saturação	$S_r$	$\frac{V_w}{V_v}$	%
Teor em água	$\omega$	$\frac{W_w}{W_s}$	%
Peso volúmico	$\gamma_h$	$\frac{W_s + W_w}{V}$	kN·m <sup>-3</sup>
Peso volúmico seco	$\gamma_d$	$\frac{W_s}{V}$	kN·m <sup>-3</sup>
Peso volúmico das partículas sólidas	$\gamma_s$	$\frac{W_s}{V_s}$	kN·m <sup>-3</sup>
Densidade das partículas sólidas	$G$	$\frac{\gamma_s}{\gamma_w}$	-

### 3.3.2 Condições Freáticas

Os solos podem apresentar um comportamento térmico variável se neles existir uma alteração dos seus parâmetros hidrológicos, a qual compromete significativamente o funcionamento dos sistemas geotérmicos [14].

Desta forma, é necessário conhecer as variações sazonais do nível freático, bem como, os parâmetros caracterizadores do fluxo de água subterrâneo, uma vez que, a existência de água no solo relaciona-se com o processo de transferência de calor [14].

No que diz respeito aos sistemas geotérmicos de baixa entalpia considera-se, que a presença de um fluxo de água no solo, constitui um obstáculo aos processos de transferência de energia térmica, entre este e os permutadores de calor. Estes fluxos dependem muito da profundidade do nível freático e do tipo de estratos do maciço terroso [14].

Caso exista um fluxo de água subterrâneo no solo e o mesmo seja considerável, pode existir o risco acrescido da energia térmica presente no subsolo se afastar da zona de captação, comprometendo por completo a ação do sistema. Por outro lado, este mesmo fluxo pode funcionar como meio de transporte da energia térmica para a zona de captação [14].

A dissipação ou o afluxo de calor promovido pelo fluxo de água subterrâneo, vai depender dos parâmetros geológicos e hidrológicos apresentados pelo local, onde no qual se pretende implementar um sistema deste género [14].

### **3.4 Fenómenos de Transferência de Calor**

Quando se aborda o processo de transferência de energia térmica, ou simplesmente conhecido como transferência de calor é importante conhecer em primeiro lugar o conceito deste processo, ou seja, em que consiste o mesmo.

Um corpo quando se encontra a uma temperatura diferente relativamente á do seu meio envolvente, este pode receber ou perder energia térmica, ou seja, ganhar ou perder calor. É este processo de trânsito de energia térmica devido a uma diferença de temperaturas, que se designa por transferência de calor. O estudo da transmissão de calor é realizado com base em pressupostos termodinâmicos, os quais respeitam a primeira e segunda lei da termodinâmica [17].

As transferências de calor no solo ocorrem segundo um conjunto de mecanismos, os quais a seguir se referem [17]:

- Condução;
- Convecção;
- Radiação;
- Vaporização e Condensação;
- Ciclos de Gelos - Degelos;
- Troca de Iões.

No entanto, nem todos os mecanismos em cima referidos contribuem da mesma forma para as trocas de energia térmica no solo, sendo a condução o principal mecanismo de permutação de calor [17].

Porém, a convecção apesar de não ser um mecanismo de transferência de calor tão predominante é um fenómeno que deve ser tido em conta, assim como, a vaporização

e condensação e os ciclos de gelos e degelos. A radiação é, do conjunto anteriormente mencionado, o mecanismo que menos contribui para o balanço final das transferências de Calor [17].

### 3.4.1 Condução

A transferência de calor por condução é um processo que ocorre devido a uma diferença de temperatura entre duas regiões que se encontram num mesmo meio ou entre dois meios em contacto, onde o calor é transferido de um ponto para outro sem que exista movimento observável macroscopicamente [17].

Neste processo as partículas mais energéticas (que apresentam uma temperatura mais elevada) transferem parte da sua energia por contacto com as partículas que detêm menor energia (que se encontram a uma menor temperatura), as quais recebem essa mesma energia [14].

Este processo pode ocorrer em gases, líquidos ou sólidos, segundo dois regimes distintos, designadamente, um regime permanente, no qual não existe variação no tempo do campo de temperaturas (a temperatura em qualquer ponto de um corpo mantém-se constante no tempo), e outro, designado como variável, no qual existe variação do campo de temperaturas (a temperatura num dado ponto do corpo em análise não se mantém constante no tempo) [14].



**Figura 26. Transferência de calor por condução**

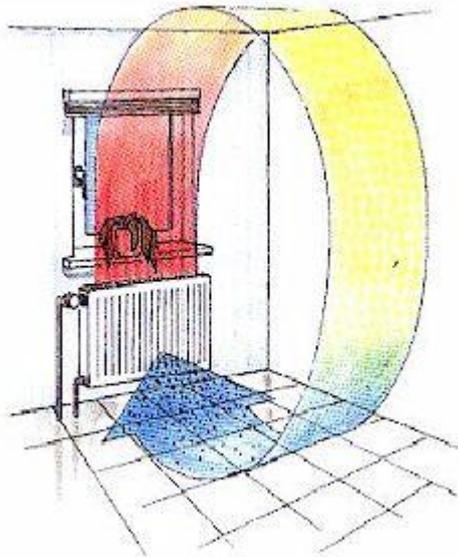
Fonte: <http://slideplayer.com.br/slide/335401/>

### 3.4.2 Convecção

A convecção é um dos mecanismos de transferência de calor, no qual a energia térmica é transferida de um ponto para outro, por meio da circulação de um fluido (líquido ou gás). Esta transferência ocorre, em simultâneo, com a transferência de calor ao nível molecular (por condução) sendo o fluxo (corrente de convecção) originado pela diferença de temperatura de um determinado volume do fluido em relação ao outro [14].

O fluido, ao entrar em contato com um corpo que se encontra a uma temperatura superior á sua, tende a aumentar de temperatura ocorrendo, por conseguinte, a sua expansão e, conseqüentemente, a diminuição da sua densidade. Com a diminuição da sua densidade, o fluido tenderá a ascender [14].

Por seu lado, o volume de fluido mais frio e mais denso irá migrar, ocupando deste modo o lugar do fluido aquecido (menos denso), sendo assim criado um fluxo conhecido como corrente de convecção. Nos solos o processo de convecção ocorre apenas com a presença de água e/ou ar [14].



**Figura 27. Corrente de Convecção**

Fonte:

[http://www.sobiologia.com.br/conteudos/oitava\\_serie/Calor6.php](http://www.sobiologia.com.br/conteudos/oitava_serie/Calor6.php)

## 3.5 Propriedades Térmicas do Solo

### 3.5.1 Condutividade Térmica

A condutividade térmica é uma propriedade térmica com significativa relevância, no que toca ao dimensionamento de sistemas de energia geotérmica de baixa entalpia [14].

Este parâmetro permite determinar a quantidade de energia que atravessa, por unidade de tempo, uma determinada área de um dado material. Expressa – se em  $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  (unidades SI) [17].

Dito por outras palavras, a condutividade térmica permite medir a capacidade que um determinado material detém em transmitir calor, sendo uma propriedade dependente de diversos agentes, tais como, o teor em água, a massa volúmica, a textura e a composição mineralógica [14].

Dos agentes em cima mencionados, a composição mineralógica assume especial relevância, condicionando o valor da condutividade térmica. Na maior parte dos casos, os minerais constituintes do solo apresentam condutividades próximas, contudo existem situações em que tal não acontece, como por exemplo quando um solo é constituído por quartzo, uma vez que, este mineral comparado com outras mineralogias apresenta uma condutividade muito superior [14].

Tabela 5. Condutividades térmicas de diferentes minerais, água e ar [14]

Substância	Condutividade térmica ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ )
Quartzo	7,7 – 7,8*
Feldspatos potássicos	2,3 – 2,5*
Plagioclase	1,5 – 2,3*
Calcite	3,4 – 3,6*
Micas	2,0 – 2,3*
Água	0,613**
Gelo	1,7 – 2,0*
Ar	0,026**

\*Segundo Banks (2012)

\*\*Segundo Çengel (2003)

### 3.5.2 Resistividade Térmica

A resistividade térmica, representada por  $r$ , é definida como sendo a medida da resistência à passagem da energia térmica, correspondendo deste modo ao inverso da condutibilidade. Expressa-se por  $\text{m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$  [14].

Os solos quando secos exibem uma maior resistividade térmica, isto deve-se ao facto do ar que preenche os poros (vazios) deter uma maior resistividade, relativamente, à água. Sob o ponto de vista mineralógico, verifica-se quanto maior for a percentagem de minerais de quartzo na composição de um solo, menor será a resistividade térmica apresentada por esse mesmo solo. Os minerais de argila e a própria matéria orgânica apresentam elevada resistividade térmica, como tal, a sua presença no solo constitui um fator de aumento desta propriedade [14].

### 3.5.3 Difusidade Térmica

A difusidade térmica é um parâmetro termofísico que descreve a profundidade e velocidade com que uma onda de calor se propaga no solo. Representa-se por  $\alpha$  e expressa-se em  $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$  (unidades SI) [17].

A sua determinação é de grande importância, pois permite prever o comportamento do fluxo térmico no solo. A reduzida difusidade térmica dos solos, permite explicar a diminuta influência das oscilações diárias de temperatura na temperatura do solo em profundidade [17].

Tal como as propriedades anteriormente referidas, também a difusidade térmica é influenciada pelas propriedades básicas dos solos, tais como o teor em água, a massa volúmica, a condutividade térmica e o calor específico (estas duas últimas também variáveis em função da massa volúmica) [14].

### 3.5.4 Calor Específico

O calor específico, usualmente denotado por  $c$ , pode ser definido como sendo a quantidade de calor que é necessário fornecer à unidade de massa de uma substância para elevar a sua temperatura um grau. No Sistema Internacional (S. I.) expressa-se em joules

por quilograma e por grau kelvin  $J/(kg.K)$ , no entanto, é bastante usual apresentar este parâmetro em calorias por grama e por grau celsius  $cal/(g.^{\circ}C)$  [17].

À semelhança dos parâmetros já referidos, também o calor específico é dependente de diversos fatores, entre eles, a composição mineralógica, o teor em água e a matéria orgânica presente no solo. Relativamente a este ultimo fator constata-se, que os solos orgânicos apresentam um calor específico mais elevado que os solos minerais [14].

### 3.6 Eficiência e custos

As bombas de calor são sistemas cuja sua existência já é conhecida a vários anos, contudo, na última década estas têm merecido especial destaque, passando por uma grande evolução. Para tal, deram o seu contributo as varias crises petrolíferas que o mundo enfrentou, as quais levaram ao aumento do custo dos combustíveis, bem como, os crescentes problemas ambientais que ao longo dos anos foram surgindo [16].

Tal facto conduziu e ainda conduz, vários países a incentivar o uso de equipamentos alternativos, em vez dos já conhecidos que utilizam combustíveis fósseis (com por exemplo a caldeira a diesel ou gás), para climatizar ambientes [19].

Um desses equipamentos é a bomba de calor geotérmica, a qual utiliza como fonte de calor o solo (mais estável) recurso este que pode contribuir para a diminuição das importações dos produtos petrolíferos [19].

Este equipamento tem ganho uma forte popularidade fruto da sua eficiência, permitindo a redução entre 25 a 75%, dos custos associados a aquecimento e arrefecimento. Como tal tem vindo a ganhar especial destaque no Norte da Europa, em particular nos climas frios, como na Escandinávia (onde é utilizado em alternativa aos equipamentos produtores de calor mais usuais como é caso das caldeiras) começando atualmente o mercado português a prestar uma maior atenção a este tipo de sistema [19].

A eficiência da bomba de calor é indicada pelo coeficiente de desempenho, também designado na terminologia inglesa por “coefficient of performance - COP”, cujos valores se situam tipicamente entre 2,5 e 6, dependendo em grande parte das temperaturas de consumo desejadas e das temperaturas do meio fornecedor de calor [14].

Clarificando o conceito de COP, este consiste no quociente entre a quantidade de calor produzido pela bomba de calor e a quantidade de energia elétrica consumida para o fazer [10].

$$COP = \frac{\text{Potência Calorífica}}{\text{Potência Eléctrica consumida}}$$

É importante realçar que o COP não reflete o desempenho dos equipamentos de climatização, mas antes o desempenho da bomba de calor [10].

Como se referiu anteriormente, as bombas de calor geotérmicas, são uma solução eficiente e alternativa aos equipamentos já existentes, em matéria de aquecimento e arrefecimento, uma vez que, utilizam uma fonte de energia renovável o que faz delas uma tecnologia com baixas emissões de CO<sub>2</sub> [19].

No entanto, apesar da sua eficiência já comprovada, esta tecnologia tal como todas as outras acarreta custos, os quais à primeira vista podem ser consideráveis, mas que a longo prazo, com as poupanças energéticas geradas, os mesmos serão rapidamente recuperados [19].

Quando se opta por um sistema deste género, os custos implícitos ao mesmo são de natureza variada, sendo em particular os custos associados à sua instalação os que podem fazer com que o investimento seja significativo [19].

Segundo dados disponibilizados por Luís Coelho, num seminário intitulado “O Sector da Energia Num Futuro Sustentável”, os custos com os furos geotérmicos podem rondar os valores de 35 a 45 euros por metro linear [19].

Os custos com a instalação da bomba de calor geotérmica podem variar entre os 600 - 1000 euros/ KW<sub>th</sub>, no caso desta se encontrar ligada em circuito aberto e entre os 1000 - 1500 €/KW<sub>th</sub>, no caso de se encontrar ligada em circuito fechado [19].

Os valores apresentados por Luis Coelho, apontam ainda para custos de funcionamento (contemplando eletricidade e manutenção), de 0,015 a 0,028 euros / KW<sub>th</sub> [19].

A facilidade de integração das bombas de calor geotérmicas com outras tecnologias de energia renovável é ainda uma das vantagens que este sistema apresenta, as quais podem ser combinadas com energia solar térmica e fotovoltaica, e ainda com outros sistemas de climatização [19].

Com a componente dos custos iniciais a assumir um papel tão determinante, releva-se de extrema importância para o potencial utilizador deste tipo de sistema a

realização de um balanço financeiro adequado, em especial quando se trata de projetos de grandes dimensões, como unidades hoteleiras, escolas, hospitais, centros de acolhimento de idosos, entre outros, por forma a verificar com um maior rigor todos os parâmetros afetos ao sistema e deste modo verificar a viabilidade económica do mesmo [19].

Atualmente existem softwares que utilizam modelos numéricos que permitem prever o desempenho dos furos geotérmicos com base na sua resistência térmica, no entanto, apesar da sua existência, estes em certos casos podem não ser suficientes [19].

Para além dos cálculos que é necessário realizar para dimensionar todo o sistema geotérmico é imprescindível ainda realizar testes de resposta térmica locais (designados por TRT) por forma a verificar na prática se todos os cálculos realizados foram bem-sucedidos, pois na impossibilidade de prever com rigor as características do solo (podem existir por exemplo falhas, cavidades ou densa fracturação), estes permitem fazer a afinação do projeto [19].

Este ensaio é realizado no terreno e tem por finalidade determinar com eficácia a condutibilidade térmica do solo. O mesmo é realizado sempre que exista um edifício com necessidades de potências térmicas (ou necessidades energéticas) mínimas de 30 KW, ou quando é necessário realizar vários furos geotérmicos [16].

O ensaio de TRT é realizado sempre que ocorra uma das duas condições anteriormente indicadas, uma vez que o mesmo tem um custo elevado. Este pode ser feito numa perfuração teste (por uma sonda geotérmica) ou sobre a primeira perfuração de um terreno (com varias sondas geotérmicas) [16].



Figura 28. Teste de Resposta Térmica [16]

## 3.7 Instalação

### 3.7.1 Sistema Geotérmico

Na instalação de um sistema geotérmico é necessário fazer algumas considerações para que o mesmo seja adequado a cada situação. Para isso é feita uma análise térmica do edifício, escolhido o tipo de captação, escolhida a bomba de calor geotérmica e os sistemas de distribuição mais apropriados [16].

No entanto, é também importante proceder-se à análise do edifício, tendo em conta os seguintes aspetos:

Localização do edifício: analisar o local de implantação do edifício e dependendo do espaço disponível, definir o tipo de captação a utilizar. Captação em circuito vertical caso não haja obstáculos no subsolo, captação em circuito horizontal caso haja superfície suficiente ou captação em circuito aberto na situação de existência de águas subterrâneas, lagos ou rios [16].

Superfície do edifício a climatizar: definir quais são as zonas do edifício a climatizar, tendo em contas as áreas a aquecer ou arrefecer e as que necessitam de mais climatização [16].

Potência necessária: averiguar as necessidades de aquecimento do edifício, depois de o estudo térmico estar concluído para que seja possível fazer uma escolha da bomba de calor geotérmica a utilizar [16].

Temperatura de conforto: estabelecer a temperatura de conforto interior, sendo que a temperatura recomendada é de 20 a 22°C no inverno e 24°C no verão para uma humidade relativa de 50% [16].

Sistemas de distribuição: procurar a melhor solução de sistema de distribuição para o aquecimento e arrefecimento; piso radiante, ventilo-convetor ou a combinação de ambos [16].

### 3.7.2 Captação

Vamos agora analisar os aspetos mais significativos da instalação de sistemas de captação verticais e horizontais.

#### 3.7.2.1 Circuito fechado vertical

A aplicação dos tubos em circuito fechado vertical é composta mais especificamente por 2 fases, a perfuração e a introdução dos tubos [16]:

- **Execução do furo**

No início prepara-se o local onde se vai realizar o furo, sendo necessário proceder à limpeza e nivelção do terreno de modo a poder fazer-se um melhor trabalho. Os equipamentos utilizados na execução do furo são:

#### Máquina de perfuração

Esta máquina serve para abrir o furo à profundidade desejada (Figura 29).



**Figura 29. Máquina de perfuração [16]**

#### Compressor

O compressor é a fonte de alimentação da máquina de perfuração (Figura 30). Os compressores normalmente são abastecidos por combustível e são máquinas que apresentam grandes consumos, tendo um peso significativo nos custos dos furos.



Figura 30. Compressor [16]

### Martelo de fundo-de-furo

O martelo de fundo-de-furo tem a vantagem de ser mais eficiente em solos mais duros.



Figura 31. Martelo de fundo-de-furo [16]

A combinação destes componentes e equipamentos apresentados permitem fazer furos no solo (Figura 32) para a inserção dos tubos verticais.



Figura 32. Perfuração [16]

- **Introdução das sondas geotérmicas no furo**

Antes de se colocarem os tubos é necessário prepará-los para a sua correta aplicação. Em primeiro lugar é colocado o peso de fundo no pé do tubo (Figura 33) e

posteriormente, o mesmo é colocado num equipamento que permite o desenrolar durante a sua inserção no furo.



**Figura 33. Peso de fundo e equipamento para desenrolar [16]**

Após o tubo estar corretamente preparado é então colocado num local superior ao furo (normalmente fica apoiado na parte de cima da máquina de perfuração) para ser inserido com facilidade e totalmente na vertical durante o desenrolar.



**Figura 34. Tubo na posição superior [16]**

Finalizada a aplicação, são cortadas as pontas do tubo e deixadas de fora do furo.



**Figura 35. Pontas do tubo [16]**

O passo seguinte consiste no enchimento do tubo com água glicolada e de seguida um ensaio aplicando uma pressão mínima de 6 bar. De seguida unem-se as pontas aos coletores de distribuição, que normalmente ficam situados na zona técnica (Figura 36). É recomendável que essa ligação fique no ponto mais alto da instalação, relativamente à captação.



Figura 36. União aos coletores de distribuição [16]

Apenas é necessária a existência de coletores de distribuição no caso de se utilizar vários furos, devido à necessidade de um valor constante de caudal. No caso de 2 ou 3 furos com a mesma profundidade não é necessário que haja colocação de coletores de distribuição.



Figura 37. Coletores de distribuição [16]

### 3.7.2.2 Circuito fechado horizontal

Na aplicação dos tubos ou coletores geotérmicos em captação horizontal não existe a necessidade de se fazer um furo, logo a mesma é mais simples e barata visto que o furo é a tarefa mais dispendiosa. Também aqui temos duas principais fases, o desaterro e a aplicação dos coletores [16]:

- **Desaterro do terreno**

Na aplicação de coletores geotérmicos a primeira tarefa passa por se fazer o desaterro do terreno onde vão ser colocados os mesmos (Figura 38).



Figura 38. Desaterro [16]

- **Aplicação dos coletores geotérmicos no terreno**

Feito o desaterro do terreno, são aplicados diretamente os tubos.

Depois, é necessário escolher o ponto mais alto onde se vão instalar os coletores de distribuição. De seguida, procede-se à ligação dos coletores geotérmicos aos coletores de distribuição (Figura 39).



Figura 39. Ligação aos coletores de distribuição [16]

É nesta altura que se começa a estender os tubos no terreno, no entanto, é importante que antes disso se apliquem no terreno umas pequenas estacas que permitam ajudar no alinhamento (Figura 40).



Figura 40. Estacas e alinhamento [16]

Após a aplicação dos coletores no terreno, estes são fixos através de um acessório próprio (Figura 41).



Figura 41. Fixação [16]

Uma vez aplicados os acessórios de fixação cobrem-se os tubos com material de escavação (Figura 42) e retiram-se as estacas de alinhamento.

Após os tubos estarem totalmente colocados no terreno é importante fazer alguns testes antes de colocar o terreno de enchimento por cima. Esta fase tem como objetivo limpar e retirar bolhas de ar que possam existir dentro dos tubos, através da inserção de água glicolada e de seguida a execução de um teste de pressão.



Figura 42. Enchimento com solo [16]

Por fim, é importante mencionar que é necessária a existência de um local no interior do edifício, casa das máquinas ou zona técnica, onde se encontram todos os equipamentos e acessórios que fazem parte do sistema geotérmico instalado, tais como a bomba de calor ou coletores de distribuição [16].

### **3.8 Algumas vantagens**

Apesar de já termos comprovado que existem vários benefícios no uso de bombas de calor geotérmicas para aquecimento/arrefecimento, existem outras vantagens que caracterizam este tipo de sistema. Tal como as poupanças potenciais ou eficiências inerentes já apresentadas anteriormente, existem ainda as seguintes vantagens na implementação de uma bomba de calor geotérmica:

**Maior versatilidade** - proporciona várias aplicações técnicas que permitem solucionar problemas de calor ou frio de espaços ou de água quente sanitária [4].

**Maior longevidade** - as bombas de calor geotérmicas têm um tempo de vida útil superior a 15 anos e perfurações a oscilar entre os 40 a 50 anos [4].

**Menor manutenção necessária** - existe um número menor de partes mecânicas e a acumulação de sujidade nos elementos filtrantes, serpentinas e ventiladores é mais reduzida [4].

**Maior eficiência energética** - devido às bombas de calor geotérmicas possuírem valores de rendimento mais elevados (COP entre os 2,5 e 6) comparativamente com outros sistemas de aquecimento, estas permitem uma redução média entre 25% a 75% do consumo de energia elétrica, para a mesma quantidade de calor fornecida [4].

**Reduzida poluição sonora** - inexistência de ruídos produzidos por ventiladores exteriores característicos de um sistema de ar condicionado [4].

**Redução da potência instalada** - o sistema permite reduzir a potência solicitada à rede, visto que é possível gerir a compra de energia elétrica, sobretudo nas horas de ponta, onde se verificam os maiores consumos em climatização. Assim, o preço na fatura elétrica será reduzido, quer ao nível da parcela de consumo correspondente às horas de ponta, quer ao nível da potência contratada [4].

**Redução da poluição ambiental** - permite uma diminuição das emissões de CO<sub>2</sub> dada a sua maior eficiência, reduz o risco de derrame de substâncias químicas não biodegradáveis e gera menor quantidade de resíduos industriais após abate [4].

**Eliminação da poluição visual** - visto que o sistema de captação se encontra no subsolo e a bomba de calor acondicionada num espaço reduzido, não existindo assim perturbação visual como é o caso de outros sistemas [4].

**Pequena dependência ambiental** - dado que os solos apresentam uma inércia térmica, existe pouca variação da temperatura do mesmo e assim é possível um funcionamento ao longo do ano sem grandes preocupações. [4]

Vistas as vantagens acima referidas, é importante mencionar que alguns fluidos refrigerantes utilizados em zonas mais frias (R-134a) são poluentes, pois mesmo que tenham baixa toxicidade, alguns produzem CFCs e HCFCs [20]. Também é importante referir que atualmente em Portugal existem poucos técnicos especializados na área das bombas de calor geotérmicas, bem como falta de um atlas geotérmico nacional.

Para além disso, este tipo de tecnologia apresenta um investimento inicial muito elevado, sendo por isso esta maior a desvantagem na implementação de um sistema geotérmico.

### **3.9 Enquadramento Legal**

A crise energética vivenciada nos anos setenta do século passado levou Portugal, a procurar novas formas de energia para satisfazer as suas necessidades. Como tal, foi nesse mesmo século que foram dados os primeiros passos na área da geotermia,

nomeadamente, na geotermia de alta entalpia., com o aproveitamento dos recursos geotérmicos existentes no arquipélago dos Açores para a produção de eletricidade [21].

Esta nova realidade conduziu à necessidade de se criar legislação que regulamenta essa mesma exploração. Tal facto, levou ao estabelecimento do primeiro diploma legal relativo à geotermia, o Decreto-Lei n.º 560-C/76, de 16 de julho, o qual veio definir o regime a que ficou sujeita a prospeção, pesquisa e exploração de recursos geotérmicos, assim como, determinar a incorporação dos mesmos no domínio público do Estado [21].

No entanto anos mais tarde, com o desenvolvimento de projetos de baixa entalpia, um pouco por todo o mundo, o governo português despertou-se com esta nova realidade, considerando possível e até desejável o aproveitamento dos recursos disponíveis em Portugal Continental. Perante tal cenário, o governo português, encontrou necessidade de criar um novo quadro regulamentar que se complementa este tipo de aproveitamento [21].

Como tal estabeleceu um novo quadro jurídico, Decreto-Lei n.º 87/90 de 16 de Março, o qual veio a ser integrado no conjunto legislativo alusivo aos recursos geológicos (Decreto-Lei n.º 90/90) [21].

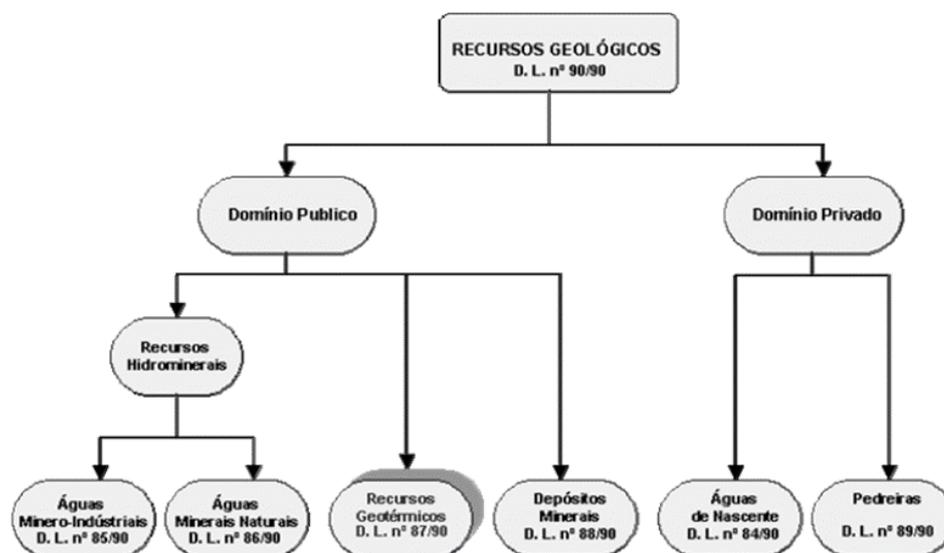


Figura 43. Legislação de 16 março de 1990 - Prospeção, pesquisa e exploração [8]

A geotermia ficou assim enquadrada no Decreto-Lei n.º 90/90 de 16 de Março, o qual define no seu Artº4 recursos geotérmicos como sendo: *“os fluidos e as formações geológicas do subsolo, de temperatura elevada, cujo calor seja susceptível de aproveitamento”*. Segundo o mesmo, os recursos geotérmicos integram o domínio

público, pelo que a sua revelação e exploração apenas podem ser realizadas mediante contrato administrativo com o Estado [21] [5].

O acesso à atividade (exploração dos recursos geotérmicos) encontra-se descrito, de uma forma sintetizada, na figura 44:

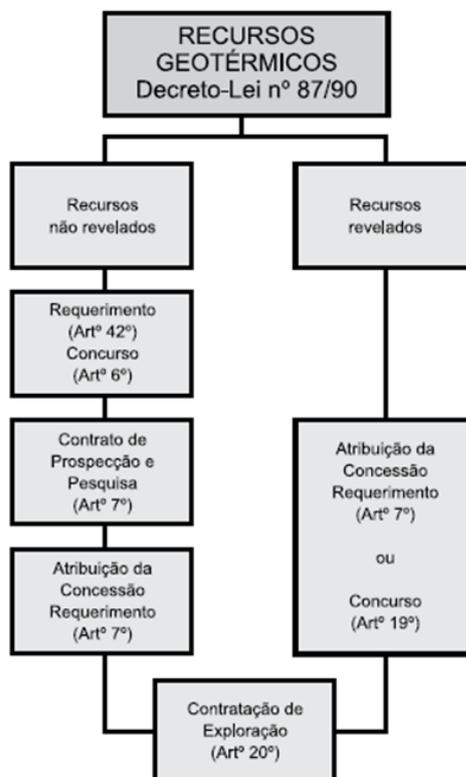


Figura 44. Recursos Geotérmicos: Acesso à atividade [21]

No entanto, o conceito de geotermia foi sofrendo uma evolução ao longo do tempo, surgindo novas formas de explorar o calor do subsolo, o que conduziu à carência de legislação adaptada ao novo paradigma da geotermia superficial e que se regulamenta a atividade de uma forma adequada [5].

Este facto, associado à falta de formação na área e de regulação de suporte, foram as principais razões que levaram a ponderar a criação de uma plataforma que permitisse prestar apoio a todos os setores e intervenientes envolvidos no aproveitamento deste tipo de energia e assim contribuir para o desenvolvimento sustentável do mercado [5].

Para esse efeito quatro entidades nacionais, a Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), o Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), a Associação Portuguesa de Geólogos (APG) e a Agência para a Energia (ADENE) estabeleceram um protocolo de cooperação para a criação de uma base de estudo, análise e divulgação do aproveitamento geotérmico através de bombas de calor [5].

Foi assim criada, em 21 de janeiro de 2013, a Plataforma Portuguesa de Geotermia Superficial (PPGS), a qual visa divulgar e credibilizar a geotermia superficial intervindo nas várias áreas de relevo para o desenvolvimento e implementação da atividade em Portugal, sobretudo a nível de legislação, informação, disseminação, formação e investigação [5].

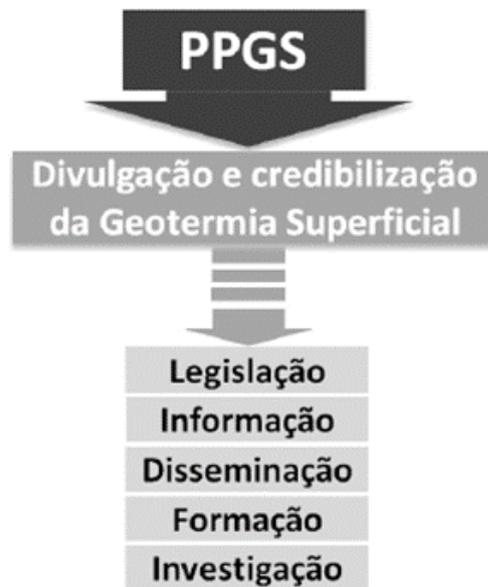


Figura 45. Áreas de intervenção da PPGS [5]

A atuação da plataforma tem por base um conjunto de ideais, sendo eles:

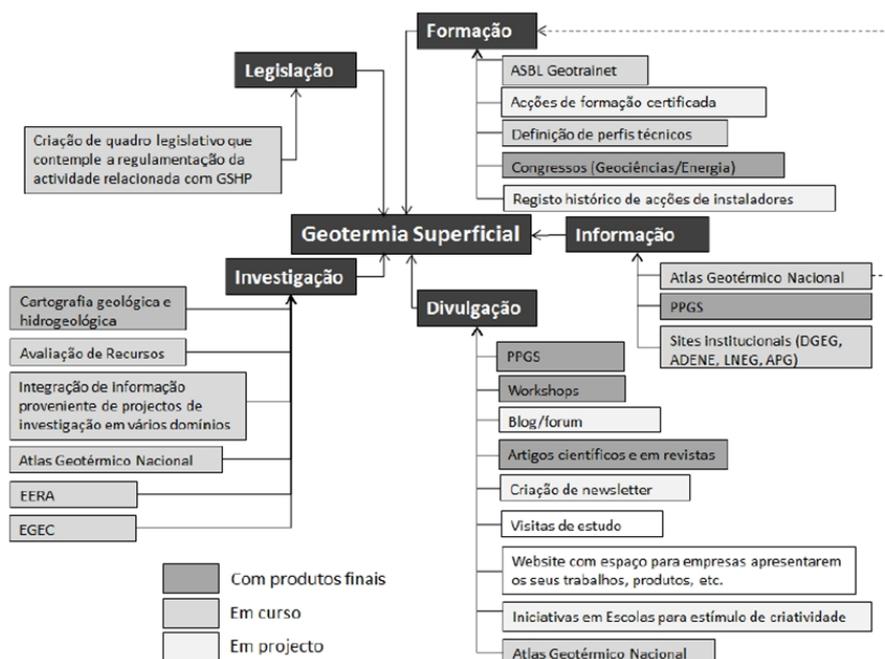
- Difundir a informação e as melhores práticas operacionais envolvidas no uso das bombas de calor geotérmicas;
- Promover o diálogo na comunidade geotérmica - colocar em contacto os vários atores do mercado das bombas de calor em Portugal, Comunidade Europeia e Mundial;
- Colaborar na elaboração de legislação;
- Divulgar o conhecimento de normas técnicas e procedimentos, contribuindo assim para a formação dos agentes envolvidos;
- Promover o desenvolvimento de projetos que contribuam para a produção de informação sobre a geotermia superficial no território nacional [5].

Das iniciativas que a referida plataforma tem vindo a desenvolver, podem-se destacar a criação de dois Grupos de Trabalho, sendo eles o da Legislação (coordenado pela DGEG) e o da Formação (coordenado pela LNEG) [5].

No que diz respeito ao Grupo de Trabalho da Legislação, este tem por objetivo analisar a legislação desenvolvida e implementada pelos países europeus, onde este tipo de exploração já se encontra em fase avançada, como é o caso da França, Suíça, Suécia, e em especial da Alemanha com o seu referencial normativo VDI4640 (esta norma quer pelo seu rigor, quer pela sua abrangência, constitui um guia orientador para esta atividade) por forma a verificar se a mesma terá aplicabilidade e adaptação com a realidade do nosso país [5].

Em relação ao Grupo de Trabalho da Formação, este tem como objetivo promover uma comunidade geotérmica bem informada com técnicas que assegurem qualidade e sustentabilidade na utilização do recurso, bem como, certificar que essas mesmas vão ao encontro das diretrizes que os normativos impõem [5].

Além disso, esta mesma encontra-se a desenvolver um grande trabalho a nível geocientífico, nomeadamente um Atlas Geotérmico Nacional, um projeto criado no seguimento de outros projetos de cartografia, que pretende englobar informação (proveniente de diversas fontes institucionais) de carácter diverso e aplicável aos vários tipos de geotermia e que seja clara e acessível aos atuais e possíveis intervenientes, designadamente projetistas, empresários, investigadores e consumidores [5].



**Figura 46. Ações e iniciativas em curso da PPGS [5]**

## CAPÍTULO 4 - Alguns Estudos de Aplicação Prática

Não sendo possível, no contexto deste projeto, realizar um trabalho de aplicação prática, apresentam-se de seguida dois trabalhos científicos que incluem a aplicação prática do tema abordado.

### 4.1 Integração de Sistemas de Bombas de Calor Geotérmicas em Edifícios

A presente dissertação, intitulada “Integração de Sistemas de Bombas de Calor Geotérmicas em Edifícios” [20], teve como objetivo avaliar o desempenho das bombas de calor geotérmicas ao serem integradas em edifícios presentes em climas mediterrâneos (caso de Portugal), assim como, proporcionar mais condições para a implementação do sistema mencionado.

Para tal, foram efetuadas algumas simulações, com recurso a um software de simulação dinâmica o TRNSYS, a um edifício selecionado pelo autor para estudo, por forma a realizar uma análise/comparação do comportamento da bomba de calor geotérmica face a alguns sistemas convencionais, mais propriamente, à bomba de calor ar-ar.

O edifício em estudo é a residência universitária polo II - 1, situada na Rua Miguel Bombarda perto do edifício central da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, o qual apresenta uma área de 172 m<sup>2</sup> de pavimento que se desenvolve em 7 pisos iguais. Cada piso apresenta seis quartos (cada um ocupado por duas pessoas), três halls (cada um com duas casas de banhos), uma cozinha e uma circulação (que engloba elevador, corredor, átrio de entrada e caixa de escada).

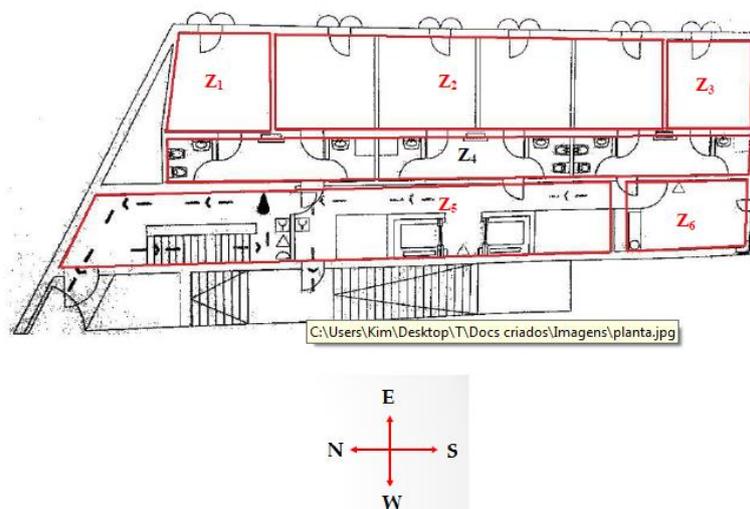


Figura 47. Divisão do edifício por zonas e orientação das suas fachadas [20]

O autor para alcançar o objetivo proposto realizou um conjunto de simulações. A primeira teve como propósito determinar a carga térmica do edifício.

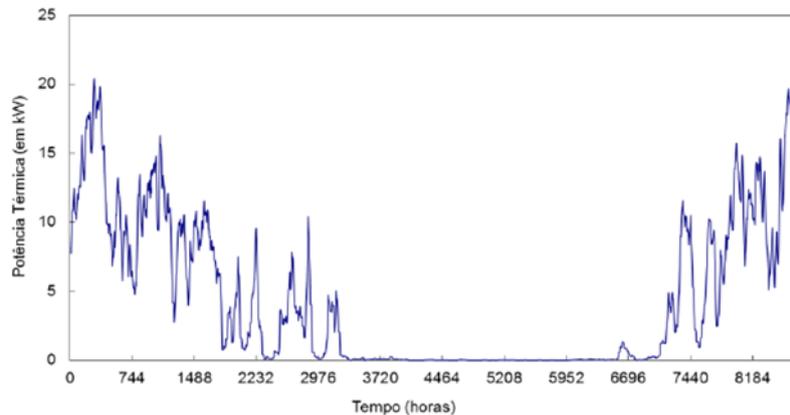


Figura 48. Carga térmica média diária do edifício [20]

A segunda consistiu na idealização do tipo de bomba de calor geotérmica que melhor se adequava às necessidades de climatização e produção de águas quentes sanitárias do edifício.

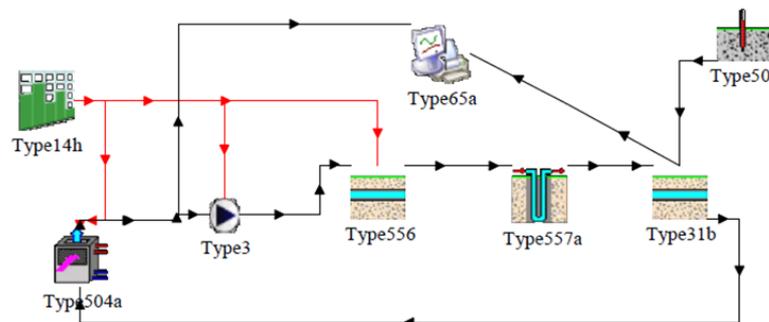


Figura 49. Esquema típico da bomba de calor geotérmica com os módulos básicos utilizados no simulador TRSYS [20]

As restantes permitiram avaliar a sua eficiência, obtendo dessas a potência da bomba e o valor do seu coeficiente de desempenho (COP). Das simulações efetuadas obteve-se o valor de 4,26 kW para a potência da bomba e o valor de 4,7 para o seu COP.

Para comparar o desempenho da bomba de calor geotérmica, relativamente à bomba de calor ar-ar, o autor realizou tal como para o primeiro sistema, uma simulação de forma a projetar o tipo de bomba de calor ar-ar que melhor se adequava às necessidades do edifício em estudo e de seguida estabeleceu uma comparação com base na evolução dos COPs em função da temperatura de entrada do fluido e ar.

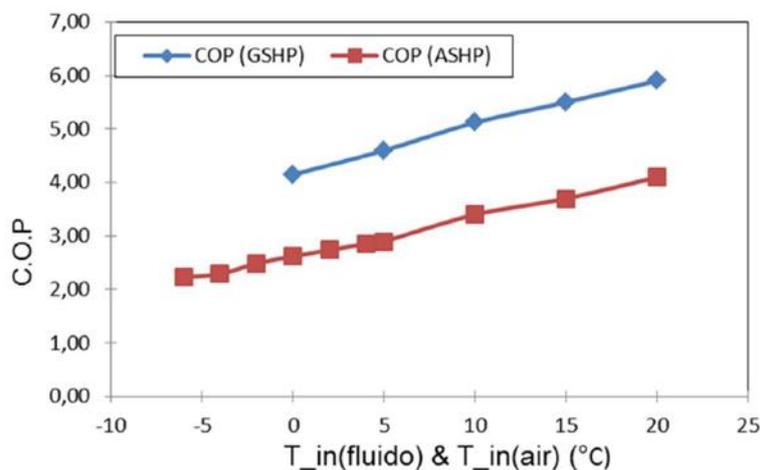


Figura 50. Comparação entre a bomba de calor geotérmica (GSHP) e a bomba de calor ar-ar (ASHP) [20]

Dessa comparação (Figura 50) o autor constata, que a bomba de calor geotérmica (GSHP) é mais eficiente que a bomba de calor ar-ar (ASHP) dado que no inverno a temperatura do ar exterior médio em Coimbra pode chegar a valores médios diários muito baixo (6 °C) o mesmo não acontece com a temperatura na profundidade do solo, por exemplo a 50 m de profundidade a temperatura é constante cerca de 20 °C.

Para satisfazer as necessidades térmicas do edifício é preciso menos potência para a GSHP do que para a ASHP, pois de acordo com as simulações realizadas uma bomba de calor geotérmica com uma potência de 4,25 kW e um COP de 4,7 permite climatizar todo o edifício, enquanto que uma bomba de calor ar-ar para climatizar o mesmo terá que ter uma potência de 7 kW e um COP de 2,9.

Por fim, o autor conclui que o funcionamento do sistema GSHP (durante um ano), acarreta um custo de eletricidade de 876,33€ ao passo que o sistema ASHP acarreta um custo de 1460,55€. Esta discrepância de valores é fruto da diferença considerável de potência que as bombas terão que ter para satisfazer as necessidades de climatização e produção de águas quentes sanitárias para o edifício em causa.

## 4.2 Geotermia e Implicações nas Tecnologias da Construção - Estudo de Casos

A presente dissertação intitulada “Geotermia e Implicações nas Tecnologias da Construção - Estudo de Casos” [16], teve como objetivo analisar a aplicação da energia geotérmica no setor da construção de edifícios, tendo em conta o seu contexto económico e tecnológico e as suas implicações construtivas.

Inicialmente foi necessário fazer uma análise ao estado da arte da geotermia aplicada à edificação, avaliando todos os casos da tecnologia existentes atualmente. Depois foram observadas as implicações construtivas existentes no uso da energia geotérmica para aquecimento, arrefecimento e aquecimento de águas sanitárias.

Por fim, através de um caso de estudo existente, foram tiradas conclusões relativas à aplicabilidade da geotermia na casa em estudo e analisados os fatores económicos da utilização desta tecnologia.

#### Principais conclusões retiradas:

- O uso da geotermia nos edifícios, através de bombas de calor geotérmicas, permite obter benefícios ambientais e económicos, nomeadamente na climatização ambiente e nas AQS.
- A geotermia aplicada na construção permite abdicar da energia fóssil (gás) e utilizar apenas a elétrica em menor escala, sendo que esta pode ser proveniente de fontes renováveis como a energia eólica ou hídrica ou até mesmo da geotérmica de alta entalpia como no caso dos Açores.
- A energia geotérmica é a alternativa mais económica em termos de consumo e com uma amortização a curto/médio prazo (Figura 51). Apesar desta tecnologia implicar custos de investimento elevados, verificou-se que os baixos consumos elétricos obtidos permitiram que o investimento tivesse um retorno possível num curto período de tempo (Figura 50).

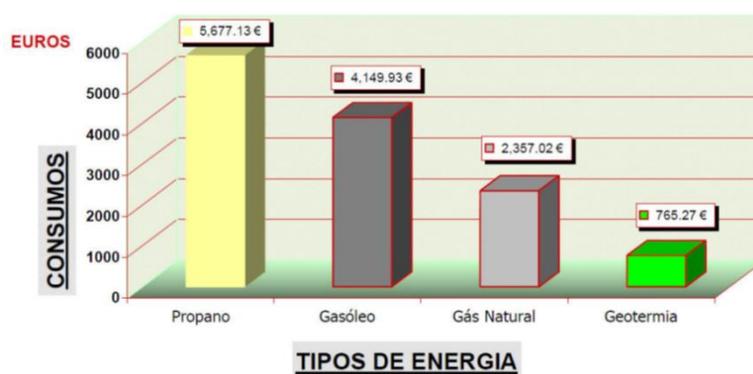


Figura 51: Comparação de custos anuais de uma moradia [16]

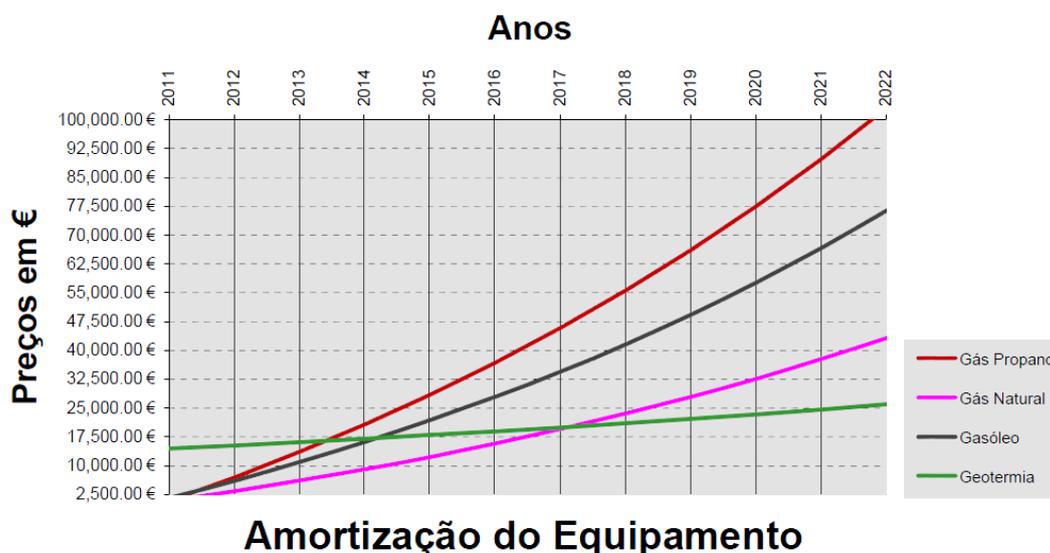


Figura 52: Amortizações dos equipamentos [16]

- No caso de estudo da casa S.E.R. concluiu-se que com o uso da geotermia é possível fazer a climatização e produção de águas quentes sanitárias durante todo o ano, sem dependência da temperatura exterior. O mesmo não acontece através da utilização de painéis solares na produção de AQS pois estes estão dependentes da temperatura exterior.
- Esta dissertação permitiu analisar a tecnologia geotermia nos edifícios, analisando todas as implicações construtivas assim como avaliar as vantagens económicas e ambientais provenientes da sua utilização.

## CAPÍTULO 5 - Considerações Finais

Durante a realização do presente projeto foi possível retirar um conjunto de ilações sobre o uso das energias renováveis nos edifícios mais precisamente sobre a exploração da geotermia de baixa entalpia.

A elevada dependência energética, por parte da sociedade atual, tem vindo a provocar uma mudança forçosa dos nossos hábitos de consumo energético e a levar as autoridades governamentais a centrar as suas atenções nas energias renováveis. Como prova disso temos países como Áustria, Suíça, Alemanha e Espanha, onde as mesmas são utilizadas para diversos fins, tais como a climatização. Em Portugal, pode-se constatar que o recurso a estas fontes de energia se destina apenas à produção de energia elétrica não se aproveitando na totalidade as suas potencialidades. Neste é praticamente inexistente a utilização da geotermia (fonte sobre a qual se desenvolve este projeto) para a climatização de edifícios e produção de águas quentes sanitárias (AQS), embora o mesmo possua um forte potencial, muito por culpa do desconhecimento e falta de divulgação que ainda envolve esta temática.

A sua exploração, através de bombas de calor geotérmicas, permite a obtenção de benefícios económicos e ambientais, uma vez que, a mesma é considerada como uma energia renovável, na medida em que se pressupõem inesgotável, ecológica devido à sua reduzida emissão de gases para a atmosfera, segura e controlável. Para além disso é vista como uma energia contínua, apresentando uma disponibilidade de 24h por dia, fruto da sua independência face às condições climatéricas.

Como se já comprovou em diversos estudos desenvolvidos na área da energia, os consumos energéticos maioritários de um edifício habitacional são tradicionalmente de energia elétrica e de gás e como se tem vindo a observar, os custos destas energias têm tendência a subir ou a continuar a ter valores elevados. Desta forma, a utilização da geotermia nos edifícios, com recurso às bombas de calor geotérmicas, surge como uma alternativa a essa realidade, apesar do elevado investimento inicial associado.

Contudo, apesar das mais valias desta tecnologia, em Portugal não existem incentivos fiscais de modo a que o consumidor nela possa investir com uma maior facilidade, tal como acontece noutros tipo de energias renováveis (como por exemplo a solar). Para além disso, existem poucas empresas no nosso país que se encarreguem da

instalação e venda deste tipo de equipamentos, o que apenas comprova a reduzida importância e consciência que a geotermia de baixa entalpia traduz em Portugal.

## Bibliografia

- [1] TRILLO, L. and ANGULO, R., Guia de la Energia Geotérmica, 2008;
- [2] FERREIRA, Francisco Faria, Energias renováveis e novas tecnologias sustentabilidade energética nos museus, Lisboa: Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, 2013;
- [3] FERNANDES, Carla, HENRIQUES, Inês, MACHADO, Raquel, Geotermia: situação atual, perfectivas futuras e potenciais, Lisboa: Universidade Nova, 2006;
- [4] ADENE - AGÊNCIA PARA A ENERGIA, Plano integra de promoção da eficiência no consumo de energia elétrica (PPEC - 2008), Algés: ADENE, 2008;
- [5] RAMALHO, E. C.,MADUREIRA, P., LOURENÇO, C.,FRANCÉS, A., JOYCE, A., SILVA, L. D., SILVA, L., A plataforma portuguesa de geotermia superficial e o seu papel na dinamização do mercado da geotermia em Portugal, LNEG, 2014;
- [6] ANTICS, Miklos and SANNER, Burkhard, Status of Geothermal Energy Use and Resources in Europe,2007;
- [7] EGEC - EUROPEAN GEOTHERMAL ENERGY COUNCIL, Geothermal heat pumps - Ground Source heat pumps, 2009;
- [8] LOURENÇO, C., CRUZ, J., Aproveitamentos geotérmicos em Portugal continental, Ponta Delgada, 2005;
- [9] SIARAM, Energia Geotérmica, 2010;
- [10] GINJEIRA, Ana Sara, Simulação e análise de custos-benefícios de sistemas energéticos para uma habitação unifamiliar em clima Português, com foco em sistemas geotérmicos, Lisboa: Universidade de Lisboa, 2010;
- [11] BELO, João Pedro, Estudo de uma bomba de calor, Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2013.
- [12] SELF, J. Stuart, REDDY, V. Bale, ROSEN, A. Marc, Geothermal heat pump systems: Status review and comparison with other heating options,2012;
- [13] CETC, Clean Energy Project Analysis: Retscreen ® Engineering & Cases Textbook - Ground - Sourceheat Pump Project Analysis, 2005

- [14] LOPES, Henrique Lopes, Sistemas geotérmicos de Baixa Entalpia Estudos de Caracterização Térmica, Lisboa: Universidade de Lisboa, 2014
- [15] [https://pt.wikipedia.org/wiki/Bomba\\_de\\_calor](https://pt.wikipedia.org/wiki/Bomba_de_calor), 24/09/2015
- [16] RIO, José Pedro, Geotermia e Implicações nas Tecnologias da Construção - Estudo de Casos, Porto: Universidade do Porto, 2011
- [17] CRUZ, Ricardo Jorge, Utilização da Energia Térmica do Solo para Climatização de Edifícios, Aveiro: Universidade de Aveiro, 2013
- [18] ANTÃO, Ana Maria, Poluição dos Solos, Guarda: Instituto Politécnico da Guarda, 2014
- [19] LENNOX, Geotermia Do interior da terra para os nossos edifícios, <http://www.edificioseenergia.pt/pt/a-revista/artigo/geotermia--do-interior-da-terra-para-os-nossos-edificios>, 09/03/2015
- [20] TAVARES, Juvêncio Correia, Integração de Sistemas de Bombas de Calor Geotérmicas em Edifícios, Coimbra: Universidade de Coimbra, 2011;
- [21] LORENÇO, Carla, MELO, Bernardo, ROSA, Carlos, ROSA, Diogo, Geotermia em Portugal Continental: Situação atual e novas oportunidades, 2010;