

ARTIGO REF: 6650

SOBRE UMA POSSÍVEL UTILIZAÇÃO LOCAL DE ENERGIA

Maria Rosa Duque^(*)

Universidade de Évora, Depart. De Física, ECT, Évora, Portugal

^(*)*Email: mrad@uevora.pt*

RESUMO

Neste trabalho propomos a utilização de bombas geotérmicas para refrigerar os “Montes Alentejanos”, durante a época quente. Apesar das características das casas típicas da região, que favorecem o arrefecimento passivo das casas, atendendo ao tipo de utilizadores actuais e às temperaturas relativamente elevadas medidas fora das casas, é aconselhado um sistema de refrigeração. O trabalho que apresentamos foca os motivos e as vantagens de utilização dos sistemas propostos, tendo em conta propriedades do solo, localização das casas clima da região e aspectos económicos, incluindo comprimento de tubo necessário e tempo de vida dos equipamentos propostos.

INTRODUÇÃO

O Sul de Portugal é conhecido por ser uma região com poucas nuvens, onde o número diário de horas de Sol é relativamente elevado. As casas a que nos referimos (Montes Alentejanos) situam-se fora das cidades antigas e das pequenas populações, encontrando-se isoladas no meio do campo. Estas casas têm sido utilizadas por agricultores ou criadores de gado, mas, nos últimos anos, algumas foram recuperadas tendo sido utilizadas no chamado “turismo de habitação” ou “casas de hóspedes”. Historicamente, estas casas, que possuem lareira e respectiva chaminé, são aquecidas no Inverno com lenha queimada na lareira ou em fogões próprios. O calor fornecido pode ser utilizado para aquecer água, que depois é distribuída por partes seleccionadas das casas No verão, as temperaturas fora das casas podem ser relativamente elevadas, podendo apresentar valores acima dos 40°C, e apesar das características das casas típicas da região, atendendo ao tipo de utilizadores actuais, é aconselhado um sistema de refrigeração. O trabalho que apresentamos foca os motivos e as vantagens da utilização de bombas geotérmicas, principalmente durante a época quente, funcionando como sistemas de refrigeração.

CARACTERÍSTICAS DA REGIÃO

A região a que nos referimos (Alentejo) é geologicamente muito antiga, tendo sofrido fenómenos de erosão muito intensos, e apresentando uma altitude média de cerca de 200 m acima do nível do mar. Por vezes esta região é designada por planície alentejana, devido à sua baixa altitude, mas esta é apenas o resultado de uma elevada taxa de erosão que ocorreu durante um número muito elevado de anos, que originou a presente topografia.



Fig. 1 - Dois Montes Alentejanos

Clima da região

O clima desta região tem características próprias, sendo quente e seco durante o Verão e ocorrendo chuva durante o Outono e Inverno. As temperaturas mais elevadas (com valores acima de 40°C durante dias sucessivos, em algumas regiões) ocorrem nos meses de Julho e Agosto e as temperaturas menos elevadas (por vezes atingem valores próximos de 0°C) ocorrem em Janeiro. As diferenças entre o valor médio máximo e o valor médio mínimo podem atingir valores de $14,6^{\circ}\text{C}$ (Amareleja) ou $15,6^{\circ}\text{C}$ (Santo Aleixo da Restauração). O gráfico da figura 2 mostra os valores médios mensais das temperaturas máximas e das temperaturas mínimas registadas na estação da Amareleja Localidade onde são registados os valores mais elevados de temperatura em Portugal). Nesta estação são, geralmente, registados os menores valores de precipitação obtidos na região (cerca de 533 mm por ano).

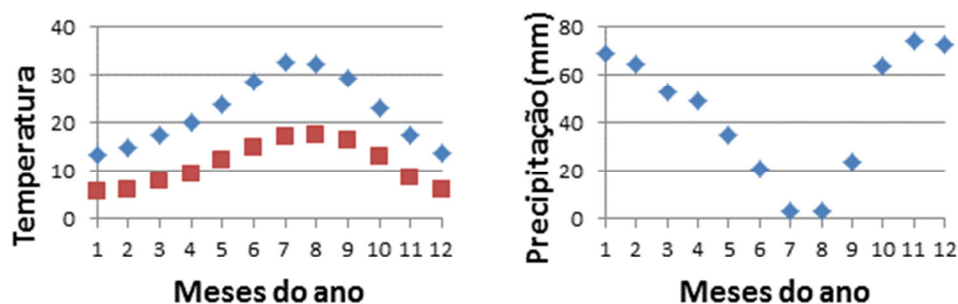


Fig. 2 - Gráficos de valores médios mensais de temperaturas (máxima e mínima) registadas na Amareleja. Gráfico com os valores médios da precipitação registada na Amareleja.

Olhando para o gráfico do lado direito da figura 2, podemos ver que os menores valores de precipitação ocorrem nos meses de Julho e Agosto, registando 2 ou 3 mm por mês. Os valores mais elevados de precipitação ocorrem nos meses de Novembro, Dezembro e Janeiro. Os valores obtidos situam-se nos intervalos 73-74 mm na Amareleja e 86 mm em Castro Verde e Ourique.

Casas típicas da região

As casas típicas da região têm apenas um piso. As paredes externas são caiadas de branco, com barras amarelas ou azuis. As portas das casas e proteções das janelas são de madeira, e os telhados são cobertos por telhas de argila. Na estação quente, os habitantes fecham as portas de casa e das janelas, prevenindo a entrada de calor vindo do exterior. Durante a noite, as janelas são abertas, para ventilação e abaixamento de temperatura. Este sistema, utilizado durante séculos, não funciona agora pois os turistas estão em casa durante o dia e querem ter

as portas abertas e as janelas sem proteção de madeira. Este facto faz com que seja necessária a utilização de métodos artificiais de refrigeração.

Propriedades térmicas do solo

Os dados de fluxo de calor obtidos na região (Duque e Mendes-Victor, 1993; Correia,2015) apresentam valores elevados, devido aos valores de gradientes de temperatura obtidos em furos (entre 20 e 30° C /Km) no solo e valores elevados de condutividade térmica (entre 3,03 e 4,65 W m⁻¹K⁻¹) medida em amostras retiradas dos furos. Durante a estação seca, devido aos valores baixos de precipitação, a condutividade térmica do solo diminui perto da superfície, e a parte superior do solo funciona como um obstáculo à propagação do calor do ar para o solo, obtendo-se temperaturas no solo inferiores ao que se poderia esperar, atendendo às temperaturas do ar, medidas na região. As temperaturas feitas em furos mostram que é possível encontrar temperaturas próximas de 20° C a 60 m de profundidade, na região.

Água na região

As casas localizadas no meio da planície não possuem lagos na sua vizinhança, sendo necessário trabalhar com água de aquíferos subterrâneos localizados próximo das casas ou introduzir água no solo, durante a montagem do sistema, que funcionará como um sistema fechado. É comum encontrar furos com água, perto destas casas, utilizada para actividades domésticas, que poderão, em alguns casos, ser utilizados no sistema de refrigeração.

BOMBAS GEOTÉRMICAS

As bombas geotérmicas, utilizadas no arrefecimento e aquecimento de edifícios são sistemas com eficiência energética relativamente elevada e custos efectivos relativamente baixos. Elas utilizam menos energia que os sistemas convencionais de arrefecimento / aquecimento convencionais e fornecem 3 a 5 vezes mais energia do que consomem. O desenho e instalação das bombas geotérmicas está relacionado com as propriedades térmicas do solo, o tipo de material constituinte do solo, o conteúdo de humidade e a temperatura do solo. A eficiência de aquecimento das bombas geotérmicas pode ser obtida através do coeficiente de desempenho (COP), que representa o quociente entre o calor fornecido pela bomba e a energia que é necessário fornecer ao sistema (bomba) para poder funcionar. No caso do arrefecimento temos o “quociente de eficiência energética “ (EER), que é o quociente entre a quantidade de calor removido por hora e a quantidade de energia (em Watt) que é necessário fornecer á bomba para funcionar. Os valores de COP associados a bombas geotérmicas no subsolo localizam-se entre 3,0 e 5,0. Os valores de EER localizam-se entre 15 e 25.

Os sistemas que utilizam bombas geotérmicas são constituídos por três partes distintas: o equipamento dentro do edifício, responsável pela transferência de calor ou frio para as diferentes divisões, a bomba geotérmica propriamente dita que fornece/ retira o calor de modo a manter valores definidos de temperatura e a componente do solo, responsável por retirar ou introduzir calor no solo. A instalação destes dispositivos não é visível na parte externa da casa, a bomba geotérmica não ocupa muito espaço podendo ser colocada, por exemplo, numa arrecadação.

Sistemas propostos

Os sistemas propostos são constituídos por tubos enterrados no solo, e funcionam como sistemas fechados, horizontais ou verticais. Devido às temperaturas do solo no Alentejo, não é necessário utilizar anticongelante, utilizando-se apenas água nos furos. Como estamos a trabalhar com casas isoladas, não temos o problema de espaço disponível para a instalação,

podendo ser utilizados dispositivos verticais (tubos colocados verticalmente dentro de um furo até profundidades entre 50 e 100m) ou dispositivos horizontais em que os tubos são colocados numa vala, a uma profundidade de 1 a 2m abaixo da superfície do solo. Os sistemas abertos que utilizam lagos ou aquíferos de água não são recomendados para esta região devido a escassez de reservas de água.

A colocação de dispositivos verticais é mais dispendiosa pois exige mais tempo de perfuração que os sistemas horizontais. Contudo, como os tubos são enterrados a maior profundidade (50 a 100m) no solo, eles estão numa zona mais estável, do ponto de vista térmico (a temperatura do solo a 60 m de profundidade não sofre variações durante a estação seca e quente). Os sistemas horizontais têm uma instalação mais barata pois os tubos ficam numa vala a 1 ou 2 m de profundidade. Eles são a opção indicada em solos com rochas muito duras onde é dispendioso fazer trabalhos de perfuração. A desvantagem destes sistemas é que são mais afectados pelas variações meteorológicas e de temperatura do ar, devido à proximidade dos tubos com a superfície do solo. Os sistemas verticais poderão ser uma boa opção na região.

Sistemas verticais

Nos sistemas verticais, os permutadores de calor são constituídos por um ou mais furos verticais, contendo um ou dois tubos em forma de U, através dos quais circula o fluido permutador de calor. Estes tubos estão, geralmente, encerrados numa argamassa de bentonite,

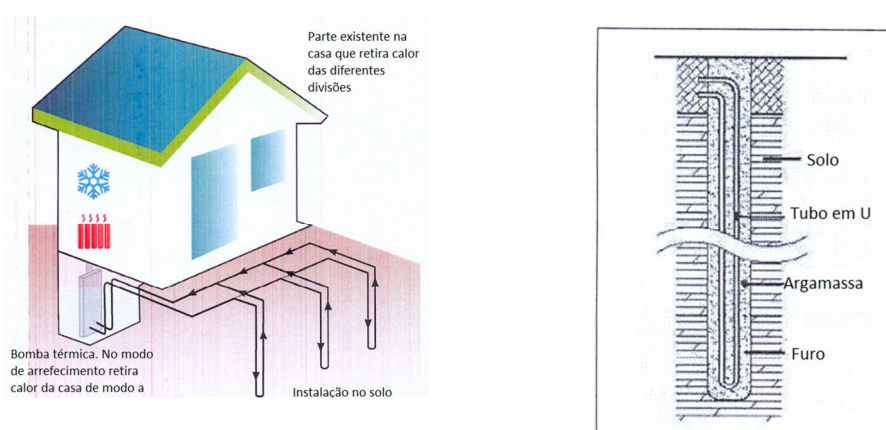


Fig. 3 - Esquema ilustrativo das diferentes partes da instalação e furo com tubo em U e argamassa

utilizada para selar o furo e evitar a contaminação dos aquíferos existentes no subsolo da região. Esta argamassa possui uma condutividade térmica relativamente baixa (cerca de $0,692 \text{ W K}^{-1}\text{m}^{-1}$) e actua como isolante térmico, contrariando as trocas de calor entre os tubos em U e o meio circundante (solo/rocha). Atualmente, existem no mercado argamassas com condutividades térmicas que podem atingir valores de $2,42 \text{ W K}^{-1}\text{m}^{-1}$ (Jeppesen, K.C.,2010), diminuindo substancialmente o efeito referido. Colocando os tubos em U junto das paredes do furo, e separando-os o mais possível, diminui de modo significativo o efeito isolante térmico da argamassa, aumentando a área de absorção / rejeição de energia e diminuindo as trocas de calor entre os tubos, no mesmo furo.

As relações entre os diferentes parâmetros focados, a condutividade do solo e o comprimento de furo necessário, foram estudados por Ping et al (2007), utilizando três valores diferentes de condutividade do solo. Na figura 4 mostram-se os resultados obtidos pelos autores referidos para o comprimento de furo necessário em função do espaço mínimo entre furos adjacentes. na figura 5 podemos ver o comprimento de furo em função do espaço mínimo

entre os tubos dispostos em forma de U. Podemos ver, nos dois gráficos apresentados, que os valores do comprimento do furo diminuem em locais com valores mais elevados de condutividade térmica do solo. Com uma condutividade térmica de $2,2 \text{ W K}^{-1}\text{m}^{-1}$, consegue-se uma redução no comprimento de furo de cerca de 45 %, em relação ao valor obtido com condutividade térmica de $0,8 \text{ W K}^{-1}\text{m}^{-1}$. No gráfico da direita podemos ver uma ligeira diminuição de valores de comprimento de furo para valores mais elevados de distância entre os tubos com configuração em U. Atendendo aos resultados apresentados, podemos dizer que

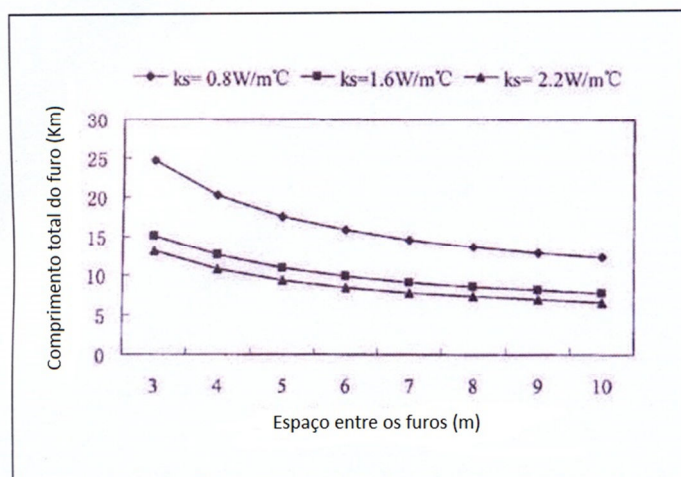


Fig. 4 - Comprimento mínimo de furo necessário em função do espaço entre furos contínuos, para três valores de condutividade térmica do solo (adaptado de Ping et al, 2007).

Os valores relativamente elevados de condutividade térmica obtidos no solo do Alentejo podem ser associados a comprimentos de furos relativamente baixos e a pequeno espaçamento nos dispositivos com tubos em forma de U.

A figura 6 mostra os resultados obtidos considerando diferentes valores de condutividade térmica da argamassa, para os três tipos de solos considerados. Podemos ver que, quando a condutividade térmica da argamassa aumenta de 0,5 para $1 \text{ W K}^{-1}\text{m}^{-1}$, se observa uma redução de cerca de 8% no comprimento de furo necessário. Quando aumenta o valor da condutividade térmica verifica-se que o efeito se torna desprezável. Este facto faz com que seja necessário verificar se a elevação de custos da argamassa é compensado pela redução do tempo de perfuração dos furos que se obtém.

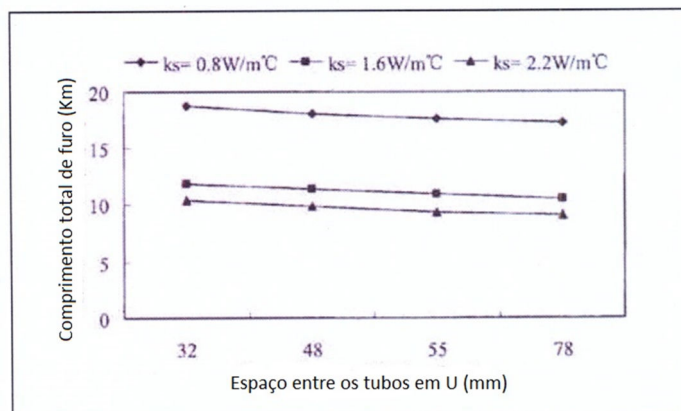


Fig. 5 - Comprimento mínimo de furo necessário em função do espaço entre os tubos do dispositivo em forma de U, para três valores de condutividade térmica do solo (adaptado de Ping et al, 2007).

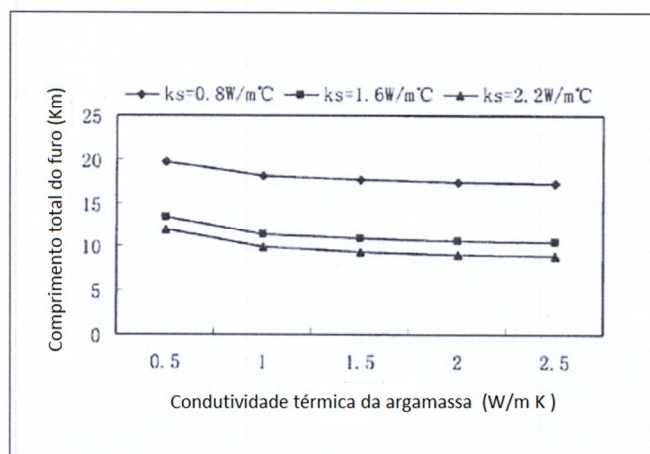


Fig. 6 - Comprimento mínimo de furo necessário em função da condutividade térmica da argamassa utilizada, para três valores de condutividade térmica do solo (adaptado de Ping et al, 2007).

Sistemas horizontais

Para termos uma estimativa do comprimento de tubo necessário para arrefecer as casas referidas, vamos utilizar o modelo apresentado por Glassley (2010) utilizando a equação (1), onde L_C representa o comprimento do tubo necessário, R_p é a resistência térmica do tubo, R_s é a resistência térmica do solo, T_{max} é a temperatura máxima do fluido da bomba escolhida, T_H é a temperatura máxima do solo na profundidade de instalação escolhida, F_c é a fracção de tempo em que o sistema de arrefecimento estará a funcionar e C_c será a carga de arrefecimento.

$$L_c = \{ (C_c) \times [(EER+3.412)/EER] \times [R_p + (R_s \times F_c)] \} / (T_{max} - T_H) \quad (1)$$

Tendo em conta os valores de temperatura medidos na região (ver figura 2), podemos dizer que se justifica o arrefecimento das casas durante quatro meses do ano (Junho, Julho, Agosto e Setembro) e aquecimento durante os meses (parte de Novembro, Dezembro, Janeiro, Fevereiro e parte de Março). Na Primavera e outono, dadas as características das casas, o clima natural será suficiente.

As cargas de aquecimento/ arrefecimento, dependem da área ocupada pela casa e do número de quartos e pessoas que vivem no interior da casa, particularmente durante o dia. Vamos tomar como referência o valor mínimo de 1 KW e o valor máximo de 10 KW. O valor do COP para a bomba utilizada será 3,6 e o valor EER será 17,5. A condutividade térmica dos tubos será $14,8 \text{ W K}^{-1}\text{m}^{-1}$ (resistência térmica $R_p = 1/14,8 = 0,0676 \text{ W}^{-1} \text{ K m}$). Os resultados obtidos, considerando diferentes valores de condutividade térmica do solo, encontram-se na Tabela 1 e na Figura 7.

Os valores apresentados no gráfico foram obtidos considerando uma carga de arrefecimento de 10 KW e um valor de EER de 17,5. Examinado o gráfico verificamos que os valores de comprimento de tubo obtidos para solos com valores de condutividade térmica entre 1,5 e 3,0 $\text{W K}^{-1}\text{m}^{-1}$, localizam-se entre 100 e 200 m. Na Tabela 1 encontram-se os valores obtidos utilizando um valor de 15,0 para EER. Os valores L_1 e L_2 foram obtidos utilizando um valor de $C_c = 1 \text{ KW}$ e valores de $T_{max}-T_H$ de 15°C e 20°C , respectivamente. L_3 e L_4 , foram obtidos para $C_c = 10 \text{ KW}$ e valores de $T_{max}-T_H$ iguais aos utilizados para L_1 e L_2 .

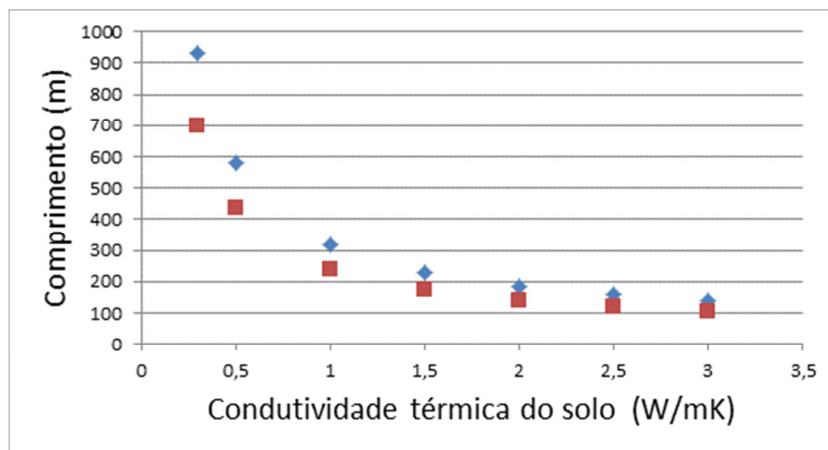


Fig. 7 - Comprimento mínimo de tubo necessário para um sistema horizontal de arrefecimento, em que $T_{\max} - T_H$ tem valores de 15 °C (losangos) ou 20°C (quadrados)

Analisando os resultados obtidos, vemos, claramente, que os comprimentos mais elevados são obtidos em solos com condutividade térmica igual a $0,33 \text{ W K}^{-1}\text{m}^{-1}$ ($R_s = 3,33 \text{ W}^{-1} \text{ K m}$) ou $0,5 \text{ W K}^{-1}\text{m}^{-1}$ ($R_s = 2,00 \text{ W}^{-1} \text{ K m}$). Estes dados não são os observados na região em estudo.

Tabela 1. Valores de comprimento de tubo obtidos para um sistema de arrefecimento horizontal, utilizando um valor de EER igual a 15,0

R_s ($\text{W}^{-1}\text{K m}$)	L_1 (m)	L_2 (m)	L_3 (m)	L_4 (m)
0,33	14,5	10,9	145,0	108,6
0,40	16,4	12,3	163,7	122,7
0,50	19,1	14,3	190,7	143,0
0,67	23,7	17,8	236,6	177,4
1,00	32,6	24,4	325,7	244,3
2,00	59,6	44,7	595,7	446,8
3,33	95,5	71,6	955,0	716,2

MOTIVOS ADICIONAIS PARA A ESCOLHA APRESENTADA

O aquecimento e arrefecimento das casas poderia ser feito utilizando energia solar, mas teríamos um problema de alteração da paisagem e da forma externa das casas tradicionais da região, com a colocação dos painéis solares nos telhados. A colocação dos painéis solares junto ao solo, perto da casa, não é aconselhada devido a problemas de vandalismo que poderão ocorrer por as casas se encontrarem isoladas no meio do campo e, muitas vezes, estarem desabitadas durante intervalos de tempo que poderão ser longos. Um outro problema são os eventos meteorológicos ocasionais (trovoadas, por exemplo) que poderão causar problemas no equipamento. Os valores de temperatura relativamente elevados que, por vezes, se fazem sentir na região, podem diminuir o rendimento e o tempo de vida do equipamento indicado pelos fabricantes (os painéis solares são calibrados considerando uma temperatura da célula de 25°C e uma insolação média de 1 KW/m^2 (Ciulla;G. et al, 2014)).

Com o método proposto no presente trabalho (Bombas geotérmicas, com tubos colocados no subsolo), o equipamento colocado fora da casa está enterrado no subsolo, estando a parte restante dentro de casa. A bomba propriamente dita poderá ser colocada, por exemplo, numa arrecadação, dentro de casa. Neste caso não existe equipamento visível, a alterar a paisagem, nem à superfície do solo, sujeito a problemas de vandalismo ou problemas provocados por eventos meteorológicos. O tempo de vida do equipamento, fornecido pelos fabricantes, para o equipamento colocado dentro de casa é de 20 a 25 anos, e para o material colocado no subsolo varia entre 25 e 50 anos.

Apesar de uma parte significativa da electricidade utilizada em Portugal ser obtida em centrais hidroeléctricas e eólicas, e, dentro e pouco tempo, todas as centrais a carvão serem encerradas, o uso de metodologias como a proposta contribuem para uma diminuição da emissão de gases associados a efeito de estufa, na região. Por outro lado, a electricidade em Portugal continua a ter preços relativamente elevados, para o utilizador, sendo aconselhada a utilização de dispositivos que reduzam o consumo de electricidade.

CONCLUSÕES

As razões apresentadas para a utilização de bombas geotérmicas na região estudada relaciona-se com a necessidade de preservar as características e o aspecto externo das casas típicas da região, e também assegurar a segurança do equipamento. As propriedades térmicas do solo (valores elevados de condutividade térmica) e as temperaturas registadas na região, contribuem para que o comprimento dos tubos que deverão ser colocados no subsolo seja relativamente curto. O preço relativamente elevado da electricidade na região e o tempo de vida do equipamento, são razões que favorecem a utilização deste tipo de equipamento.

O preço de instalação de um sistema geotérmico deste tipo pode ser mais elevado que o de um sistema convencional de arrefecimento com a mesma capacidade de refrigeração, no entanto os custos adicionais são recuperados devido ao tempo de vida e segurança do equipamento e à quantidade de electricidade poupada.

REFERÊNCIAS

- [1]-Ciulla, G.,Lo Brano, V.,Franzitta, V.,Trapanese, M., Assessment of the operating temperature of crystalline PV modules Bases on real use conditions, International Journal of Photoenergy, vol 2014, article ID7183115, pp. 1-11, 2014.
- [2]-Correia, A., Heat production and thermal conductivity in mainland Portugal, Proceedings of the World Geothermal congress 2015, Melbourne, Australia,2015.
- [3]-Duque, M.R., Mendes-Victor, L. A., Heat flow and deep temperature in South Portugal, Studia geoph et geod., vol 37,pp. 279-292, Prague, 1993.
- [4]-Glassley, W.E., geothermal energy. Renewable energy and the environment, CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, 2010.
- [5]-Jeppesen, K.C., Fundamentals of commercial geothermal wellfield design, GHP Systems, Inc, pp. 1-31, 2010
- [6]-Ping,C., Hongxing, Y. & Zhaohong, F., Simulation Modelling and Design Optimisation of Ground Source Heat Pump Systems, HKIE Transactions, vol14, nº 1,pp. 1-6, 2007.