

GEOSUSTAINED

GEOTERMIA SUPERFICIAL

Aplicações de sistemas geotérmicos – Casos de estudo

Aproveitamento Geotérmico: Edifício Phoenix (Lisboa) - Estudo Geológico e Execução do Colector Vertical Pedro Madureira

29 SETEMBRO 2023

PARCEIROS



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



LISBOA
CÂMARA MUNICIPAL



universidade
de aveiro



APOIO



Sociedade
Portuguesa
de Geotecnia



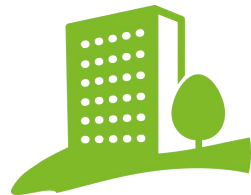
Comissão
Portuguesa de
Geotecnia Ambiental



Dimensionamento de Sistemas Geotérmicos Superficiais

O estudo de viabilidade de um projecto geotérmico superficial tem duas vertentes principais

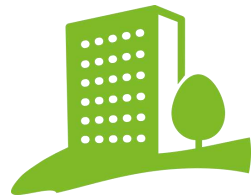
- **Informação relativa ao edifício:** necessidades de aquecimento, arrefecimento, performance sazonal
- **Informação relativa ao subsolo:** formação geológica e hidrogeologia



VIABILIDADE

Parâmetros relacionados com a estrutura construir

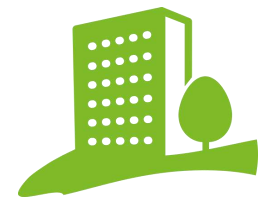
- Localização Geográfica;
- Superfície total de climatização;
- Arquitectura (plantas e cortes da estrutura, piscinas e outras instalações)
- Tipo de construção (eficiência, exposição solar, materiais de isolamento)
- Tipo de propriedade (agrícola, industrial, etc)
- Tipo de utilização
- Requisitos de temperatura para os sistemas de distribuição da climatização (bomba de calor, depósitos de inércia, bombas de circulação, ventiloconvectores, lajes termoactivas, etc..)
- No caso de já haver edifício fazer levantamento das suas características térmicas e arquitectónicas



VIABILIDADE

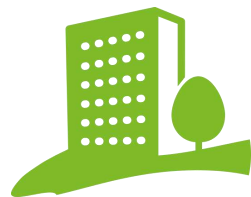
Parâmetros relacionados com o terreno

- PDM, cadastro da propriedade e outras questões de ordenamento – envolvente, confrontações, uso do solo, arqueologia
- Condicionantes ambientais
- Área disponível para perfuração
- Contexto geológico - formações ocorrentes, geomorfologia, hidrogeologia, hidrografia, tectónica e sismicidade, recursos geológicos, etc.
 - Fase 1: Análise bibliográfica e reconhecimento geológico de superfície (acessos, topografia, medição de níveis de água, geomorfologia, hidrografia, arqueologia, etc)
 - Fase 2: Execução de furo piloto e realização de ensaios *in situ*



Caraterização Geológica - Furo Piloto

- perfil litológico
- grau de fraturação
- hidrogeologia (posição do nível freático, aquíferos, produtividade, rebaixamento, hidroquímica, etc.)
- Parâmetros de perfuração (vazios e cavidades, capacidade de perfuração, diâmetros, necessidade de revestimento, velocidade de perfuração)
- Permite realização de ensaios para obtenção de parâmetros *in situ* (TRT, Bombagem, Diagrafias, etc.)
- Estimar prazos de execução e custo de perfuração (rotary, roto-percussão, entubamento, desarenador, polímeros, lamas, etc) - um dos aspetos críticos em termos de viabilidade económica é o custo dos furos geotérmicos e respetivos permutadores
- Informação acerca da aplicabilidade da sonda e materiais de enchimento - peso, grout (estimativa de volume e pressão de injeção)



Os principais dados geológicos a considerar são:

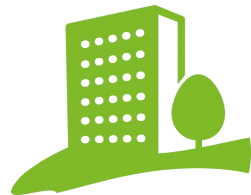
- **Tipo e Dureza das Formações** – influencia métodos de perfuração;
- **Propriedades térmicas** – influenciam o projecto e condições de produção/exploração;
- **Água Subterrânea** – afecta projecto, dimensionamento e perfuração (execução);
- **Temperatura do terreno** – influencia o projecto.

Sistema fechado (média e grande dimensão) – TESTE DE RESPOSTA TÉRMICA (TRT)

O **TRT** permite obter a condutividade térmica do subsolo, a temperatura em “repouso”, a resistência térmica entre o fluído e o terreno (tubo, enchimento) e a capacidade térmica volumétrica.

Sistema aberto – ENSAIO DE BOMBAGEM (EB)

O **EB** permite obter *in situ* diversos parâmetros hidrogeológicos essenciais para o projeto de um sistema aberto - permeabilidade, produtividade, entre outros



Objectivo: obter *in situ* as propriedades térmicas do subsolo, mediante a entrega de uma taxa de energia constante por um período de tempo considerável.

- **temperatura do solo imperturbável [T0]**

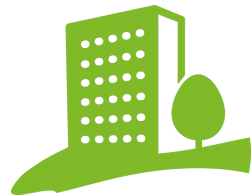
Temperatura média ao longo da profundidade do furo (BHE). Uma T0 alta aumenta a eficiência no modo de aquecimento.

- **condutividade térmica [λ]**

Capacidade do solo / rocha para conduzir o calor. Uma maior condutividade térmica aumenta a eficiência do colector (BHE). O calor é transportado mais rápido quando a condutividade é maior. Este parâmetro é específico do local e não pode ser influenciada pela engenharia.

- **resistência térmica [Rb]**

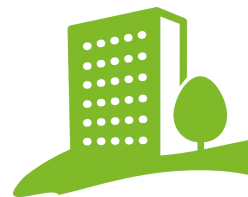
fluxo de calor transferido entre o fluido e o furo. Pode ser influenciado pela engenharia.



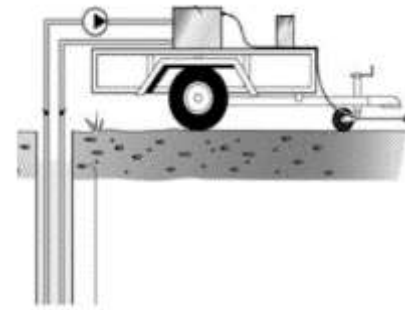
- O Teste de Resposta Térmica permite conhecer a propriedades térmicas do furo geotérmico e terreno envolvente
- Com o conhecimento destas propriedades térmicas é possível obter o numero correto de comprimento dos furos geotérmicos de modo a satisfazer as necessidades energéticas da bomba de calor
- É frequente encontrar diferenças importantes entre os valores previstos e os valores resultantes do TRT

Some tests done by UBeG

Nr	Geology	estimated λ_{eff}	Messured λ_{eff}	r_b
1	Limestone	2,4 W/m/K	2,7 W/m/K	0,10 K/(W/m)
2	Gravel / Sand wet	2,2 W/m/K	3,1 W/m/K	0,10 K/(W/m)
3	Mergel („Emschermergel“, Cretacious)	2,0 W/m/K	2,0 W/m/K	0,12 K/(W/m)
4	Sand/Mudstone, (Cretacios)	2,1 W/m/K	2,3 W/m/K	* 0,08 K/(W/m)
5	Sand and Clay (Quartary/Tertiary)	2,3 W/m/K	2,8 W/m/K	0,11 K/(W/m)
6	Sand and Clay (Quartary/Tertiary)	2,3 W/mK	2,3 W/m/K	* 0,08 K/(W/m)
7	Sand and Clay (Quartary/Tertiary)	2,3 W/mK	2,2 W/m/K	* 0,07 K/(W/m)
8	Marl, Clay	2,2 W/m/k	2,5 W/m/K	0,12 K/(W/m)
9	Sand (Quartary)	2,4 W/m/k	2,5 W/m/K	0,13 K/(W/m)
9	Sandstone	2,3 W/mK	3,2 W/mK	0,09K/(W/m)
10	Schluff, sandig (Quartär/Tertiär)	2,4 W/mK	3,4 W/m/K	* 0,06 K/(W/m)



Equipamento SYNEGE para realização de TRT (*):



Consiste em:

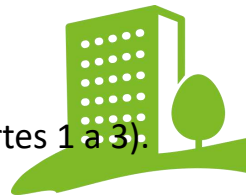
- Fonte de calor;
- Bomba de circulação;
- Sensores e sistema de aquisição de dados

Parâmetros a registar:

- Temperatura de ida
- Temperatura de retorno;
- Caudal e Entalpia;
- Potência eléctrica.

(*) desenvolvido em parceria com EST/IPS

Equipamento segundo as normas de referência : CEN/TC 341; ISO/DIS 17628:2013 (DRAFT); VDI 4640 (Partes 1 a 3).



As propriedades mais importantes para o dimensionamento de um sistema aberto (também importantes no dimensionamento de sistemas fechados) são:

- Geometria do aquífero (limites de área e espessura)
- Posição freática (do lençol freático ou do nível hidrostático)
- Gradiente de águas subterrâneas (detectar a direção do fluxo natural)
- Condutividade hidráulica (permeabilidade)
- Transmissividade (condutividade hidráulica x espessura)
- Coeficiente de armazenamento (rendimento em função do volume)
- As condições de fronteira (limites circundantes, positivos ou negativos)

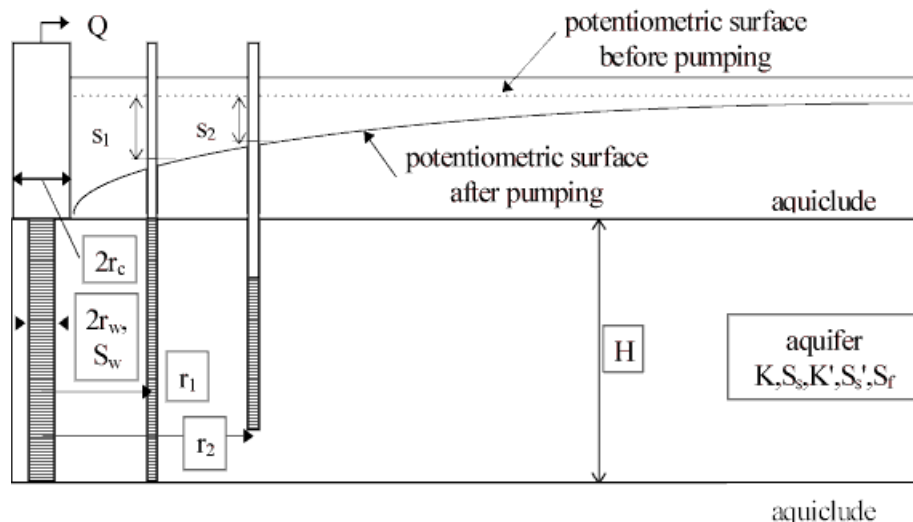
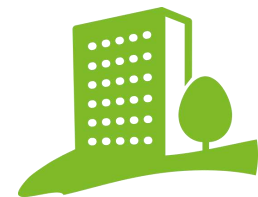
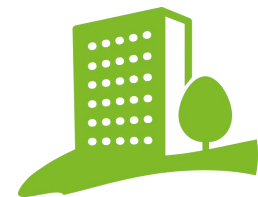


Figura extraída do manual *Geotrainet* – legenda: *Hydraulic properties of an aquifer are obtained by a longer pumping test where a number of observation wells or pipes is used to determine the shape of the draw down cone*



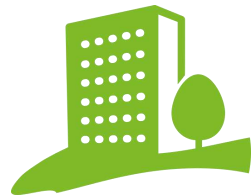
Os sistemas em circuito aberto podem conter um certo número de poços normalmente colocados no mesmo aquífero. A função destes furos pode ser a extracção, a injeccção ou a extracção e a injeccção de água.

- Um poço deve cumprir os seguintes **requisitos funcionais**:
 - Permitir a entrada de água, ou saída (injecção), com a menor resistência ao fluxo possível
 - Extrair água sem impurezas provenientes do aquífero
 - Construído de uma forma a que o aquífero fique protegido de contaminações
 - Durar por um longo tempo sem problemas de corrosão ou entupimento
- Numa instalação em sistema aberto, os **principais parâmetros a medir** nos poços são os seguintes:
 - Rebaixamento em função do caudal de extracção
 - A pressão de injeccção em função do caudal
 - As taxas de caudal cada poço
 - As temperaturas dentro e fora do furo



Uma **compreensão básica da hidrogeologia do local** é determinante para o projeto, principalmente porque:

- A água influencia a condutividade térmica;
- A água pode ter um efeito de dissipação nas temperaturas do solo influenciando o balanceamento do sistema;
- A presença de um aquífero já em exploração ou um perímetro de protecção pode inviabilizar o projeto;
- As águas subterrâneas são sempre ser um factor importante no planeamento e execução da perfuração (ligação de aquíferos, artesianismo, etc.);
- A produtividade do aquífero determina o limite de extracção e, portanto, pode limitar a exploração geotérmica em sistema aberto;
- O aumento de temperatura da água do aquífero pode gerar contaminação microbiológica;
- O quimismo da água pode influenciar a corrosão ou a precipitação de materiais nos equipamentos da instalação.

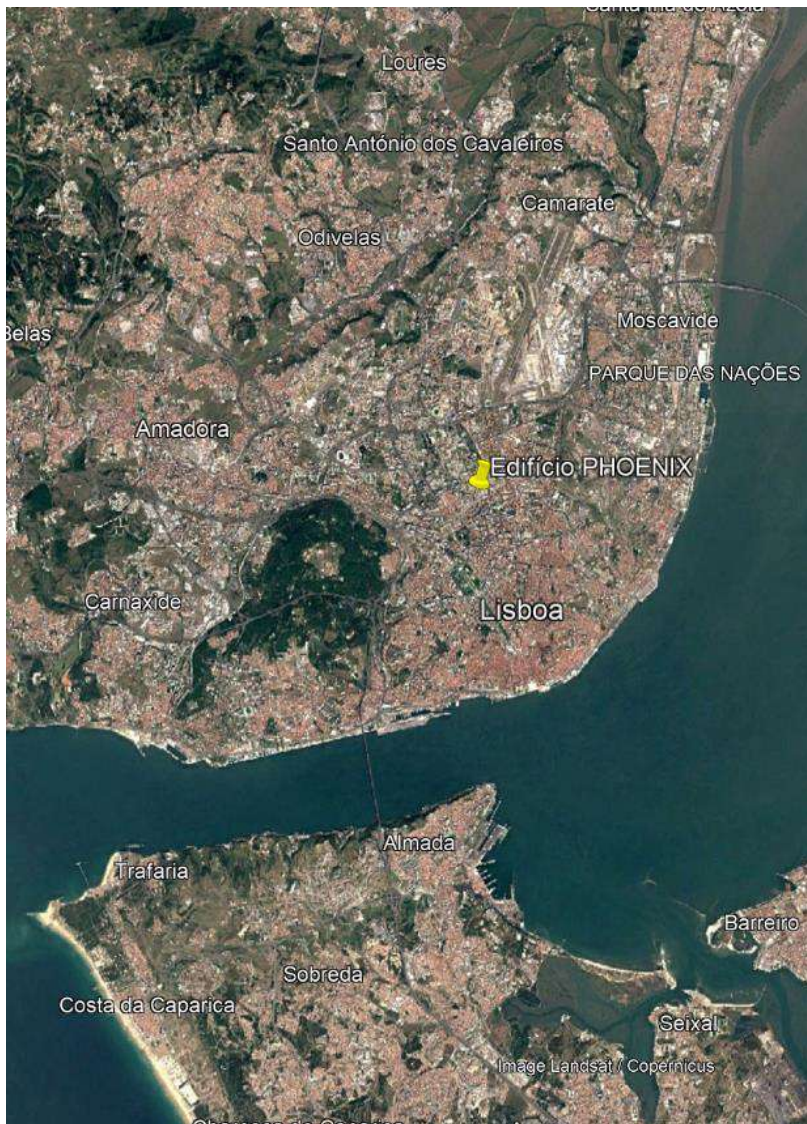


CASO ESTUDO – PROJECTO GEOTÉRMICO

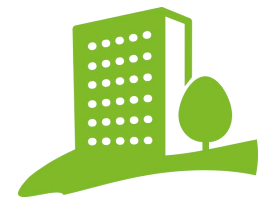
EDIFÍCIO PHOENIX **FIDELIDADE**

- PROJECTO EDIFÍCIO PHOENIX
- ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO
- DIMENSIONAMENTO
- EQUIPAMENTOS, MATERIAIS E METODOLOGIAS
- CONSIDERAÇÕES FINAIS

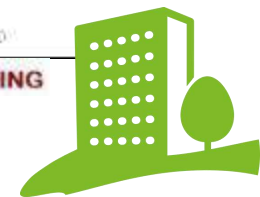
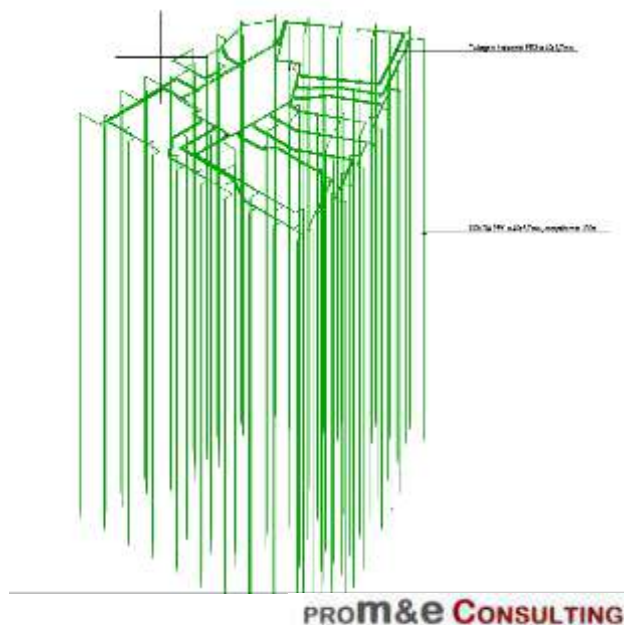




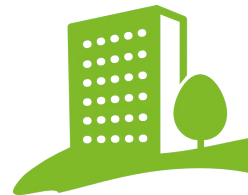
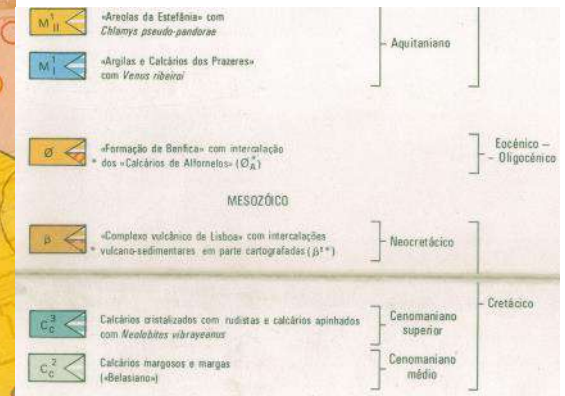
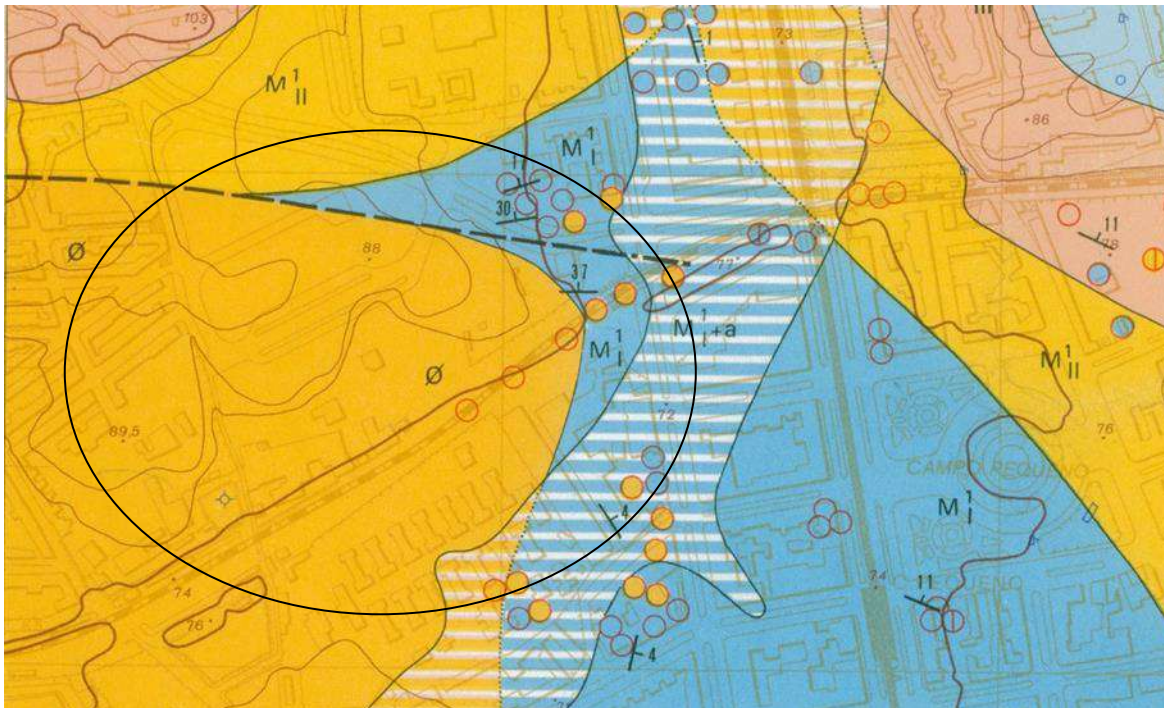
- O projecto Edifício PHOENIX pretende uma eficiência energética de excelência – **opção geotermia de baixa entalpia, com recurso a bombas de calor geotérmicas (satisfação das necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento do ambiente interior e produção de AQS)**
- O espaço a climatizar compreende o Edifício Sede do Grupo Fidelidade localizado na Av. Álvaro Pais, em Lisboa, com 8 pisos de escritórios elevados, 2 pisos de escritórios parcialmente abaixo do solo e 3 pisos de estacionamento abaixo do solo, num total de 41 000 m²
- A nível energético e ambiental, prevê-se a certificação energética na Classe A e as certificações de sustentabilidade LEED – Gold a Platinum e WELL - Gold a Platinum.



- O dimensionamento do campo de captação / rejeição geotérmico foi realizado pela empresa **PROM&E CONSULTING** e teve por base os valores das potência térmica e dos consumos energéticos do edifício, bem como o enquadramento geológico e as propriedades térmicas do subsolo definidas pelo estudo geológico e geotérmico realizado pela SYNEGE



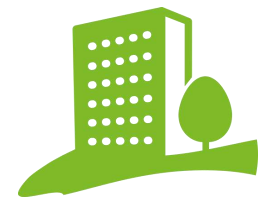
Na área em estudo afloram as formações designadas por “Argilas e Calcários dos Prazeres” com *Venus Riberoi* – M1I e a “Formação de Benfica” – Ø. Para além destas poderão ser interceptadas também as formações geológicas subjacentes, “Complexo Vulcânico de Lisboa (CVL)” – β e o Cretácico superior, “Calcários cristalinos com rudistas e calcários apinhoados” com *Neolobites vibrayeanus* – C3C.



Equipamento SYNEGE para realização de TRT:



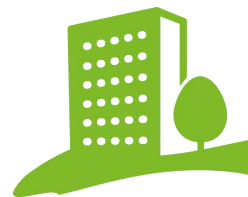
- Foram realizados 2 furos à *rotary* com circulação de lamas, e em cada um deles foi realizado um teste de resposta térmica
- Os furos ficaram com cerca de 142 m de profundidade, pois foi considerada a profundidade a escavar (cerca de 20 m) e a profundidade dos furos definida em projeto (120 m)
- Colocação de protecção das sondas ao longo dos 22 m a escavar, para não serem danificadas durante a escavação
- Estas sondas foram instaladas de acordo com as definições do projecto, constituindo parte do mesmo



Equipamento SYNEGE para realização de TRT (*):



- Antes e após a instalação das sondas foram efectuados os respectivos ensaios de circulação e pressão para garantir a correcta instalação
- Os TRTs foram de acordo com as especificações da Agência Internacional de Energia (IEA) e pela Associação Internacional de Bomba de Calor Geotérmicas (IGSHPA)



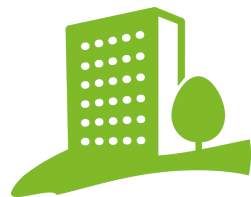
- Os valores considerados na modelação do sistema foram obtidos pela média dos resultados dos TRT, para validação do dimensionamento inicial.
- Resultados obtidos (média dos 2 TRTs):

Temperatura média do terreno: 19 °C

Condutividade Térmica média: 2,4 W/(m.K)

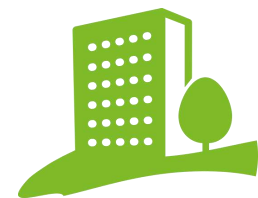
Resistência Térmica média: 0,15 (m.K)/W

- Em cada sonda circulou um caudal de fluido de 0,4 l/s, para que o escoamento se realizasse em condições de **regime não laminar** (regime turbulento ou transiente) de forma a beneficiar de **melhores performances para as trocas de calor do permutador geotérmico**.

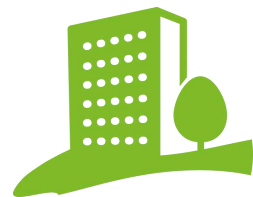


Dados fornecidos pelo projeto (Proem&e Consulting):

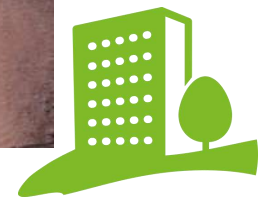
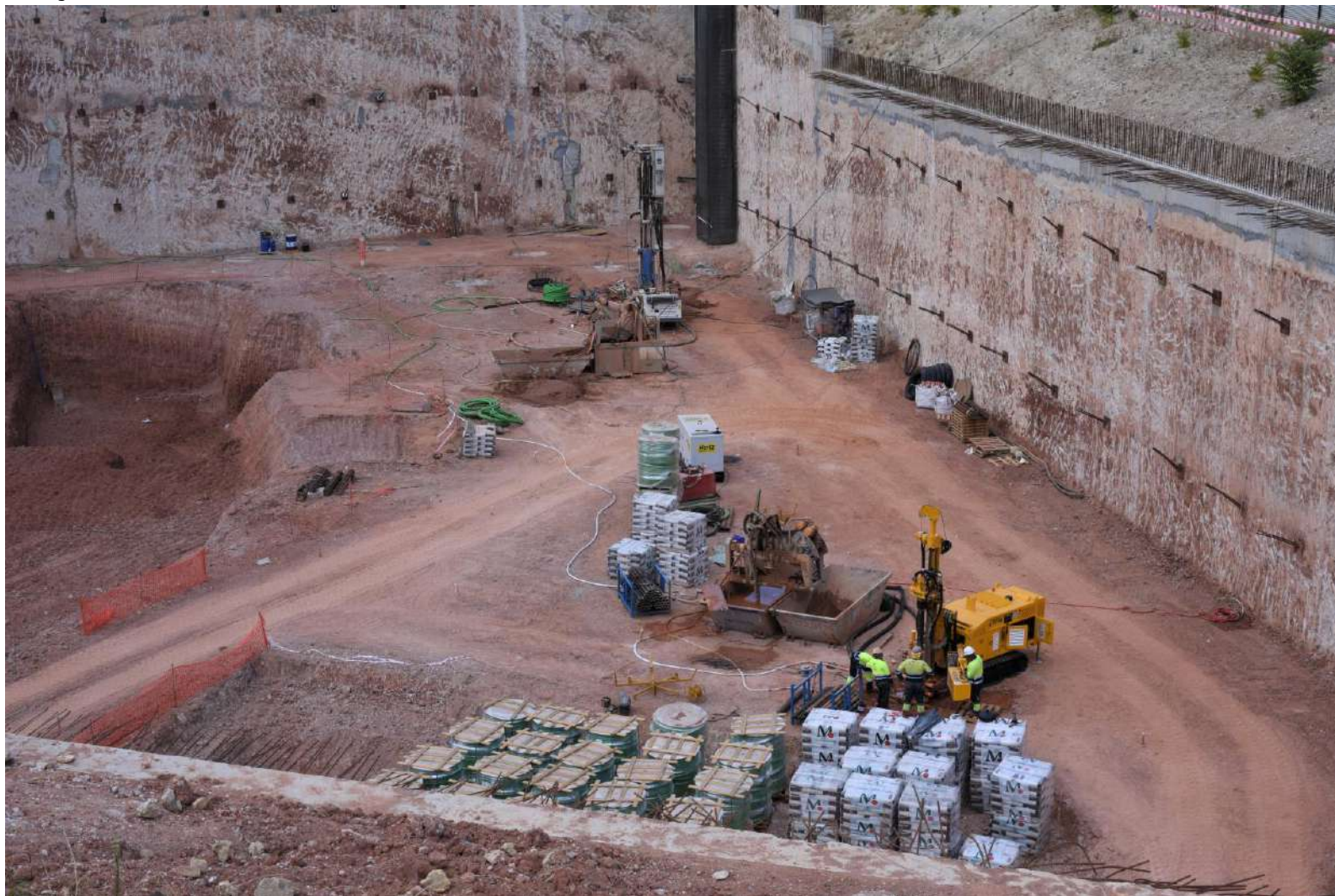
- **potência térmica de arrefecimento - 4 140 kW**
- **potência térmica de aquecimento, incluindo AQS - 1 260 kW**
- Sistema composto por:
 - 3 bombas de calor geotérmicas - as bombas de calor geotérmicas funcionarão durante todo o ano (permitem produção de calor e de frio em simultâneo) cobrindo assim as necessidades térmicas no Inverno e eventualmente na meia estação
 - 3 chiller de parafuso - necessários quando as necessidades de arrefecimento se mostrarem superiores à capacidade do sistema geotérmico, o que se prevê no Verão e alguns períodos da meia estação



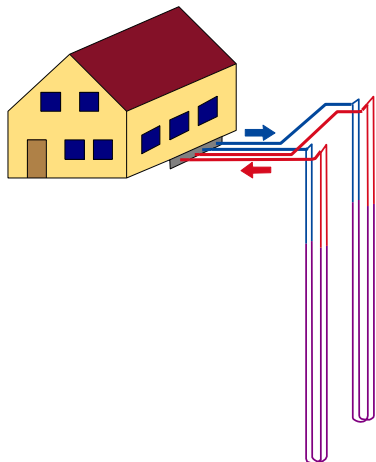
- Circuito primário, ou geotérmico, de acordo com o cálculo térmico efetuado, composto por um total de **90 permutadores de calor enterrados** verticalmente, em circuito fechado, com uma **profundidade de 120 m** cada (total de 10 800 m)
- Cada BHE está afastado, no mínimo, 6 m do adjacente



A execução do colector vertical projectado foi realizada pela empresa Geogradiente – Soluções Geotérmicas



Equipamentos utilizados na perfuração e colocação de sondas geotérmicas em sistemas fechados verticais – Borehole Heat Exchangers (BHE) – furação aos diâmetros de 152 e 130mm e profundidades de 120m.



**Sonda HBR205GT
HUTTE**



**Sonda SM-8GT
SOILMEC**

**Sonda GT52
BERETTA**

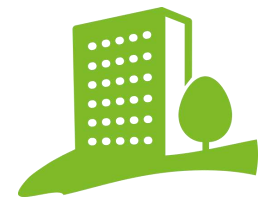


Tecnologias de Perfuração

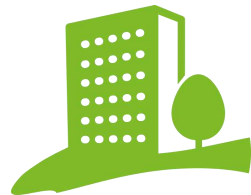
Os dois tipos principais de perfuração para os BHE:

- **Furação à roto-percussão** com ar comprimido (martelo fundo-de-furo) – essencialmente aplicada em materiais rochosos;
- **Furação à rotary** (com revestimento temporário e /ou circulação de lamas bentoníticas) – essencialmente aplicada nas formações com carácter de solo, detríticas e/ou coesivas,

<i>Percussion</i>	<i>Rotation</i>	
Digging Direct Push (Rc<50 Mpa)	Augering (Rc<60 Mpa)	
Cable tool	Rotary	Tricone (Rc<150 Mpa) Bit (Rc<60 Mpa) Coring Bit Polycrystalline Diamond Compact (PDC)
Roto-percussion: Down The Hole Hammer (DTH), Head Hammer (HH) Hydraulic Hammer Drilling (HHD) (Consolidated formations)		
New Technologies: Sonic, Horizontal Directional Drilling (HDD), Coil Tubing,...		



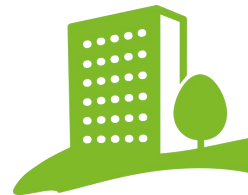
Inserção da sonda geotérmica



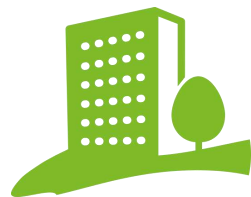
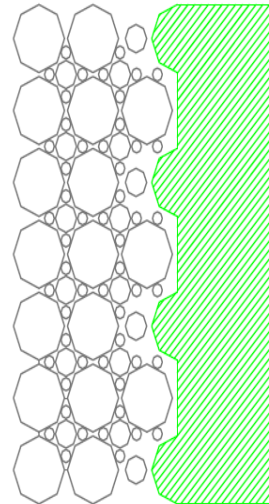


Legenda:

- 1 - Vista escavação do Edifício Phoenix – 2
- perfuradoras em laboração para instalação de sondas geotérmicas
- 2- “Bit” e varas utilizadas na perfuração
- 3 e 4 - Inserção de sonda e mangueira de injeção
- 5- Aspecto final de sonda inserida (a conectar a rede horizontal)



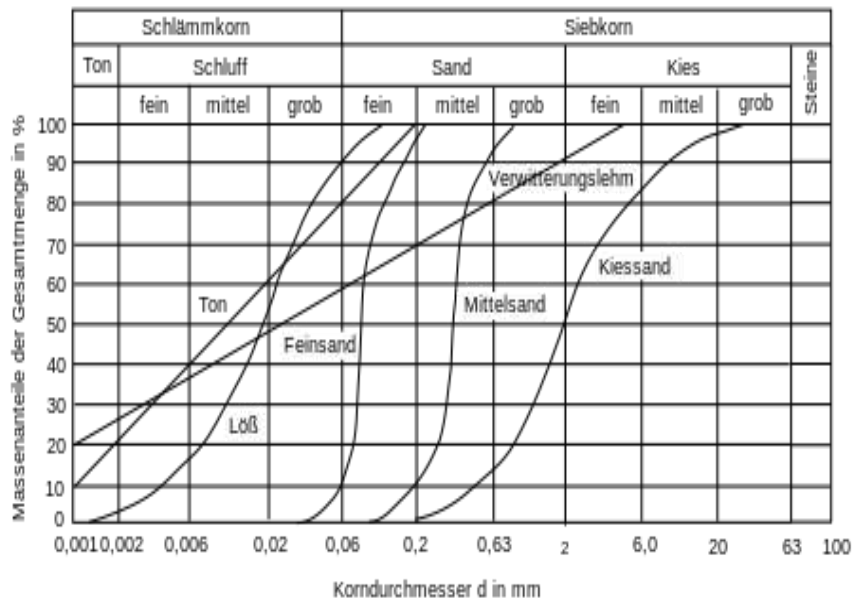
Tipo de sonda – Sondas simples Raugeo DN40 com paredes rugosa de modo a diminuir a permeabilidade vertical. Com peso que ajuda na inserção de 25kg (variável).



FUNCTIONAL outer layer - DEVELOPMENT (PE-Xa green - Geothermal probe - Informação fonte Rehau)

Generating different roughness, matched to the grain sizes of the grouting material.

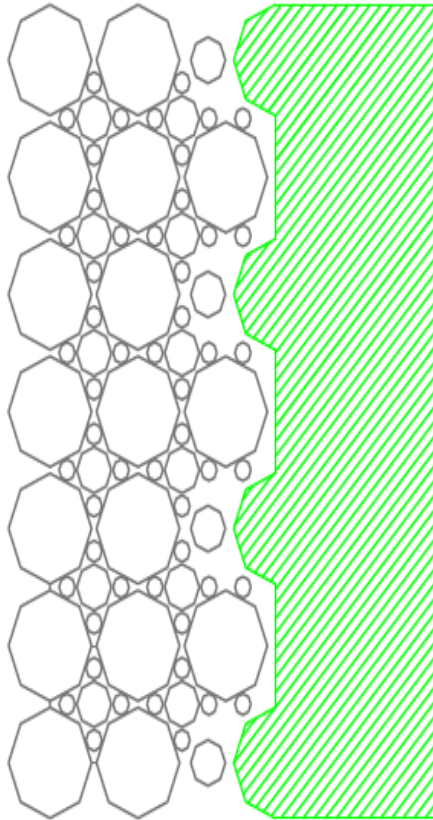
- „ Macro-roughness "grain size ca.1mm - coarse sand fraction
- „ Microroughness "grain size ca.0,2 mm - fine sand fraction



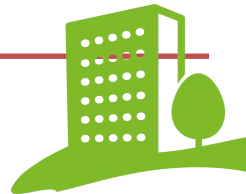
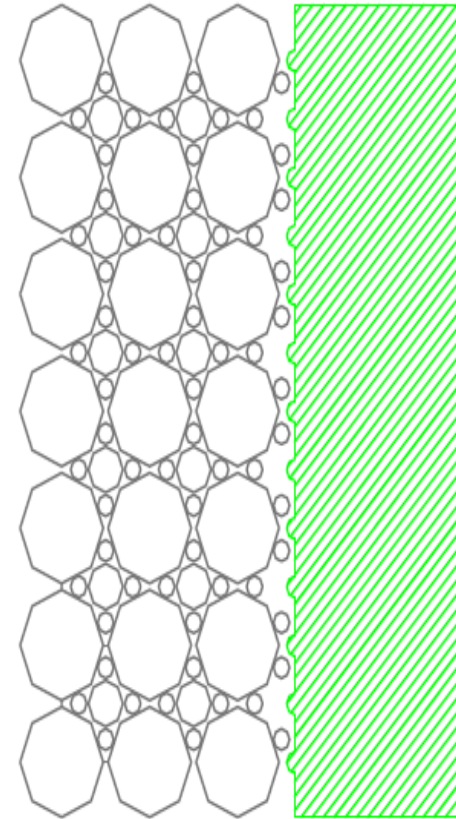
FUNCTIONAL outer layer - DEVELOPMENT

(PE-Xa green - Geothermal probe - Informação fonte Rehau)

„ Macro-roughness
"grain size ca.1mm
- coarse sand
fraction



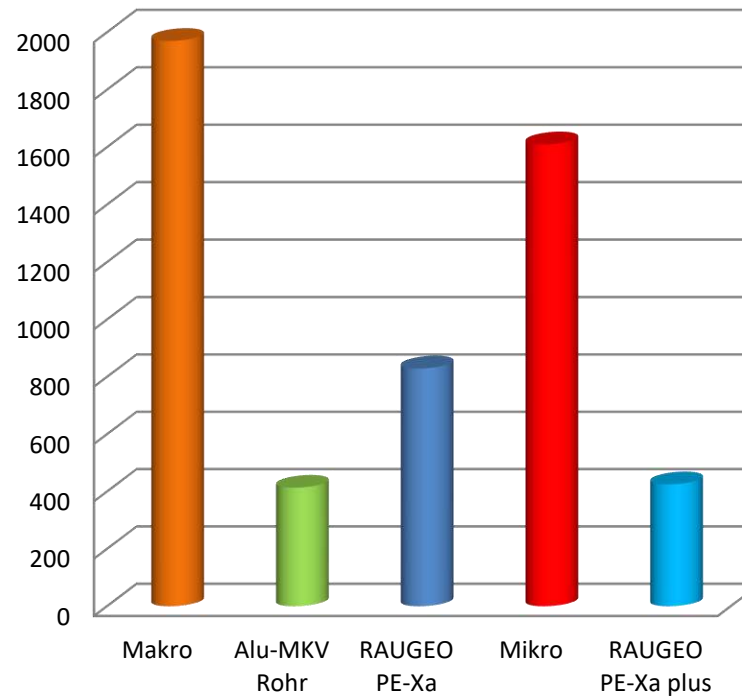
Microroughness
"grain size ca.0,2
mm - fine sand
fraction





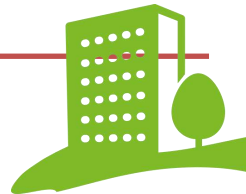
TEST OF EXTRACTION FORCE

Auszugskräfte aus Verpressmaterial



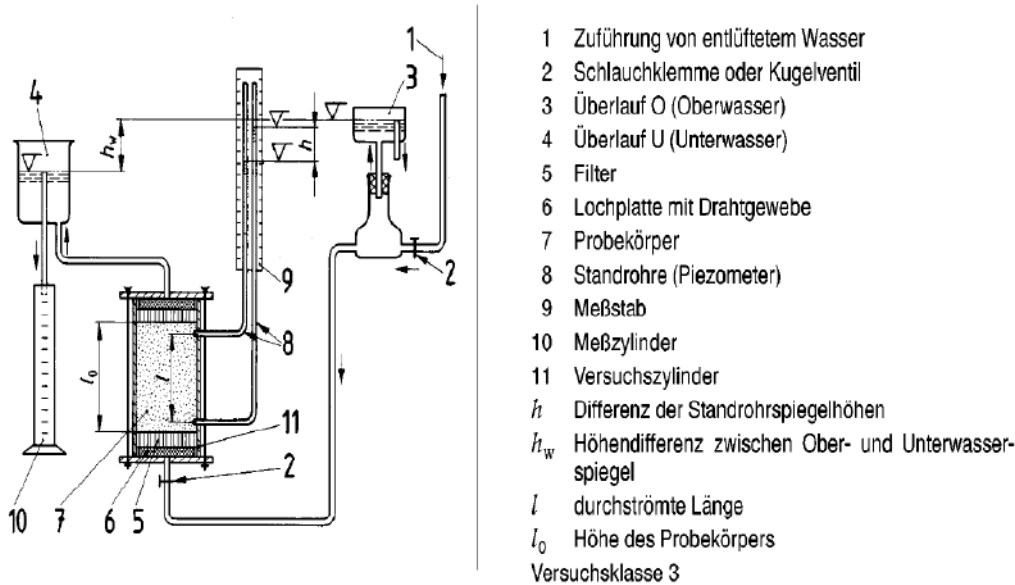
Result: Significant increase in the pull-out forces by roughness

(PE-Xa green - Geothermal probe - Informação fonte Rehau)



TESTING SUBSURFACE WATERCOURSE

Triaxial tests for testing the hydraulic
Tightness at ZAE Bayern



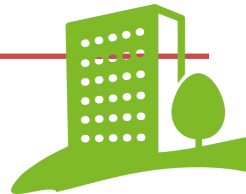
ANMERKUNG: Bei Nachweis stationärer Strömung darf der Versuch der Versuchsklasse 2 zugeordnet werden.

Bild 6: Versuchsanordnung für Versuch mit Standrohren, konstantem hydraulischen Gefälle und Messung des Wasservolumens im Meßzylinder, Versuchsklasse 3



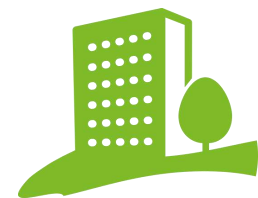
Quelle: DIN 18130-1: 1998-05

Fonte:Rehau



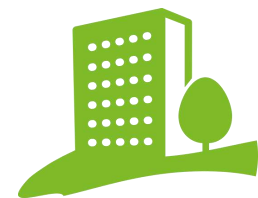
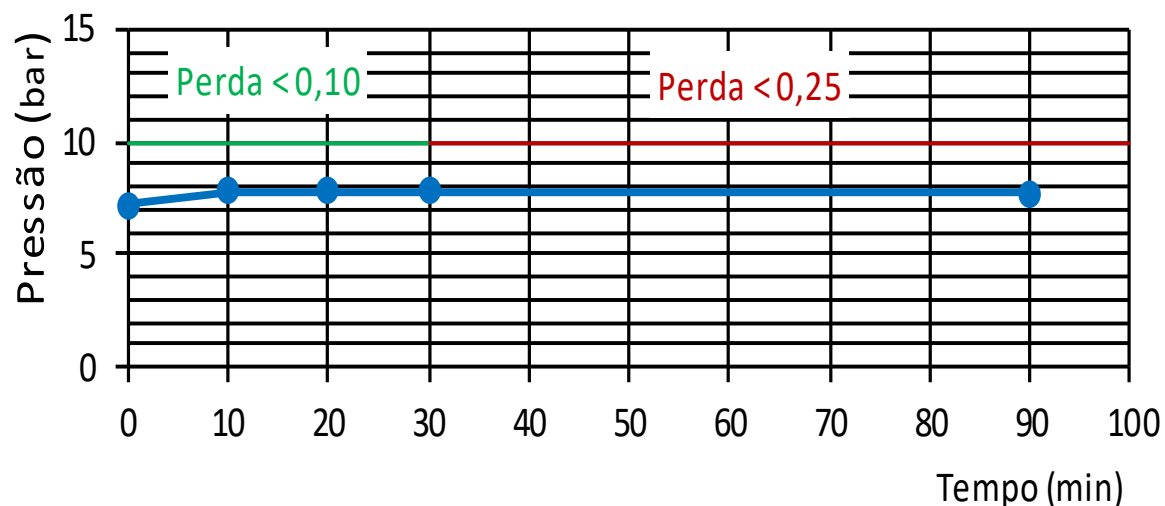
Ensaio Inicial – Ensaio de caudal e pressão segundo UNE 100715-1.

(10min a 6,0bar, após meia hora a sonda perde pressão por dilatação, depois 1h com perdas < a 0,2bar)

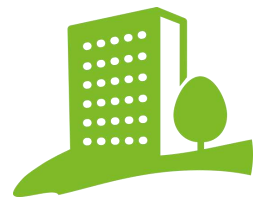


Ensaio Final – Ensaio de pressão segundo UNE 100715-1 após 7 dias do enchimento.

(10min a 12bar, após 1h com perdas inferiores a 30%, reduz-se 2bar, depois 30min com perdas < a 0,1bar e 90min com perdas < a 0,25bar)



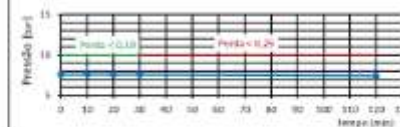
- Injecção de grout térmico



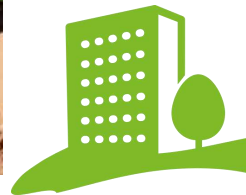
FIDELIDADE

 GEO GRADIENTE SOLUÇÕES E SISTEMAS	ACOMPANHAMENTO REDE GEOTÉRMICA VERTICAL			FIDELIDADE
Projeto: 001.23.FR1 - Parcela C	Equipamento: Solbrax	Comprimento Furo (m): 125,0 Índice Fendica (at): -	Furo Geotérmico N.º	
Localização: Plataforma - Cota 60,8	Alameda de Função: Runway	Data: 10/08/2022 Hora: 10/08/2022	BHE. 15.05	

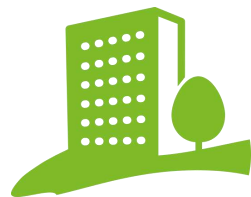
- antes da inserção da sonda
- após inserção e antes do enchimento
- após enchimento



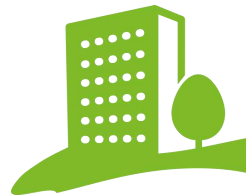
- SENSORES DE TEMPERATURA - Sensor de temperatura destinados à transmissão remota a controladores compatíveis
- Características técnicas principais:
 - Elemento de medidapassivo, PTC (1000 Ω a 20°C)
 - Gama de medida -50°C a 100°C
 - Precisão +/- 0,5°C
 - Número de condutores (ligações) .. 2 sem polaridade



- **O sistema geotérmico do Edifício Phoenix diligeceia a segurança ambiental do ponto de vista hídrico**
 - Circuito fechado
 - Perfuração acompanhada de revestimento
 - Sondas geotérmicas de alta resistência e tecnologia
 - *Grout* inerte e de permeabilidade quase nula
 - Fluido de circulação inócuo do ponto de vista ambiental
 - Distribuição espacial entre furos e entre zonas de furos permitindo não afectar a dinâmica das águas subterrâneas
 - Acompanhamento de todos os trabalhos por equipa de geologia



- Considera-se que o projecto do Edifício Phoenix será um **projecto de referência nacional** de aplicação de uma energia com fonte renovável, enquadrando-se nos desafios e metas europeias que referem um aumento em 49% do uso de energias renováveis até 2030, nos edifícios, e uma redução em 55% dos gases com efeito de estufa
- Um projeto bem dimensionado é otimizado nos custos e origina uma exploração sustentável a longo prazo - **modelo para o desenvolvimento do mercado do aproveitamento geotérmico superficial**
- A necessidade de **redução da dependência dos combustíveis fósseis**, quer por razões ambientais, quer económicas, dita que aproveitemos este recurso renovável sob os nossos pés



OBRIGADO!

© Synege

Núcleo Empresarial de Venda do Pinheiro - Zona Norte, Rua C - Pavilhão 60

© Geogradiente – Soluções Geotérmicas

Av. 9 de Julho, nº19, 1ºEsq - 2665-552 – Venda do Pinheiro

PARCEIROS



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



LISBOA
CÂMARA MUNICIPAL



universidade
de aveiro



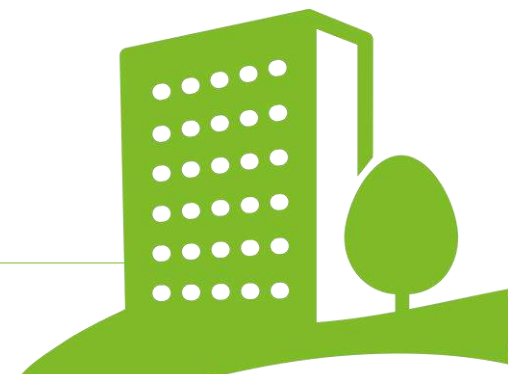
APOIO



Sociedade
Portuguesa
de Geotecnia



Comissão
Portuguesa de
Geotecnia Ambiental



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Moitinho de Almeida, F. (1986), “Carta Geológica de Lisboa”, Folha 4 – Escala 1:10 000. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 1986
- Pais, J. et al (2005) – Carta geológica 1:50.000, nº 34–D, (Lisboa). Instituto Nacional de Engenharia Tecnologia e Inovação, Lisboa.
- Pais, J. et al (2006) – Notícia explicativa da Carta geológica 1:50.000, nº 34–D, (Lisboa). Instituto Nacional de Engenharia Tecnologia e Inovação, Lisboa.
- Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, SNIRH <http://snirh.pt>;
- Teixeira, C. e Gonçalves, F. (1980). Introdução à Geologia de Portugal. Instituto Nacional de Investigação Científica;
- Mands, E. and Sanner, B., 2001, “In-situ determination of underground thermal parameters”;
- A. Georgiev, S. Tabakova and R. Popov, “The Bulgarian Experience in the Thermal Response Tests”;
- Javed S., Claesson J., Beier Ra., “Recovery times after thermal response testes on vertical borehole heat exchangers”;
- Burkhand Sanner, Göran Hellström, Jeff Spitler and Signhild Gehlin, “Thermal Response Test – Current Status and World-Wide Application”;
- Javed S., Claesson J., Beier RA., “Recovery times after Thermal Response Test on vertical borehole heat exchangers”;
- Jin Luo, Joachim Rohn, Manfred Bayer and Anna Priess, “Thermal Efficiency Comparison of Borehole Heat Exchangers with Different Drillhole Diameters”;
- Hemmingway, Phil; Long, Michael, “Thermal response testing of compromised borehole heat exchangers”;
- Signhild Gehlin, “Thermal Response Test – Method Development and Evaluation”;
- Maria Carla Lourenço, Recursos geotérmicos de baixa entalpia em Portugal Continental, DGEG;
- Geotrainer: <http://geotrainer.eu/>
- Rehau;

