

# SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO E DE AQUISIÇÃO DE TEMPERATURAS NO SOLO NUM SISTEMA GEOTÉRMICO SUPERFICIAL

## TEMPERATURE SOIL MONITORING AND ACQUISITION SYSTEM IN A SHALLOW GEOTHERMAL SYSTEM

Aljundi, Kamar; LNEC, Lisboa, Portugal, [kaljundi@lnec.pt](mailto:kaljundi@lnec.pt)  
Figueiredo, António; UA, Aveiro, Portugal, [ajfigueiredo@ua.pt](mailto:ajfigueiredo@ua.pt)  
Lapa, José; UA, Aveiro, Portugal, [jlapa@ua.pt](mailto:jlapa@ua.pt)  
Vieira, Ana; LNEC, Lisboa, Portugal, [avieira@lnec.pt](mailto:avieira@lnec.pt)  
Miranda, Luís; LNEC, Lisboa, Portugal, [lmiranda@lnec.pt](mailto:lmiranda@lnec.pt)

### 1 - INTRODUÇÃO

O aumento da população mundial e as necessidades de reduzir os impactos negativos da utilização das energias fósseis, têm levado a uma crescente utilização de fontes de energia renovável nas últimas décadas. A energia geotérmica é uma dessas fontes de energia, apresentando diversas vantagens a nível ambiental e económico. Os recursos geotérmicos podem ser distinguidos em recursos de alta ou baixa entalpia. Os recursos de alta entalpia são utilizados para a produção de energia elétrica e os de baixa entalpia, maioritariamente, para climatização. Nestes últimos, estão incluídos os designados sistemas geotérmicos superficiais de muito baixa entalpia, com recurso a bombas de calor (*Ground Source Heat Pump systems*), que utilizam as camadas superficiais do terreno até 150m de profundidade, para extrair ou injetar calor, respetivamente nos modos de aquecimento ou arrefecimento dos edifícios. Os sistemas geotérmicos superficiais são constituídos por três partes principais, que são: o circuito primário, que é a parte do sistema que permuta calor com o solo, integrando as designadas geoestruturas termoativas, o circuito secundário, que constitui a transmissão térmica do calor no edifício (por condução via estrutura ou por convecção através de equipamentos de água ou ar) e a bomba de calor, que liga os dois circuitos, permitindo as trocas de calor sazonais (Brandl, 2006).

A utilização de sistemas geotérmicos superficiais tem tido um notável crescimento na Europa, em especial nos países do centro e do norte, substituindo, assim, cada vez mais, os sistemas convencionais de AVAC. A sua sustentabilidade depende de muitos fatores que interagem entre si, tais como: as necessidades energéticas do edifício, a tipologia de edifício a climatizar, as condições atmosféricas do local, as propriedades térmicas do terreno e as características dos elementos de fundação da estrutura. A integração de todos estes aspetos visa a otimização do sistema, minimizando os custos e os impactos no meio envolvente e o retorno do investimento em prazos economicamente aceitáveis.

O Projeto SUCCESS (PTDC/ECM-GEO/0728/2014) visa estudar a sustentabilidade de sistemas geotérmicos superficiais em climas do sul da Europa, tendo vindo a avaliar de forma integrada a influência dos fatores acima referidos, na sustentabilidade de um edifício dotado de um sistema de climatização geotérmico superficial e reproduzir o seu comportamento global. O edifício em estudo, o Complexo de Ciências da Comunicação e Imagem (CCCI), localiza-se no campus da Universidade Aveiro (UA). Um dos aspetos cruciais na análise do desempenho destes sistemas é avaliar o impacto no terreno resultante da sua exploração. Para tal, foi recentemente instalado um sistema de monitorização das temperaturas em profundidade, que se descreve de forma sucinta neste trabalho, assim como as condições climatéricas do local.

### 2 - DESCRIÇÃO DO SISTEMA GEOTÉRMICO DO EDIFÍCIO CCCI

O campus da UA tem quatro edifícios dotados de climatização por sistemas geotérmicos superficiais, os edifícios ECORR, CICFANO, ESSUA, e CCCI (Figura 1). Sendo o último edifício, o caso de estudo do projeto SUCCESS. As estimativas anuais das suas necessidades de climatização são de 264.000 kWh/ano, para aquecimento, e de 165.000 kWh/ano, para arrefecimento (Figueiredo et al., 2017). O edifício CCCI tem uma área de implantação de 1600 m<sup>2</sup> e a área climatizada pelo sistema geotérmico instalado é de 3300m<sup>2</sup>.

O sistema geotérmico para fazer face às referidas necessidades de climatização integra 40 furos (BHE - *borhole heat exchangers*) de 130 m de profundidade e 160 mm de diâmetro ( $\emptyset$ ), com permutadores de calor de polietileno em forma de "U" com  $\emptyset$  de 40 mm. O sistema inclui, também, 3 estacas de investigação, com  $\emptyset$  de 600 mm com 10 metros de profundidade, com permutadores verticais em "U", com  $\emptyset$  de 25 mm. Alguns aspetos da instalação do sistema mostram-se na Figura 2.



Figura 1 – Edifícios dotados de sistemas geotérmicos superficiais no campus de Santiago UA



Figura 2 – Aspectos de instalação do sistema primário e das conexões dos tubos permutadores de calor do edifício CCCI

### 3 - DADOS METEOROLÓGICOS

A cidade de Aveiro localiza-se no centro Litoral de Portugal, numa região geográfica mediterrânica (Csb, de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger), a que corresponde um clima temperado com Verão seco e suave sofrendo as influências de temperatura e precipitação sazonais correspondentes, ao longo do ano. O clima do local ou da região do edifício onde o sistema geotérmico se encontra inserido desempenha um papel fundamental na sua sustentabilidade uma vez que dita as necessidades de climatização.

Previamente aos estudos de sustentabilidade, foi efetuada uma análise climática do local do caso de estudo. Assim, foram consultadas bases de dados de duas estações meteorológicas em Aveiro. A primeira localiza-se no campus da Universidade de Aveiro (Figura 3), enquanto que a segunda se situa próximo do farol da costa de Aveiro (Figura 4). As duas estações distam entre si de 6 km. Foram também incluídos na análise dados recolhidos plataformas de plataformas de clima disponíveis *online* (que se referem a extremos de 2018).



Figura 3 – Estação meteorológica na UA, Aveiro



Figura 4 – Estação meteorológica perto do farol na costa de Aveiro

A comparação dos registos obtidos pelas diferentes vias, ao longo de 16 meses, entre janeiro de 2018 e agosto de 2019, que se mostra na Figura 5, mostra diferenças de alguma relevância. A diferença máxima entre as médias de temperatura mensal nas duas estações localizadas em Aveiro, foi em agosto de 2018, tendo sido de 2,7°C. Para as modelações numéricas e os estudos de sustentabilidade serão utilizados os dados da estação local que dista poucos metros do edifício.

### 4 - CARATERIZAÇÃO FÍSICA DOS SOLOS

Os terrenos da Universidade, inserem-se na Bacia Sedimentar de Aveiro que corresponde essencialmente à parte terminal da Bacia Hidrográfica do rio Vouga.

Relativamente à caracterização física, os solos apresentam uma camada superficial de siltes arenosos e de argila magra com areia até cerca de 10 a 12m de profundidade, encontrando-se depois as argilas de Aveiro, com estratos de argila gorda, areia argilosa e argilas magras até cerca dos 80m de profundidade e depois de areia argilosa até aos 130m de profundidade. O nível freático é bastante variável na camada superficial, situando-se próximo da superfície durante o inverno e baixando para o nível das camadas de argilite no verão.

## 5 - DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO

O sistema geotérmico superficial é constituído por uma bomba de calor água-água reversível (Figura 6), com potência de 219kW para aquecimento e arrefecimento, instalada no edifício, conectada a 40 tubos permutadores das sondas geotérmicas enterradas no solo (Figura 7) dispostas em 3 linhas paralelas ao comprimento do edifício distanciadas de 5m entre si. O circuito secundário é efetuado por permutadores inseridos nas lajes de betão armado da estrutura (Figura 8) normalmente designado por TABS (thermo activated buiding structure).

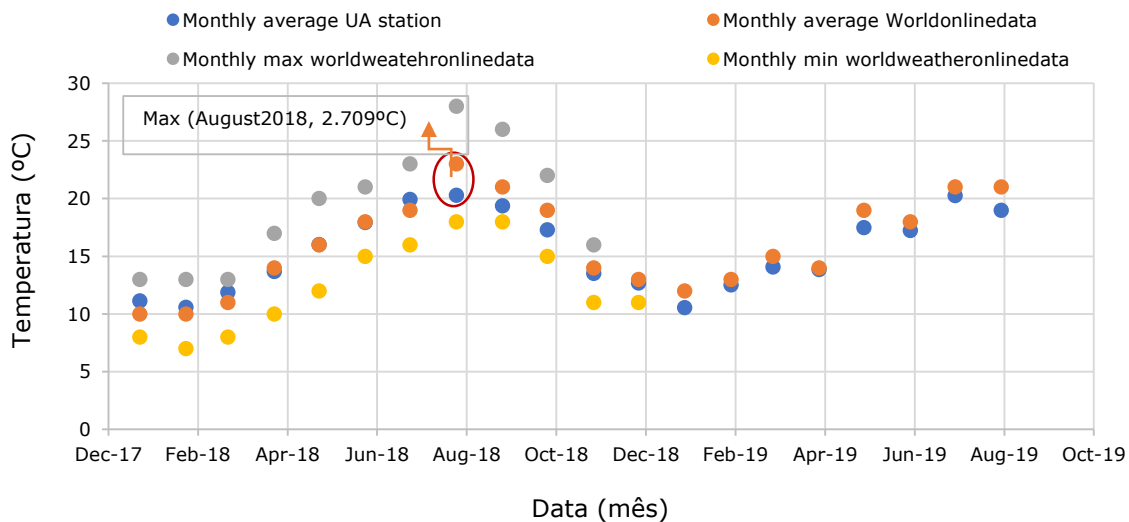


Figura 5 – Registos de temperatura em Aveiro segundo diferentes fontes



Figura 6 – Bomba de calor

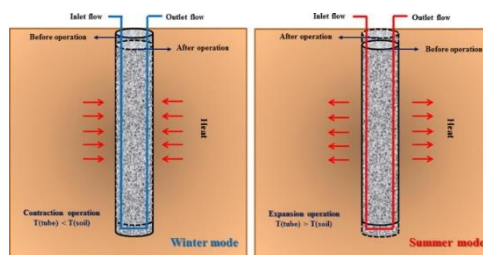


Figura 7 – Representação esquemática do circuito primário



Figura 8 – Tubos permutadores numa laje (circuito secundário)

Um dos principais objetivos do projeto SUCESS é o estudo e a simulação numérica do sistema integrado – sistema primário de aquisição ou dissipação energética e sistema secundário de transmissão. Precedendo a simulação numérica conjunta, ambos os sistemas são estudados isoladamente. No que diz respeito ao circuito primário (solo e geoestruturas termoativas), um dos principais aspetos de análise e investigação é o impacto da exploração do sistema geotérmico no terreno envolvente, isto é, quais são as potenciais alterações no campo de temperaturas no terreno decorrentes da exploração sazonal do sistema geotérmico. Para o seu estudo foi prevista a realização de um sistema de monitorização das temperaturas no terreno.

A instalação do sistema de monitorização de temperaturas em profundidade, em perfis próximos de geoestruturas termoativas no edifício CCCI, foi terminada em abril de 2019. Este sistema de monitorização contínua, é o primeiro deste tipo existente em Portugal e permitirá estudar a longo prazo a alteração das temperaturas no terreno, como consequência do funcionamento sazonal do sistema geotérmico. Deste modo, será possível avaliar se para as suas condições de exploração o sistema mantém a sua eficiência ao longo do tempo. O sistema inclui 9 furos de investigação com 120m de profundidade junto dos furos geotérmicos e 4 furos de investigação junto das 3 estacas termoativadas, com instalação do sistema de aquisição de dados por termopares, sendo a sua localização selecionada de modo criterioso a diferentes distâncias das geoestruturas, mostrando-se a sua disposição em planta na Figura 9.

Este sistema de aquisição é composto por sondas de temperatura PT100 3-Wire instaladas às profundidades de 1, 2, 5, 10, 20, 40, 60, 80, 100 e 120 m, ao longo dos furos de investigação. Essas sondas são depois ligadas a um quadro elétrico e também a uma cablagem identificada de acordo com a profundidade de cada furo e cada sonda. Por exemplo, a cablagem T5P2, corresponde ao furo de investigação número 5, sendo os dados recolhidos a 2 m de profundidade. A resistência de cada cabo foi calculada separadamente e compensada no terminal. Aspetos do sistema e da sua instalação mostram-se na Figura 10.

Nesta fase, o sistema tem já cerca de 6 meses de registos contínuos em profundidade, não estando, portanto, ainda disponível um ciclo anual de medições. Tem-se procedido à análise sistemática dos dados

das temperaturas em profundidade que têm revelado padrões consistentes com o expectável. A título de exemplo, mostram-se na Figuras 12 os registos de extremos de temperaturas entre os meses de abril e agosto de 2019 no furo de investigação F1. Observa-se que as temperaturas variam nos primeiros 10 m, estrato superficial de solos sedimentares, profundidade a partir igualam a esperada temperatura atmosférica média no local, que ronda os 16º, conforme revelam os dados de clima (Figura 5).

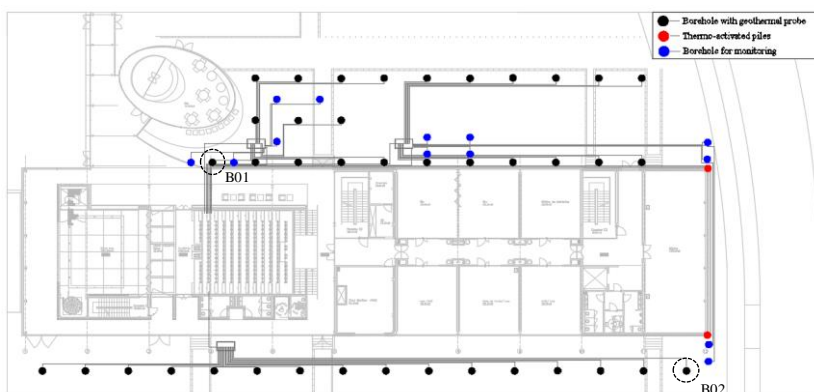


Figura 9 – Localização dos furos de monitorização de temperaturas

Figura 10 – Execução dos furos de monitorização

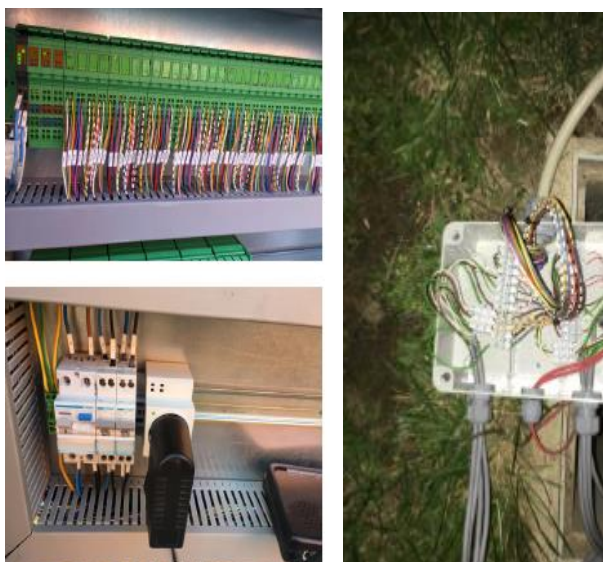


Figura 11 – Aparato da instalação do autómato e sondas de temperatura

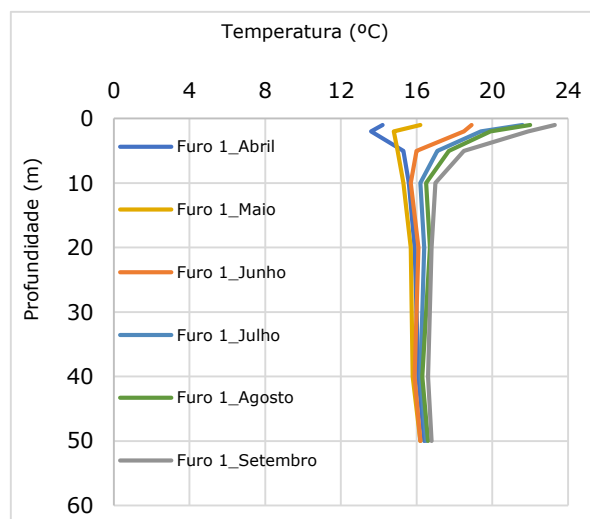


Figura 12 – Perfis de temperaturas registadas no furo F1

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), pelo financiamento concedido através do projeto SUCCESS (referência PTCDT/ECM-GEO/0728/2014) e a bolsa de doutoramento (referência SFRH/BD/140809/2018) da primeira autora.

## REFERÊNCIAS

- Brandl, H. (2006). Energy foundations and other thermo-active ground structures. *Géotechnique*, 56(2), 81–122. doi: 10.1680/geot.2006.56.2.81
- Figueiredo, A.; Lapa, J.; Cardoso, C. (2017). Edifícios escolares climatizados por recursos naturais. A geotermia como aposta do presente. Atas do 16 Congresso nacional de Geotecnia, Ponta Delgada, Açores.
- SUCCESS - Sustentabilidade de sistemas geotérmicos superficiais: Estudos aplicados a climas do sul da Europa. <http://success.lnec.pt/>