



IPG Politécnico
|da|Guarda
Polytechnic
of Guarda

RELATÓRIO DE PROJETO

Licenciatura em Energia e Ambiente

Liliana Ribeiro Santos

novembro | 2015





IPG

Politécnico
da Guarda
Polytechnic
of Guarda

Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Estudo de uma Aplicação de Máquinas de Adsorção usando Energia Geotérmica

RELATÓRIO DE PROJETO

LICENCIATURA EM ENERGIA E AMBIENTE

Liliana Ribeiro Santos

Novembro | 2015



IPG

Politécnico
[da]Guarda
Polytechnic
of Guarda

Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Estudo de uma Aplicação de Máquinas de Adsorção
usando Energia Geotérmica

ORIENTADOR: PROFESSOR DOUTOR ADÉRITO NETO ALCASO



Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Identificação

Nome: Liliana Ribeiro Santos

Nacionalidade: Portuguesa

Telefone: 968567479

Morada: Rua da Portela, Ranhados, Meda

Correio electrónico: lili_santos@live.com.pt

Número: 1011157

Curso: Energia e Ambiente

Orientador: Professor Doutor Adérito Neto Alcaso

Instituição: Instituto Politécnico da Guarda

Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Morada: Av. Dr. Francisco Sá Carneiro 50

6300 – 559 – Guarda

Telefone / Fax: 271220100 / 271220150

Correio Eletrónico: estg-geral@ipg.pt

Resumo

Este projeto apresenta uma análise sobre a climatização de espaços públicos e habitações com calor geotérmico, mais concretamente com geotermia de baixa entalpia e máquinas de adsorção.

De modo a compreender melhor a utilidade que se pode dar a esta energia e como se pode fazer a implementação de um sistema de exploração, são apresentados alguns sistemas de energia geotérmica de baixa e de alta entalpia em Portugal. São analisados os tipos de sistemas de climatização mais vulgarmente utilizados para o arrefecimento, em termos do seu custo inicial e consumo elétrico por forma a perceber a importância da implementação de sistemas sustentáveis.

O trabalho aborda também uma análise dos chillers de adsorção em contrapartida com os chillers de compressão, em termos de consumo energético e respetivo custo financeiro. Para tal efetuou-se uma simulação de cálculo para o balneário Rainha D. Amélia das termas de S. Pedro do Sul.

Abstract

This project analyses the acclimatization of public spaces and residential homes with geothermal heat, specifically with low enthalpy and absorption machines.

In order to better understand the value that can be given to this energy and how to make the implementation of such solution, some geothermal systems of low and high enthalpy in Portugal are presented. Most commonly systems used in air conditioning for cooling are analyzed, in terms of its initial cost and electricity consumption in order to realize the importance of implementing sustainable systems.

The work deals with an analysis of adsorption chillers in counterpart with compression chillers in terms of energy consumption and its financial cost. For this, calculation simulation is performed at the R. Amelia Spa in Termas de S. Pedro do Sul.

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço ao Prof. Doutor Adérito Alcaso a forma como orientou o meu trabalho. As notas dominantes da sua orientação foram fundamentais para a realização do projeto, bem como a sua disponibilidade com que sempre me recebeu.

Em segundo lugar um agradecimento a todos os docentes da ESTG/IPG, pela forma como lecionaram o curso de Energia e Ambiente e por me terem transmitido um interesse maior por estas matérias.

São também dignos de uma nota de consideração todos os amigos e família que contribuíram com muito apoio e dedicação para a realização deste projeto.

Índice

Capítulo 1 - Introdução.....	1
Objectivos	2
Capítulo 2 - Geotermia	3
Geotermia de Baixa Entalpia	4
Geotermia de Alta Entalpia.....	5
Energia Geotérmica Aplicada a Sistemas de Climatização	7
Capítulo 3 - Tecnologias de Climatização.....	13
Chiller de Compressão.....	13
Chillers de Absorção.....	14
Chiller de Adsorção	15
Aplicação das tecnologias com Cogeração e Trigeriação.....	17
Capitulo 4 - Estudo teórico-prático das termas de S. Pedro do Sul.....	20
Descrição das condições base do projeto de estudo	22
Determinação do custo do investimento	26
Análise de consumo do sistema convencional.....	26
Análise do consumo do equipamento a instalar.....	28
Análise retorno do investimento	29
Analise Retorno de investimento (Funcionamento 24h)	30
Análise com base no financiamento do Horizonte 2020	32
Capitulo 5	34
Conclusões	34
Bibliografia.....	36
Webgrafia.....	37
Anexo1 Recursos Geotérmicos em Portugal Continental.....	38
Anexo2 Ocorrências Termiais em Portugal Continenta.....	39
Anexo3 Utilizações Possíveis da Energia Geotérmica.....	40
Anexo4 Características Técnicas de chiller INVENSOR LTC 10.....	41

Índice de Ilustrações

Ilustração 1. Representação esquemática do interior do planeta Terra	4
Ilustração 2. Recursos Geotérmicos e Aproveitamentos de Aquecimento Ambiental.....	5
Ilustração 3. Esquema de funcionamento de uma central geotérmica	7
Ilustração 4. Ciclo esquemático da bomba de calor geotérmica para arrefecimento e aquecimento...8	
Ilustração 5. Esquema de aproveitamento de energia geotérmica de baixa entalpia por captação horizontal, com bomba de calor.....	9
Ilustração 8. Esquema de aproveitamento de energia geotérmica de baixa entalpia por captação em lençol freático, com bomba de calor.	11
Ilustração 9. Esquema de funcionamento do chiller de compressão.....	13
Ilustração 10. Esquema de funcionamento do chiller de absorção	14
Ilustração 11. Esquema de funcionamento do chiller de adsorção	16
Ilustração 12. Esquema do processo de funcionamento do chiller adsorção.....	17
Ilustração 13. Sistema de Trigeriação Solar (SOL3).....	18
Ilustração 14. Aplicação de máquinas de adsorção em Padarias.....	19
Ilustração 15. Modelo componente do elemento de arrefecimento revestidos por zeólito do chiller de adsorção InvenSor	20
Ilustração 16. Circuitos do chiller de adsorção.	21
Ilustração 17. Modelo LTC10 da INVENSOR de chiller de adsorção.....	22
Ilustração 18. Instalação típica de ar condicionado.....	23
Ilustração 19. Fig. Capacidade de refrigeração do chiller em função da temperatura de entrada da água.	25
Ilustração 20. Tarifas e preços médios do KWh da EDP	27
Ilustração 21. Tabela de preço em função das horas de funcionamento	27
Ilustração 22. Análise do tempo de retorno do investimento.....	30
Ilustração 23. Análise do tempo de retorno de investimento funcionando 24h.....	31

Capítulo 1 - Introdução

O calor é uma forma de energia e a “Energia Geotérmica” é a energia armazenada sob a forma de calor debaixo da superfície sólida da Terra [1]. Foi por volta do século XVI e XVII quando as primeiras minas foram escavadas a algumas centenas de metros de profundidade que se deduziu a partir de sensações físicas simples que a temperatura da Terra aumentava com a profundidade.

A quantidade de energia que o planeta Terra armazena sob a forma de calor no seu centro (núcleo) tem-se mantido elevadíssima ao longo dos tempos graças à radioatividade, pois esta energia é resultado da energia que ficou acumulada aquando da formação do planeta e do decaimento radiativo de alguns elementos constituintes do interior da terra, como por exemplo, Urânio (U), Tório (Th), Potássio (K). A radiação solar que atinge a superfície terrestre é o outro fator responsável pelo calor da terra, a radiação é absorvida em todas as gamas do espectro solar que atingem a superfície e armazenada sob a forma de calor, na ausência de radiação solar o solo irradia a energia armazenada na gama do infravermelho para a atmosfera, este fenómeno permite que o solo ao longo do ano tenha variações de temperatura inferiores às da troposfera.

A energia acumulada no interior tem de ser libertada para o exterior e tal fenómeno pode ocorrer sob a forma de vulcanismo, movimento de placas tectónicas, sismologia, que podem dar origem a nascentes termais, fumarolas, geiseres. Quando a energia geotérmica emerge à superfície com uma temperatura entre 50 °C a 150 °C ela pode ser usada sem conversão energética (a água é usada diretamente da fonte) para balneoterapia, aquecimento ambiente, piscicultura,... Quando a energia geotérmica emerge com temperatura entre 150 °C e 370 °C pode-se fazer conversão de calor em eletricidade para se usar nos mais diversos fins (domésticos, indústrias,...)

A forma mais racional de utilização da energia geotérmica é utilização em cascata, fazendo uso das temperaturas mais baixas progressivamente até cerca de 20 °C, por forma a aproveitar a energia consoante as necessidades.

Cada vez mais as sociedades modernas estão dependentes do bem escasso que é a energia, por forma a satisfazer as necessidades atuais sem comprometer as necessidades futuras. É necessário pensar em implementar sistemas que sejam energeticamente eficientes, não libertem gases com efeito de estufa para a atmosfera e

utilizem principalmente fontes de energia renováveis. É neste quadro que se insere este projeto.

Objectivos

Como forma a promover um desenvolvimento sustentável procurou-se estudar implementações de sistemas de climatização (aquecimento e arrefecimento) que fazem uso preferencial de energia geotérmica e solar, ou então, um complemento destas duas.

O presente trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade de climatização (arrefecimento) com energia geotérmica, mais concretamente com a instalação da máquina de adsorção INVENSOR LTC10, para substituição dos equipamentos de climatização convencionais instalados na estância termal Balneário Rainha D. Amélia das termas de S. Pedro do Sul.

O projeto de estudo realizado pretende analisar e comparar, quer do ponto de vista de consumo energético, quer do ponto de vista económico os sistemas convencionais usados para climatização em contraponto com sistemas de adsorção de baixa temperatura de ativação.

Este projeto usa como exemplo as máquinas de adsorção da INVENSOR, sendo os cálculos realizados segundo as características técnicas fornecidas pelo fabricante deste equipamento, dados da instalação existente e ainda características técnicas fornecidas por catálogos de outros equipamentos como chillers de compressão (LG) e torres de arrefecimento (SORTECH).

Capítulo 2 - Geotermia

A geotermia é o conjunto das ciências e técnicas que estudam e exploram o calor terrestre. A geotermia de baixa entalpia é usada para climatização de espaços, quer para aquecimento de forma direta quer para arrefecimento de forma indireta, por exemplo com recurso a tecnologias de adsorção térmica.

À medida que a profundidade aumenta a temperatura também aumenta, verificando-se que em termos médios a temperatura aumenta 2,5 a 3^oC por 100m de profundidade [2]. Porém devido á heterogeneidade da crosta terrestre existem zonas anómalas, isto é, zonas onde as variações da temperatura com a profundidade (gradiente) são inferiores ou superiores aos valores médios.

A água que se infiltra no subsolo através de rochas porosas e falhas pode ficar retida entre camadas impermeáveis, formando-se assim, um reservatório cujas temperaturas podem atingir os 400^oC. O vapor de água gerado pode assim atingir a superfície de forma natural ou de forma artificial através de perfurações.

A energia proveniente do calor interno do interior da Terra pode ser recuperada diretamente de um fluido gasoso ou líquido ou, caso não exista fluido, através de injeção de água em maciços rochosos profundos.

A heterogeneidade da constituição interior do planeta Terra proporciona que umas zonas sejam muito mais favoráveis que outras para exploração de energia geotérmica, quer em termos de utilizações que podem ser atribuídas, quer em termos de custos de exploração.

Dependendo das temperaturas que se obtêm, pode-se dividir a geotermia em dois tipos [2]:

- Geotermia de baixa entalpia (baixa temperatura), se a temperatura do fluido é inferior a 150^oC;

- Geotermia de alta entalpia (alta temperatura), se a temperatura do fluido é superior a 150^oC.

Geralmente as zonas de maior gradiente, são de interesse prioritário para a geotermia, como é o caso das zonas afetadas por vulcanismo. Porém as zonas de gradiente normal ou mesmo inferior ao normal podem também ser interessantes com base numa análise custo-benefício.

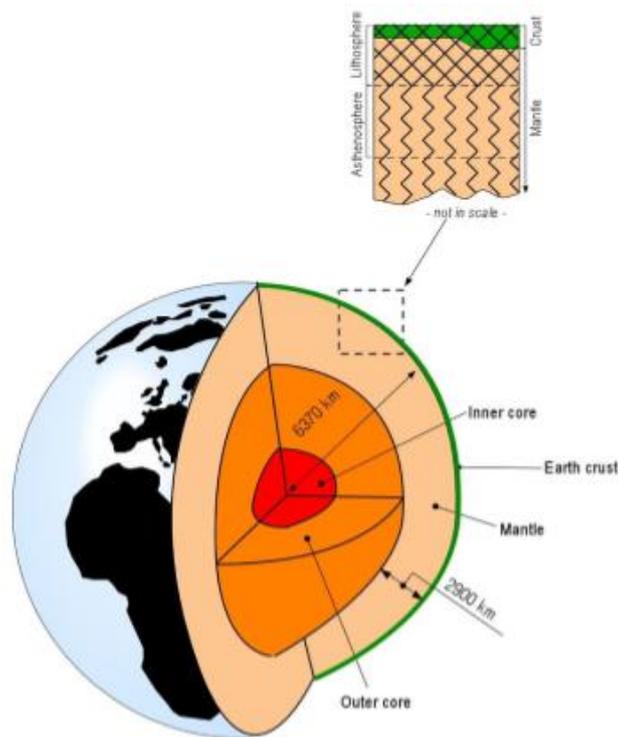


Ilustração 1. Representação esquemática do interior do planeta Terra

Fonte: International Geothermal Association web site

Geotermia de Baixa Entalpia

A ocorrência de geotermia de baixa entalpia está relacionada com a existência de acidentes tectónicos, como por exemplo falhas na crosta terrestre. Encontra-se associada a águas termais de origem subterrânea com uma temperatura superior em, pelo menos 4^oC, à temperatura média do ar dessa região. Em Portugal as águas termais nunca excedem os 80^oC e as suas temperaturas mais comuns variam entre os 20^oC e os 40^oC.

O aproveitamento da geotermia de baixa entalpia é feito em estâncias termais, quer para utilizações terapêuticas quer para aquecimento de piscinas e águas de hotéis. Pode, ainda, ser aplicada na agricultura, na piscicultura e em alguns processos industriais.

Para se explorar a geotermia de baixa entalpia para fins energéticos é necessário fazer um Teste de Resposta Térmica (TRT), para avaliar as características chave do comportamento térmico de um terreno, por forma a conseguir dimensionar com segurança um sistema geotérmico. As características principais determinadas são a condutividade, a resistência térmica no interior do furo de sondagem e as condições térmicas do terreno antes da alteração térmica causada pela utilização geotérmica do

subsolo. O TRT ditará ainda qual a profundidade ótima de perfuração e fornecer dados sobre o custo real de execução.

Como bom exemplo de aproveitamento de geotermia de baixa entalpia em Portugal temos nomeadamente, Chaves, S. Pedro do Sul, Longroiva, Lisboa e Alcafache. Dos exemplos anteriormente referidos alguns fazem aproveitamento termais em projetos dinamizados pelos municípios e entidades hospitalares, contudo Chaves, Longroiva e Alcafache também exploram energia geotérmica para aquecimento urbano.

Nº cadastro	Designação	Concelho	Quimismo	T à cabeça (°C)	Utilização do Fluido Geotérmico*
HM-9	Caldas de Chaves	Chaves	Bicarbonatada Gasocarbónica	76	Aquecimento ambiental e Produção de água quente em: Hotel Aqua Flaviae / Piscina Municipal / Balneário Termal *com recurso a permutador
HM-33	Termas de São Pedro do Sul	São Pedro do Sul	Sulfúrea	67	Aquecimento ambiental em: Hotel do Parque / Hotel Vila do Banho / Balneário Rainha D. Amélia / Balneário D. Afonso Henriques Estufas - Pólo do Vau Produção de água quente: Hotel do Parque / Hotel Vila do Banho *com recurso a permutador em todas as infraestruturas, exceção : Estufas do Pólo do Vau, com utilização é direta.
HM-49	Banho de Alcafache	Viseu	Sulfúrea	51	Aquecimento ambiental do Balneário Termal
HM-53	Longroiva	Meda	Sulfúrea	47	Aquecimento ambiental do Balneário Termal e da Piscina e corredor de marcha. *com recurso a permutador

Ilustração 2. Recursos Geotérmicos e Aproveitamentos de Aquecimento Ambiental

Fonte: http://www2.adene.pt/ptpt/Destaques/Documents/ApresPPGS/S1_2_CarlaLourenco_DGEG.pdf

Geotermia de Alta Entalpia

A ocorrência de geotermia de alta entalpia está relacionada com a atividade vulcânica, que poderá ser utilizada para produção de eletricidade e posterior aproveitamento térmico. Como exemplo do aproveitamento geotérmico de alta entalpia em Portugal temos a ilha de S. Miguel nos Açores. Em S. Miguel existe mais que uma central geotérmica de alta entalpia para a produção de energia elétrica. Os Açores são uma das regiões onde a libertação do calor da Terra é mais intenso, por coincidir com zonas de fronteiras das placas tectónicas do globo.

O aproveitamento de alta entalpia está condicionado à verificação da coexistência das seguintes condições, que configuram um reservatório geotérmico:

i) a existência de uma fonte de calor que poderá ser um corpo magmático ou rochas quentes;

ii) um fluido transportador de calor, como a água, dispondo de adequada recarga face à extração;

iii) uma sequência de rochas permeáveis, que constitui o reservatório;

iv) uma formação geológica impermeável e isolante de cobertura, resultante da atividade hidrotermal do geofluido, que concentra e retém toda a energia contida no reservatório.

Uma vez identificado um reservatório geotérmico no âmbito das atividades de prospeção e pesquisa, executam-se poços de produção com profundidade adequada para interceptarem as formações rochosas onde existem água e vapor geotérmico a elevada temperatura e pressão. Estes fluidos geotérmicos são captados e conduzidos para a superfície visando o aproveitamento do calor em centrais geotérmicas para a produção de eletricidade ou a utilização direta em processos industriais ou domésticos.

O aproveitamento do calor implica a necessidade de execução de infraestruturas de captação, os poços de produção e a construção de centrais onde se procede às trocas de calor e à transformação de calor em energia elétrica.

Os furos geotérmicos são sondagens construídas na crosta terrestre através de perfurações concêntricas e respetivos revestimentos em aço de forma a atravessarem as formações geológicas onde reside o aquífero geotérmico, podendo atingir vários quilómetros de profundidade. Um poço geotérmico, de modo simplificado, é constituído por dois segmentos, um superficial revestido com uma tubagem cega cimentada contra as formações e outro profundo constituído por tubagem perfurada, solta das formações, formando um ecrã drenante do geofluido a conduzir para a superfície. O troço superficial é encimado por um conjunto de válvulas que permitem a operação e o controlo da extração dos fluidos geotérmicos.

No caso da produção de eletricidade são genericamente usados dois tipos de tecnologias: uma tradicional com recurso a turbogeradores convencionais, onde se expande diretamente o vapor geotérmico, ou, em alternativa, a tecnologia binária que usa um fluido intermédio que é aquecido pelo vapor e água geotérmicos, cujo vapor sobreaquecido do fluido de trabalho é expandido no turbogerador, repetindo-se o ciclo em circuito fechado.

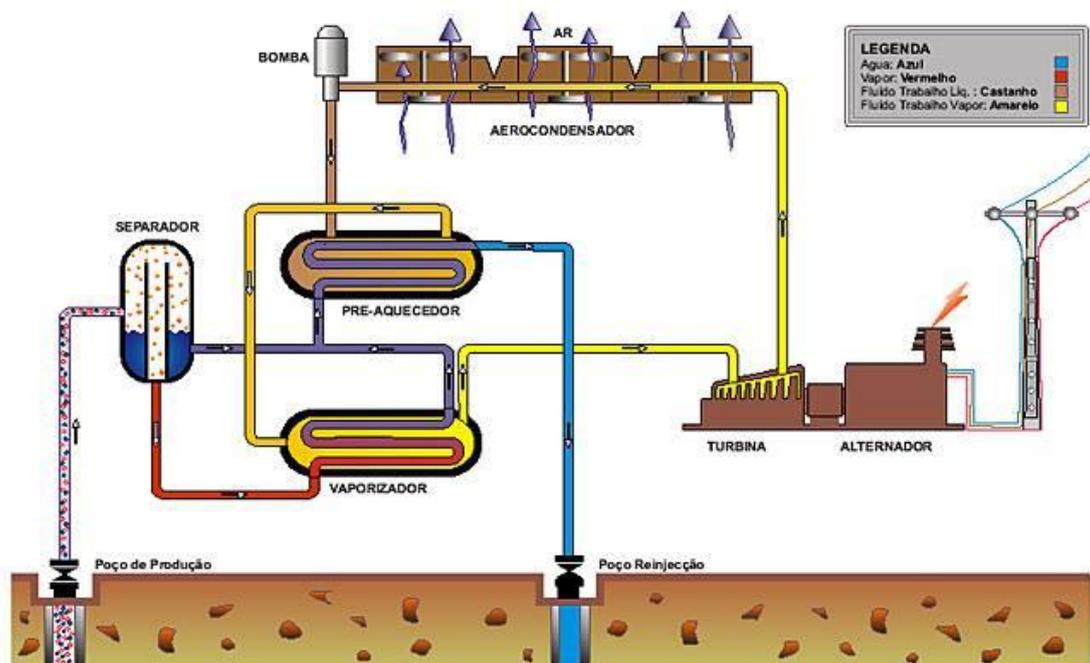


Ilustração 3. Esquema de funcionamento de uma central geotérmica

Fonte: http://siaram.azores.gov.pt/energia/geotermia/_texto.html

Energia Geotérmica Aplicada a Sistemas de Climatização

A fonte de energia geotérmica pode ser considerada constante, inesgotável, gratuita e sustentável ao longo do tempo e isto torna-a numa fonte de energia muito interessante, tanto a pequena como grande escala, residindo o seu maior problema nos elevados custos iniciais, quer associados a perfurações do solo para captações quer associado aos equipamentos que fazem a conversão desta energia.

A energia geotérmica quando aplicada a sistemas de climatização tanto pode servir para aquecimento como arrefecimento ou ambos os processos, dependendo a profundidade a que se vai explorar e do tipo de tecnologia que se pretende implementar. Por forma a otimizar um sistema de geotermia, este pode estar acoplado a painéis solares termofotovoltaicos (PVT) que fazem o aquecimento solar complementar do fluido circulante e simultaneamente produção de energia elétrica, ou ainda apenas painéis solares térmicos para otimização da temperatura do fluido circulante.

Os sistemas convencionais de climatização associados a geotermia usam bombas de calor geotérmico para aquecimento, absorvendo o calor contido no solo ou por sua

vez para arrefecimento, cedendo calor ao solo por via de permutadores de calor em ambas as situações. O calor é transferido de um ambiente para outro, através de um fluido frigorífero. As bombas de calor constituem uma solução técnica de aquecimento e arrefecimento económica sendo que pode ser reconhecida como técnica de climatização renovável, quando combinada com sistemas renováveis.

No processo de aquecimento e arrefecimento por bombas de calor há inversão no sentido dos fluidos, como se pode observar na seguinte ilustração.

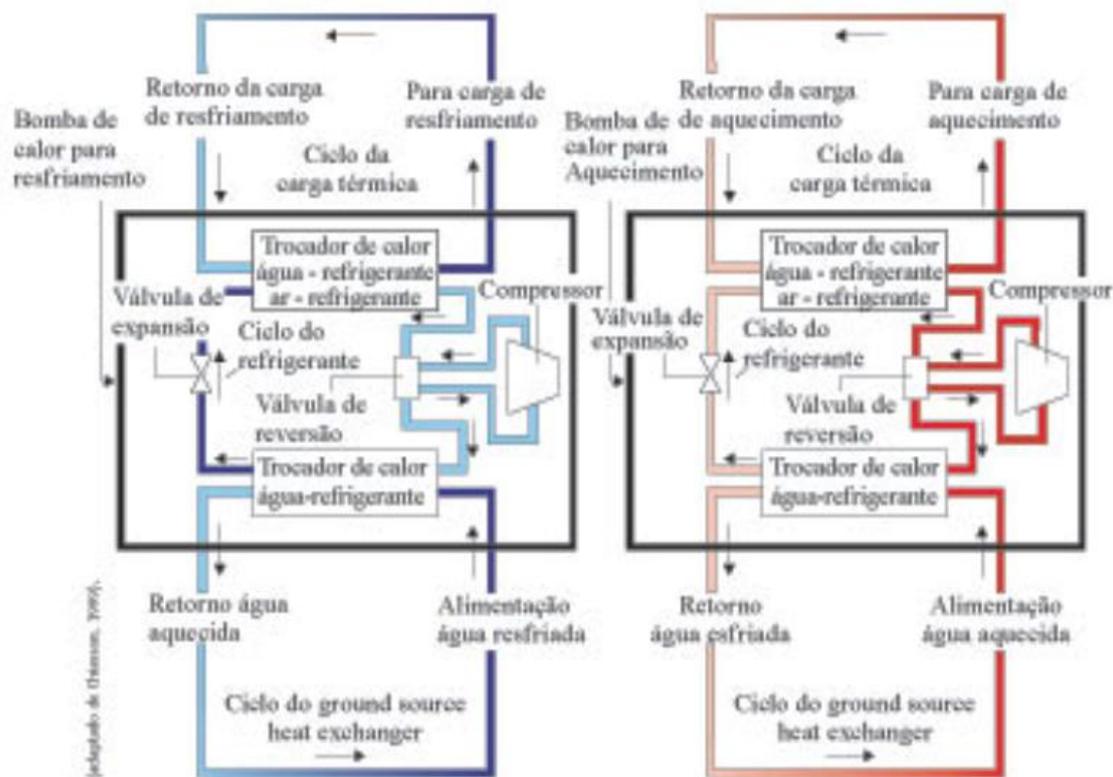


Ilustração 4. Ciclo esquemático da bomba de calor geotérmica para arrefecimento e aquecimento.

Fonte: <http://www.engenhariaarquitectura.com.br/noticias/883/Resfriamento-e-aquecimento-geotermico.aspx>

No uso das máquinas térmicas de baixa entalpia para climatização, baseadas em geotermia, é necessário fazer perfurações para captações no solo que podem ser:

Captação horizontal

Na captação horizontal os tubos são colocados horizontalmente à superfície do terreno a 60 cm de profundidade consoante a orientação geográfica. Os tubos que são introduzidos no terreno são tubos sob pressão em polietileno ou cobre revestidos de

PVC nos quais circula água glicolada ou fluido refrigerante. No sistema horizontal é uma superfície de terreno de captação de 1,5 a 2 vezes a superfície que se pretende climatizar.

A natureza do solo e a exposição do terreno tem pouca influência no sistema e o este também não provoca nenhuma modificação do terreno, pois é possível jardinar, colocar relvado e arbustos na superfície do mesmo bem como árvores e revestimento do solo num raio de 2m de distância da zona de captação.

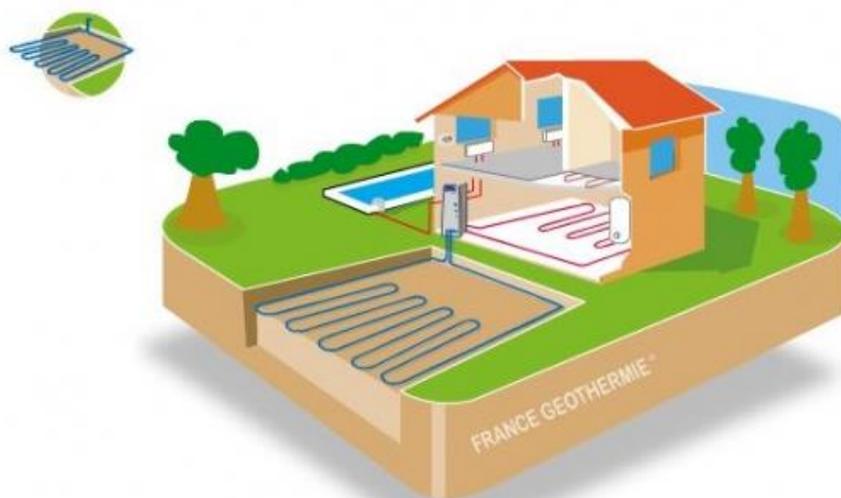


Ilustração 5. Esquema de aproveitamento de energia geotérmica de baixa entalpia por captação horizontal, com bomba de calor.

Fonte: <http://www.geotermiadeportugal.pt/>

-Captação vertical

Na captação vertical as sondas são colocadas em um ou mais furos de 80 a 120m de profundidade. Os tubos das sondas são tubos sob pressão em polietileno nos quais circula água glicolada (30% glicol). O princípio deste tipo de captação consiste em recuperar o calor em profundidade com uma sonda geotérmica. Este sistema permite climatizar um espaço explorando ao mínimo a superfície do terreno envolvente.



Ilustração 6. Esquema de aproveitamento de energia geotérmica de baixa entalpia por captação vertical, com bomba de calor.

Fonte: <http://www.geotermiadeportugal.pt/>

Este sistema é mais eficiente que a captação horizontal, mas tem um custo mais elevado. As sondas geotérmicas após serem introduzidas no solo sofrem um revestimento com bentonite para aumentar as trocas de calor.

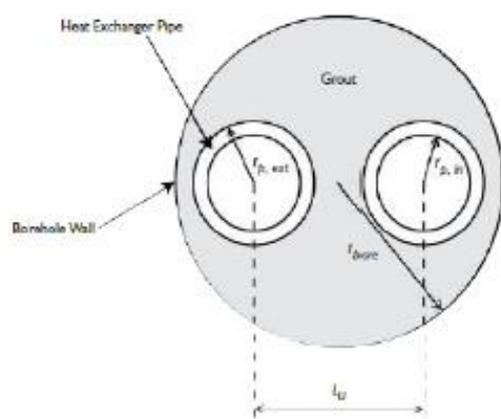


Ilustração 7. Secção de corte de uma sonda geotérmica vertical

Fonte:

http://www.ordemengenheiros.pt/fotos/dossier_artigo/gabrielaferreira_1510703361545ba7e58eae_f.pdf

-Captação em lençol freático

Na captação em lençol freático o calor não se obtém do solo como acontece na captação vertical ou horizontal; neste sistema o circuito capta o calor da água de um lençol freático com um furo geralmente de profundidade compreendida entre 8 a 50m, dependendo da região. A água do lençol freático mantém uma temperatura geralmente constante todo ano (de 9 °C a 12 °C dependendo da região).

Este sistema bombeia a água de montante do lençol freático e liberta-a a jusante do mesmo, por forma a não alterar as características naturais do terreno.



Ilustração 6. Esquema de aproveitamento de energia geotérmica de baixa entalpia por captação em lençol freático, com bomba de calor.

Fonte: <http://www.geotermiadeportugal.pt/>

Nas captações verticais as perfurações por vezes podem atingir algumas centenas de metros de profundidade, com custo inerentes à instalação, bem como no caso das captações horizontais. Dependendo do tamanho do sistema a climatizar e das características da região pode ser necessário cerca de 2 vezes área a climatizar ou em zonas menos favoráveis um pouco mais, o que implica maior dimensão dos permutadores de calor introduzidos no solo. Nas captações em lençol freático é necessário autorizações e assegurar que não irá haver carência de água para que o sistema funcione corretamente.

Estes sistemas de climatização podem funcionar com ventilo-convectores, radiadores e piso radiante. A captação vertical e a captação em lençol freático predominam sobre a captação horizontal na perspectiva em que o terreno usado para a captação recorre a menores áreas de instalação.

A climatização com bombas de calor geotérmico, devido á ausência de combustão, é um sistema limpo e na parte da climatização, como funciona num circuito fechado, não há necessidade de substituir o fluido (gás ou líquido). Não provoca alterações no ambiente, nem polui, tem uma emissão de CO₂ para a atmosfera quase inexistente e baixo consumo energético quando comparado com outros sistemas.

Em conclusão, as principais vantagens da energia geotérmica aplicada a sistemas de climatização são:

- É um sistema versátil;
- Sem manutenção;
- Amigo do ambiente.

e as principais desvantagens

- Necessita estudo prévio do terreno;
- Elevado custo de perfuração.

Capítulo 3 - Tecnologias de Climatização

Existem vários tipos de tecnologias para sistemas de climatização, sendo a semelhança entre eles a sua finalidade de produção de frio ou calor e a sua diferença a fonte de energia principal usada para este fim. O equipamento central de qualquer tecnologia para arrefecimento é conhecido por chiller.

Um chiller é uma máquina que tem como função arrefecer água ou outro líquido em diferentes tipos de aplicações, através de um ciclo termodinâmico. Os dois tipos de chillers mais comuns são o chiller de compressão e o chiller de absorção, mas para além destes há o chiller de adsorção, que embora menos conhecido começa agora a ser tema de estudo em tecnologias de climatização, quando há uma fonte de calor disponível geralmente não totalmente aproveitada.

Chiller de Compressão

Os chillers de compressão têm com base um compressor termoquímico e utilizam um compressor mecânico, usualmente acionado por um motor elétrico, por forma a aumentar a pressão em determinada fase do ciclo termodinâmico do sistema.

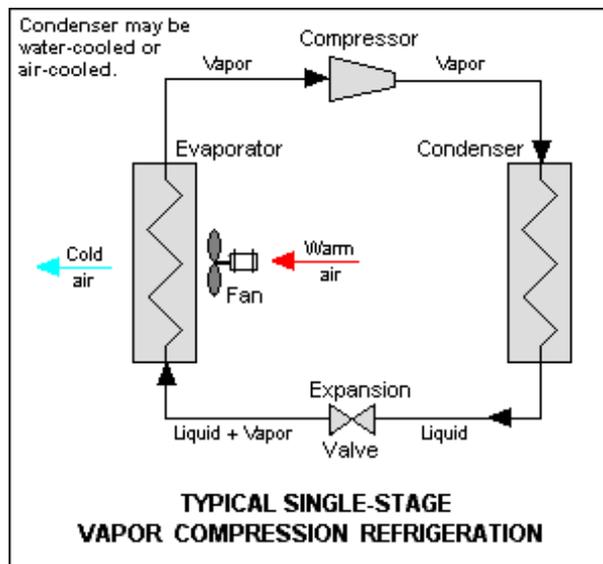


Ilustração 7. Esquema de funcionamento do chiller de compressão

Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Refrigera%C3%A7%C3%A3o>

As vantagens e desvantagens do chiller de compressão são:

Vantagens:

-É um sistema autónomo;

-Não necessita de uma fonte de energia sob a forma de calor para o seu funcionamento.

Desvantagens:

- Elevado consumo energético;
- Elevado custo de manutenção/operação.

Chillers de Absorção

Os chillers de absorção permitem produzir água fria (gelada) a partir de uma fonte de calor, utilizando para tal uma solução de um sal (ex. brometo de lítio) num processo termoquímico de absorção. Os chillers de absorção por sua vez dividem-se em dois tipos:

- Chillers de absorção de queima direta: nestes sistemas o calor necessário ao processo é obtido queimando diretamente um combustível, tipicamente gás natural;
- Chillers de absorção de queima indireta: nestes sistemas o calor necessário é fornecido na forma de vapor de baixa pressão, água quente ou de um processo de purga quente.

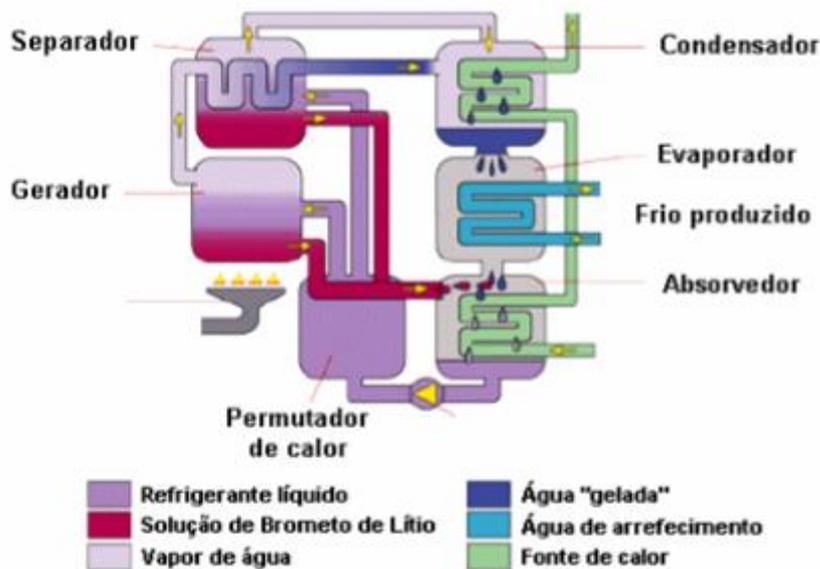


Ilustração 8. Esquema de funcionamento do chiller de absorção

Fonte: Tecnologias de Micro-geração e Sistemas Periféricos, Parte II (tecnologias de aproveitamento de calor).

As vantagens e desvantagens do chiller de absorção são:

Vantagens:

-Apresenta uma vida útil longa, geralmente superior a 20 anos e exige pouca manutenção.

-Não utiliza nenhuma substância nociva para a camada de ozono, como por exemplo os clorofluorcarbonetos, utilizados no chiller de compressão.

-Baixo consumo elétrico, cerca de 10% do consumo do chiller de compressão elétrico.

-Os chillers de absorção de queima indireta apresentam também a versatilidade de funcionar com uma ampla gama de fontes quentes, vapor de baixa pressão, água quente, energia solar, energia geotérmica, e processo de purga quente.

Desvantagens:

.-Baixo COP (*coefficient of performance* ou eficiência energética do sistema) quando comparado com os chillers de compressão, sendo que o chiller de absorção tem COP aproximado de 1,1 e o chiller de compressão tem COP aproximado de 6,0.

-Investimento inicial muito superior (entre 1,5 a 2,5 vezes mais caro).

Chiller de Adsorção

Um chiller de adsorção é uma instalação térmica que converte calor em frio utilizando como fonte calor disponível, que pode ser calor geotérmico, solar ou resultante de um processo.

Adsorção significa o acréscimo de átomos ou moléculas na superfície de objetos sólidos do qual resulta acumulação de uma substância gasosa ou dissolvida na superfície de um corpo, tipicamente uma superfície constituída por um material poroso. Quando as moléculas da substância são fixadas libertam energia. A adsorção é um processo exotérmico e a diferença entre a adsorção e absorção reside no facto de que, neste ultimo processo o fluido mistura-se com o adsorvente para formar uma solução.

Os chillers de adsorção utilizam apenas água como refrigerante e um gel de sílica (SiO₂) ou tecnologia de zeólito como adsorvente. Estes sistemas de adsorção podem funcionar com temperaturas inferiores a 80⁰C, o que os torna mais interessantes que os chiller de absorção em aplicações onde a fonte de calor é de baixa temperatura, como por exemplo integrado com sistemas solares térmicos, com estâncias termais de baixa entalpia ou até mesmo integrado com estes dois sistemas, conjugando a energia solar com a energia geotérmica.

Geralmente a água quente a uma temperatura de 70^o a 90^oC é recomendada para permitir uma adequada desadsorção, mas também é possível utilizar água quente com temperaturas inferiores até cerca de 55^oC, sendo que a temperatura máxima pode ser de 95^oC. Contudo a utilização de temperaturas entre os 55^o e os 70^oC resulta em eficiências bastante reduzidas para o funcionamento do chiller.

Enquanto os chillers de adsorção têm uma melhor eficiência para gamas de temperatura entre os 70^o e os 80^oC, os chillers de absorção têm uma maior eficiência para temperaturas mais elevadas entre os 95^o e os 150^oC. Só pelas gamas de temperatura para melhor eficiência, pode-se logo concluir que o chiller de absorção necessita de mais energia, sob a forma de calor que o chiller de adsorção. Contudo estes dois sistemas podem ser usados em série para utilizar mais calor na água quente.

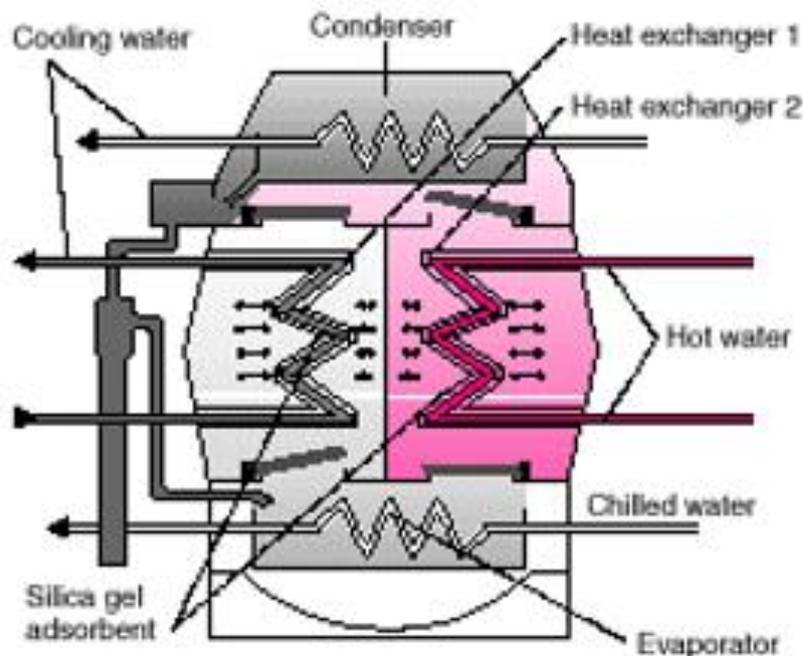


Ilustração 9. Esquema de funcionamento do chiller de adsorção

Fonte: Tecnologias de Micro-geração e Sistemas Periféricos, Parte II (tecnologias de aproveitamento de calor).

ADSORPTION PROCESS

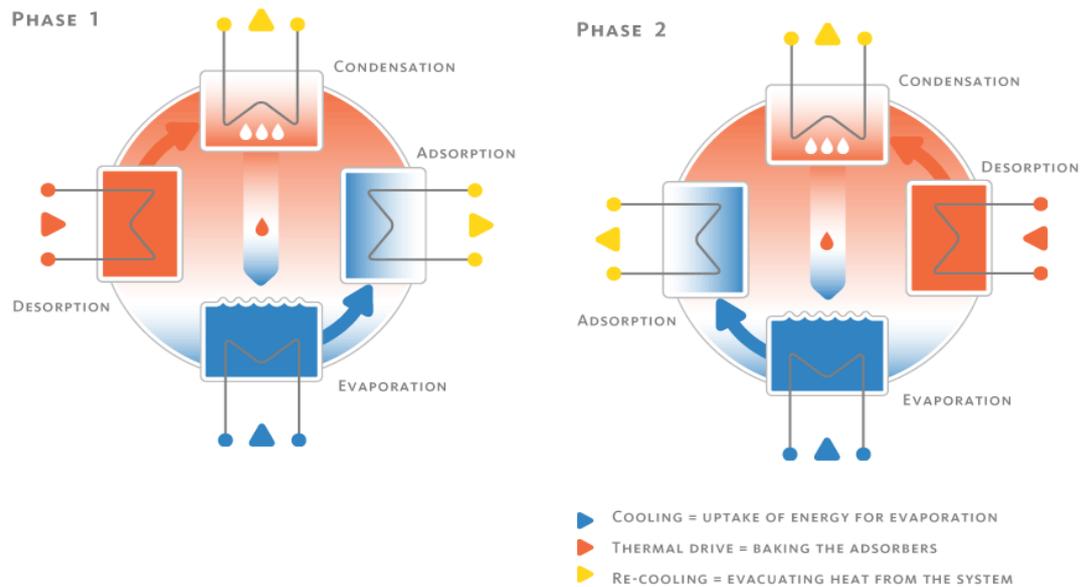


Ilustração 10. Esquema do processo de funcionamento do chiller adsorção.

Fonte: <http://www.invensor.com/en/technology/adsorption-technology.htm>

As vantagens e desvantagens do chiller de adsorção são:

Vantagens:

-O chiller de adsorção pode utilizar-se mesmo com fontes de calor de baixa temperatura, 55 °C (como é o caso da geotermia de baixa entalpia e sistemas solares térmicos) com um COP de 0,5 a 0,6;

-O consumo de eletricidade ronda apenas 6% da capacidade do chiller de compressão;

-Manutenção reduzida e longo tempo de vida útil (\geq a 20 anos).

Desvantagens:

-Elevado custo inicial, pois em média o preço de um chiller de adsorção de sílica gel ronda os 500€/KW de potência (CEEETA, Tecnologias de Aproveitamento de Calor).

Aplicação das tecnologias com Cogeração e Trigeração

Cogeração é a produção combinada de duas formas de energia, calor e eletricidade, sendo o calor usado diretamente apenas para aquecimento. Trigeração é uma cogeração onde parte do calor produzido é usado na produção de frio, utilizando por exemplo um sistema de absorção ou adsorção.

Um bom exemplo de aplicações de trigeriação solar seria aplicar as máquinas de adsorção térmica com PVTs, á semelhança do Projeto SOL3 (apoio QREN, LNEG). SOL3 é o desenvolvimento de um sistema de trigeriação solar (Projeto do QREN 2010/12516) que visa o desenvolvimento de um sistema de trigeriação (eletricidade, calor e frio) solar para fornecimento energético a moradias unifamiliares. O projeto envolve o desenvolvimento de um módulo do tipo híbrido PV/T para produção de eletricidade e de calor para AQS e de climatização por um sistema de compressão.

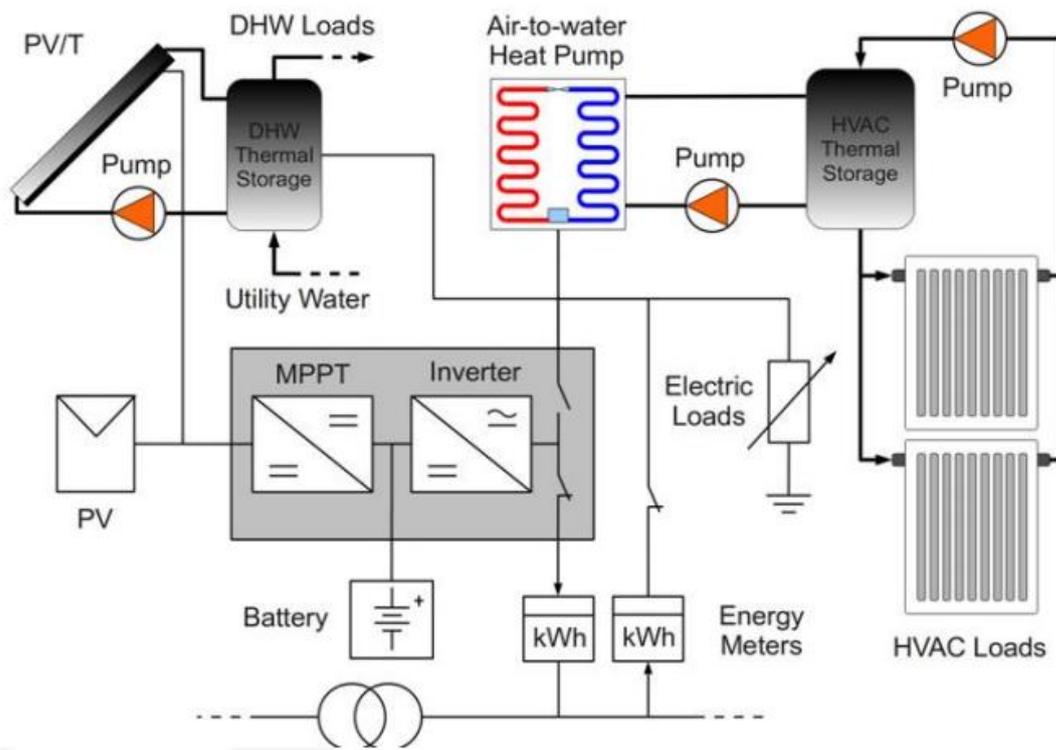


Ilustração 11. Sistema de Trigeriação Solar (SOL3)

Fonte: <http://www.enerandgeo.pt/documentos/5e7e209e-3fd0-4108-ab34-432c32309b07>

Outro exemplo de aplicações de máquinas de adsorção é o exemplo de uma padaria/pastelaria ou de empresas que processem alimentos. Com a aplicação deste tipo de máquinas o calor inutilizado resultante do processo de fabrico dos alimentos é usado para promover o arrefecimento do armazenamento e salas de vendas.



Ilustração 12. Aplicação de máquinas de adsorção em Padarias

Fonte: <http://www.invensor.com/de/einsatzbereiche/beispiel-baeckereien.htm>

Capítulo 4 - Estudo teórico-prático das termas de S. Pedro do Sul

Nas termas de S. Pedro do Sul encontra-se atualmente instalado um sistema de ar condicionado usando um chiller de compressão de água ou vapor convencional, com um consumo significativo de energia elétrica, nomeadamente no que toca ao arrefecimento. A proposta de alternativa seria substituir esse sistema por outro, que utiliza o calor geotérmico para promover o arrefecimento, podendo integrar PVTs com funções de geração de pré-aquecimento e eletricidade, mas neste estudo esta última componente não vai ser estudada. Para além do investimento inicial, a nova proposta não deve aumentar os custos de manutenção e operação, o que é espetável pois os sistemas de refrigeração ativados termicamente requerem muito pouca intervenção e manutenção.

Considerando-se que a temperatura da fonte de calor principal é cerca de 67⁰C, o sistema de refrigeração mais adequado é do tipo de adsorção. Uma vez que operam com temperaturas de baixa condução (55⁰C a 75⁰C) e estão disponíveis no mercado como unidades modulares podem ser combinados para obter as capacidades necessárias.

Numa primeira análise teórica do custo-benefício deste projeto nas termas de S. Pedro do Sul, apenas se irá selecionar o equipamento de adsorção que é necessário instalar para satisfazer as potências atualmente instaladas.

Para esta análise foi selecionada a máquina de adsorção do fabricante InvenSor com tecnologia de Zeólito, por existir uma na ESTG, podendo ser usada como modelo.



Ilustração 13. Modelo componente do elemento de arrefecimento revestidos por zeólito do chiller de adsorção InvenSor

Fonte: <http://www.invensor.com/en/technology/zeolite.htm>

A tecnologia de zeólito começa a ser mais usada neste tipo de máquinas em detrimento da tecnologia de gel de sílica, em virtude de, considerando um ponto de operação de 32⁰C no re-arrefecimento mas as restantes condições iguais, o equipamento com zeólito requer 11,7 KW de energia para proporcionar 7 KW de arrefecimento de condução enquanto a tecnologia de sílica gel requer cerca de 13 KW de potência e produz apenas 6 KW de refrigeração (dados INVENSOR).

Assim o consumo específico de energia por KW de arrefecimento é:

$$\text{Zeólito: } \frac{11,7}{7} = 1,67 \frac{E}{KW} \text{ de arref.}$$

$$\text{Sílica gel: } \frac{13}{6} = 2,17 \frac{E}{KW} \text{ de arref.}$$

sendo a relação dos consumos

$$\frac{2,17}{1,67} = 1,299$$

Isto significa que a tecnologia de sílica gel operando a 32⁰C tem um consumo específico superior, em aproximadamente 30%, ao da tecnologia de zeólito.

O conjunto de módulos de adsorção apropriados vai substituir o chiller de compressão a água existente em operação normal de arrefecimento. É preciso não esquecer que os chillers de adsorção necessitam de instalação de uma torre de arrefecimento para remover o calor resultante do circuito de re-arrefecimento.

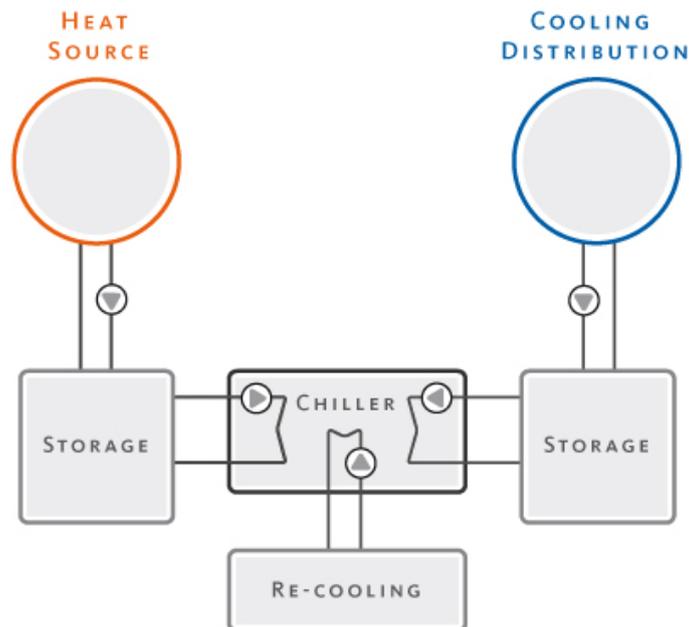


Ilustração 14. Circuitos do chiller de adsorção.

Fonte: <http://www.invensor.com/en/technology/cooling-system.htm>

Neste caso, o chiller base usado vai ser o modelo, Invensor LTC10.



Ilustração 15. Modelo LTC10 da INVENSOR de chiller de adsorção.

Fonte: <http://www.invensor.com/en/products/ltc-low-temperature-chillers.htm>

Descrição das condições base do projeto de estudo

Para o estudo teórico vai analisar-se a substituição dos equipamentos de compressão convencionais por equipamentos de adsorção, nas instalações das salas multiusos (instaladas no piso superior) e sala de climatologia (no R/chão) do Balneário Rainha D. Amélia das termas de S. Pedro do Sul, (segundo a memória descritiva e justificativa do estudo do tratamento térmico das termas de S. Pedro do Sul).

As águas subterrâneas captadas têm um caudal máximo de 16,9 l/s e são capturadas com uma temperatura de 67⁰C, sendo que para funcionamento normal da estância termal é retirado um caudal de 14 l/s e que resta um caudal de 2,9 l/s, ou seja 174 l/h para o funcionamento do equipamento de adsorção (suficiente para a conjunto de máquinas a instalar, uma vez que cada uma necessita 2,9 l/h).

O tratamento ambiente é feito através de Unidades de Tratamento de Ar (UTA's). A UTA é um dispositivo usado para condicionamento de ar, como parte de um sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC). Consiste numa grande “caixa” que contém um ventilador mecânico, os elementos de aquecimento e arrefecimento, elementos de filtragem e atenuadores de ruído e grelhas de admissão e saída.

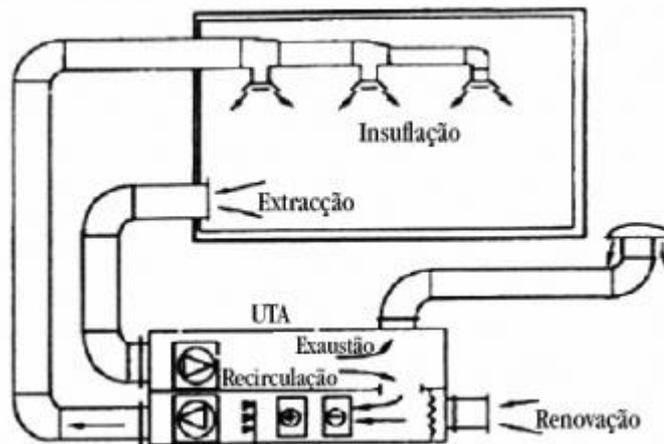


Ilustração 16. Instalação típica de ar condicionado

Fonte: <http://reabilitacaodeedificios.dashofer.pt/?s=modulos&v=capitulo&c=12374>

As UTAs das termas estão dimensionadas para as seguintes condições:

UTA 1

Bateria de Arrefecimento

Potência: 40.000 W

Fluido: água refrigerada

Temperatura água entrada/saída: 7 / 12 °C

Bateria de Aquecimento

Potência: 70.000 W

Fluido (origem): Condensador

Temperatura água entrada/saída: 50/45 °C

Ventilador de Insuflação

Tipo: Centrífugo

Caudal de ar: 15.100 m³/h

Pressão disponível: 25 mm.c.a.

Potência elétrica: 3 KW

UTA 2

Bateria de Arrefecimento

Potência: 20.000 W

Fluido: Água refrigerada

Temperatura água entrada/saída: 7 / 12 °C

Bateria de Aquecimento

Potência: 40.000 W

Fluido (origem): Condensador

Temperatura água entrada/saída: 50/45 °C

Ventilador de Insuflação

Tipo: Centrífugo

Caudal de ar: 7.600 m³/h

Pressão disponível: 20 mm.c.a.

Potência Elétrica: 1.1 KW

Para satisfazer estas necessidades de climatização as características técnicas do chiller instalado são:

Marca: CIAT

Modelo: RZT800 1

Potência: 25 HP = 18,64 KW

Como o chiller que se encontra lá instalado não é recente e já não é fabricado, foi impossível obter a ficha técnica do mesmo, pelo que para se proceder ao estudo considerou-se que este teria em um COP de arrefecimento de 3,3 (valor médio aceitável que justifica a potência de arrefecimento de 60 KW e tendo em conta máquinas similares de outros fabricantes (LG)).

Assim sendo, tem-se que:

$$COP = \frac{\text{Potência de Arrefecimento}}{\text{Potência Elétrica}}$$

$$\text{Potência de Arrefecimento} = COP \times \text{Potência Elétrica}$$

$$\text{Potência de Arrefecimento} = 3,3 \times 18,64KW$$

$$\text{Potência de Arrefecimento} = 61,51 KW$$

Atendendo ao valor de potência de arrefecimento do chiller conclui-se que apenas existe um para fazer o arrefecimento das duas unidades de tratamento de ar.

Por sua vez o chiller de adsorção a propor tem as características apresentadas nas tabelas seguintes

Tabela - Características técnicas do chiller de adsorção InvenSor LTC10

Especificações técnicas gerais		
Capacidade refrigeração	KW	4-12
COP máximo	-	0,65
Pressão máxima excessiva	Bar	4
Conexão elétrica	V-Hz	230-50/60
Consumo de Energia Elétrica	W	395

Especificações em condições nominais				
		Circuito Refrigeração	Circuito Refrigerado	Circuito de Operação
COP	-	0,6		
Capacidade	KW	10	26,7	16,7
Temperatura entrada chiller	°C	18	27	72
Temperatura saída chiller	°C	15	31,15	66
Gama de temperatura.	°C	10-25	20-37	45-100
Caudal	l/h	2,900	5,100	2,500
Pressão disponível	mbar	400	400	300

Estas características são apresentadas na forma gráfica na figura seguinte:

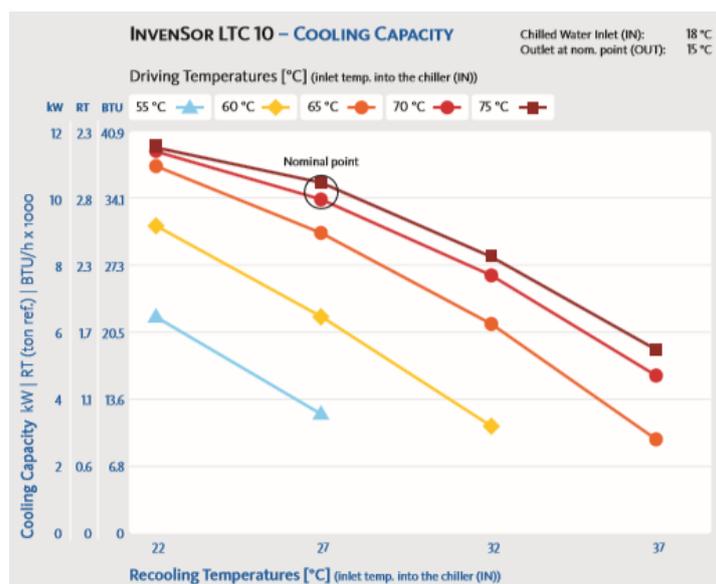


Ilustração 17. Fig. Capacidade de refrigeração do chiller em função da temperatura de entrada da água.

Fonte: http://www.invensor.com/en/pdf/InvenSor_Datasheet_LTC10_EN_Web.pdf

Da análise do gráfico, para uma temperatura de entrada de circuito de 67°C a potência de arrefecimento do chiller é cerca de 9 KW.

Determinação do custo do investimento

De modo a garantir as potências de arrefecimento atualmente estabelecidas, devem ser instaladas na UTA1 e na UTA2 respetivamente:

UTA1 Potência de arrefecimento 40 KW $\rightarrow \frac{40}{9} = 4,44$ Máquinas

UTA2 Potência de arrefecimento 20 KW $\rightarrow \frac{20}{9} = 2,22$ Máquinas

pelo que se vão considerar 7 máquinas a ser instaladas em paralelo e a funcionar em conjunto, de modo a satisfazer a potência de arrefecimento das duas UTAs.

O custo de uma máquina de adsorção térmica em 2011 era de 17.200€ (preço do modelo INVENSOR LTC 09, com sistema de bombas (4.300€) separado da máquina de adsorção (12.900€)). Tendo em conta que os valores do equipamento são de 2011 e o novo modelo já tem as bombas hidráulicas incorporadas, pode considerar-se como um preço estimativo adequado atual, para a aquisição destes equipamentos, um valor total de 120.400€.

As máquinas de adsorção térmica necessitam de uma torre de arrefecimento, um investimento complementar que pode crescer entre 15 a 25% do valor da máquina de adsorção, (segundo dados da Invensor). Neste caso considera-se a possibilidade de implementar apenas uma torre com 80 KW de capacidade de arrefecimento e um consumo de energia de 1,12 KW (Recooler-eRis 20|80 SorTech). Considera-se um valor aleatório de 17.500€ para a aquisição deste equipamento ou outros similares de potências inferiores constituídos por vários módulos. Assim o custo total do investimento será na ordem de $120.400 + 17.500 = 139.900$ €

Análise de consumo do sistema convencional

Para se analisar o consumo dos equipamentos instalados ou que se pretendem instalar é necessário ter conhecimento das potências contratadas, das tarifas e dos horários de funcionamento do Balneário Rainha D. Amélia das termas de S. Pedro do

Sul. Admitindo-se que os valores de potência lá instalados são inferiores a 41,4KVA e superiores a 20,7KVA, a tarifa mais adequada deverá a de Baixa Tensão com opção de Tri-Horário.

Pot. Contratada (kVA)	Simples		Bi-Horário			Tri-Horário		
	Potência (€/Dia)	Energia (€/kWh)	Potência (€/Dia)	Energia (€/kWh)		Potência (€/Dia)	Energia (€/kWh)	
				Fora Vazio	Vazio		Ponta	Cheias
1,15	0,0820	0,1367						
2,3	0,1439							
3,45	0,1530	0,1555	0,1561	0,1853	0,0978	0,1561	0,3047	0,1675
4,6	0,1989		0,2030			0,2030		
5,75	0,2446		0,2496			0,2496		
6,9	0,2903		0,2962			0,2962		
10,35	0,4273		0,4316			0,4360		
13,8	0,5643	0,1570	0,5700	0,1871	0,0976	0,5758	0,3057	0,1704
17,25	0,7013		0,7084			0,7156		
20,7	0,8383		0,8468			0,8554		
27,6						1,3543		
34,5						1,6879	0,2817	0,1415
41,4						2,0214		0,0804

Ilustração 18. Tarifas e preços médios do KWh da EDP

Fonte: http://www.erse.pt/pt/Simuladores/Documents/Pre%C3%A7osRef_BTN.pdf

O horário de funcionamento do Balneário Rainha D. Amélia é de segunda a domingo das 8h às 13h e das 16h às 19h. Como o arrefecimento é efetuado entre os meses de Abril e Setembro, considera-se numa primeira hipótese que há um pico de consumo nos meses de Julho e Agosto e nos restantes quatro meses considera-se 75% do pico de consumo.

Em função da tarifa e do preço médio de KWh da EDP pode obter-se a seguinte tabela de preço em função das horas de funcionamento, para um funcionamento diário de 8h.

	Nº de horas/dia	Preço KWh
Horas de Ponta	2	0,2817
Horas de Cheia	5	0,1415
Horas de Vazio Normal	1	0,0804

Ilustração 19. Tabela de preço em função das horas de funcionamento

O preço médio do KWh será igual a $\frac{2 \times 0,2817 + 5 \times 0,1415 + 1 \times 0,0804}{8} = 0,1689 \text{ €/KWh}$.

No período e Abril a Setembro há 183 dias dos quais apenas 178 se consideram de funcionamento, pois os restantes são contabilizados como feriados. Dos 178 dias,

considera-se que em 118 dias o sistema funciona a 75% e nos outros 60 dias funciona a 100%. Assim sendo, o consumo anual do sistema convencional é dado por:

$$\begin{aligned} \text{Consumo Anual (€)} &= \sum P. \text{ absorv} \times n^{\circ} \text{ dias} \times n^{\circ} \text{ horas} \times \% \text{ func.} \times \text{ preço do KWh} \\ &= 18,64 \times 118 \times 8 \times 0,75 \times 0,1689 + 18,64 \times 60 \times 8 \times 1 \times 0,1689 \\ &= 3.740,18 \text{ €/Ano} \end{aligned}$$

Análise do consumo do equipamento a instalar

Usando o procedimento anterior de cálculo virá para as máquinas de adsorção

$$\begin{aligned} \text{Consumo Anual (€)} &= \sum P. \text{ absorv} \times n^{\circ} \text{ dias} \times n^{\circ} \text{ horas} \times \% \text{ func.} \times \text{ preço do KWh} \\ &= 2,765 \times 118 \times 8 \times 0,75 \times 0,1689 + 2,765 \times 60 \times 8 \times 1 \times 0,1689 \\ &= 554,81 \text{ €/Ano} \end{aligned}$$

e para as torres de arrefecimento virá:

$$\begin{aligned} \text{Consumo Anual (€)} &= \sum P. \text{ absorv} \times n^{\circ} \text{ dias} \times n^{\circ} \text{ horas} \times \% \text{ func.} \times \text{ preço do KWh} \\ &= 1,12 \times 118 \times 8 \times 0,75 \times 0,1689 + 1,12 \times 60 \times 8 \times 1 \times 0,1689 \\ &= 224,73 \text{ €/Ano} \end{aligned}$$

Assim o consumo anual dos equipamentos a instalar é:

$$\text{Consumo total (€)} = 554,81 + 224,73 = 779,54 \text{ €/Ano}$$

Assim da diferença entre consumos anual será:

-na perspetiva económica

$$D. \text{ económica} = 3.740,18 - 779,54 = 2.960,64 \text{ €/Ano}$$

-na perspectiva energética

Energia consumida pelo sistema de compressão:

$$E = 18,64 \times 118 \times 8 \times 0,75 + 18,64 \times 60 \times 8 \times 1$$
$$E = 22.144,32 \text{ KWh/Ano}$$

Energia consumida pelo sistema máquina de adsorção + torre de arrefecimento

$$E = 3,885 \times 118 \times 8 \times 0,75 + 3,885 \times 60 \times 8 \times 1$$
$$E = 4.615,38 \text{ KWh/Ano}$$

A diferença energética anual será:

$$D. \text{ energética} = 22.144,32 - 4.615,38 = 17.528,94 \text{ KWh/Ano}$$

Pelo que a relação de consumos é:

$$R = \frac{22.144,32}{4.615,38} = 4,80$$

Conclui-se assim que o consumo do sistema equiparado ao tradicional é cerca de 4,8 vezes superior ao consumo do sistema de adsorção (sendo este valor similar a dados da Invensor).

Análise retorno do investimento

A análise de retorno do investimento é feita com base no valor que se investe e ao fim de quanto tempo este é reembolsado com a poupança conseguida. Neste caso o tempo de retorno de investimento em anos é dado pela seguinte expressão:

$$(3.740,18 - 779,54)x = 137.900,00$$
$$x = \frac{137.900,00}{(3.740,18 - 779,54)}$$
$$x = 46,58 \text{ anos}$$

O prazo aproximado de 47 anos para retorno de investimento é elevado mas tal fato é por apenas se considerar que o sistema funciona 8h/dia e durante meio ano.

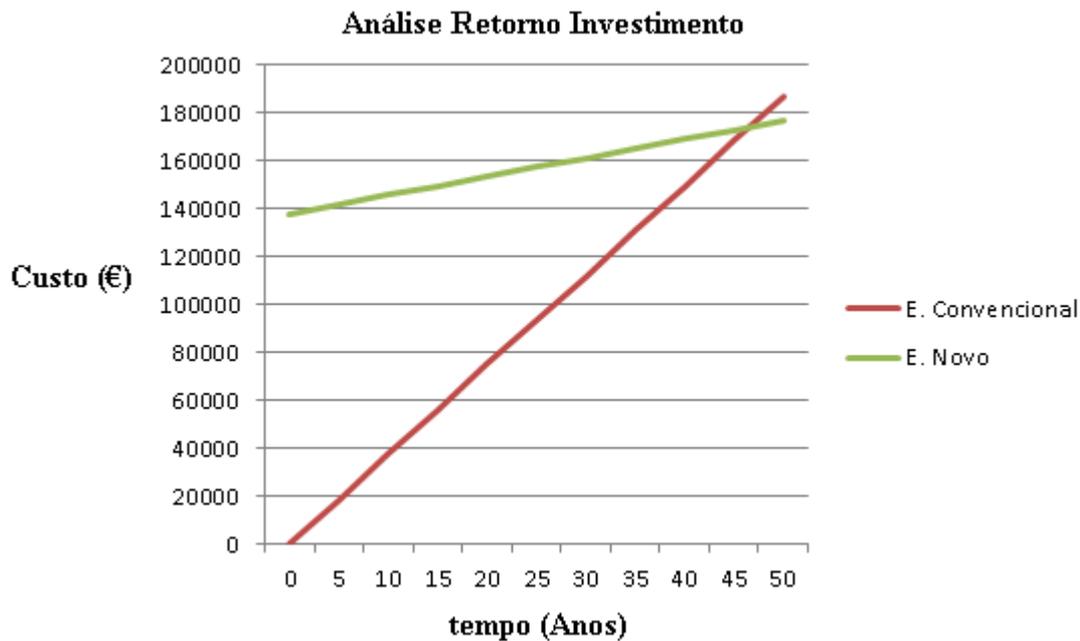


Ilustração 20. Análise do tempo de retorno do investimento.

Análise Retorno de investimento (Funcionamento 24h)

Se admitirmos que o sistema de refrigeração continua ligado mesmo nas horas em que o balneário se encontra fechado (período da noite e hora de almoço), este irá estar sujeito a um tempo de funcionamento de 24h, pelo que o retorno investimento será diferente. Neste caso o custo médio da energia será:

$$\text{Preço médio do KWh} = \frac{4 \times 0,2817 + 11 \times 0,1415 + 9 \times 0,0804}{24} = 0,1479 \text{ €/KWh}$$

Assim sendo, o consumo anual dos sistemas será:

- Máquina de compressão

$$\begin{aligned} \text{Consumo Anual (€)} &= \sum P. \text{ absorv} \times n^{\circ} \text{ dias} \times n^{\circ} \text{ horas} \times \% \text{ func.} \times \text{ preço do KWh} \\ &= 18,64 \times 118 \times 24 \times 0,75 \times 0,1479 + 18,64 \times 60 \times 24 \times 1 \times \\ &0,1479 = 9.825,43 \text{ €/Ano} \end{aligned}$$

- Máquinas de adsorção

$$\begin{aligned} \text{Consumo Anual (€)} &= \sum P. \text{ absorv} \times n^{\circ} \text{ dias} \times n^{\circ} \text{ horas} \times \% \text{ func.} \times \text{ preço do KWh} \\ &= 2,765 \times 118 \times 24 \times 0,75 \times 0,1479 + 2,765 \times 60 \times 24 \times 1 \times 0,1479 \\ &= 1.457,47 \text{ €/Ano} \end{aligned}$$

-Torres de Arrefecimento

Consumo Anual (€)

$$\begin{aligned} &= \sum P. absorv \times n^{\circ} dias \times n^{\circ} horas \times \%func. \times \text{preço do KWh} \\ &= 1,12 \times 118 \times 24 \times 0,75 \times 0,1479 + 1,12 \times 60 \times 24 \times 1 \times 0,1479 \\ &= 607,41\text{€/Ano} \end{aligned}$$

Assim o consumo anual dos equipamentos a instalar é:

$$\text{Consumo total (€)} = 1.457,47 + 607,41 = 2.064,88\text{€/Ano}$$

Neste caso o tempo de retorno de investimento em anos será:

$$\begin{aligned} (9.825,43 - 2.064,88)x &= 137.900,00 \\ x &= \frac{137.900,00}{(9.825,43 - 2.064,88)} \\ x &= 17,77 \text{ anos} \end{aligned}$$

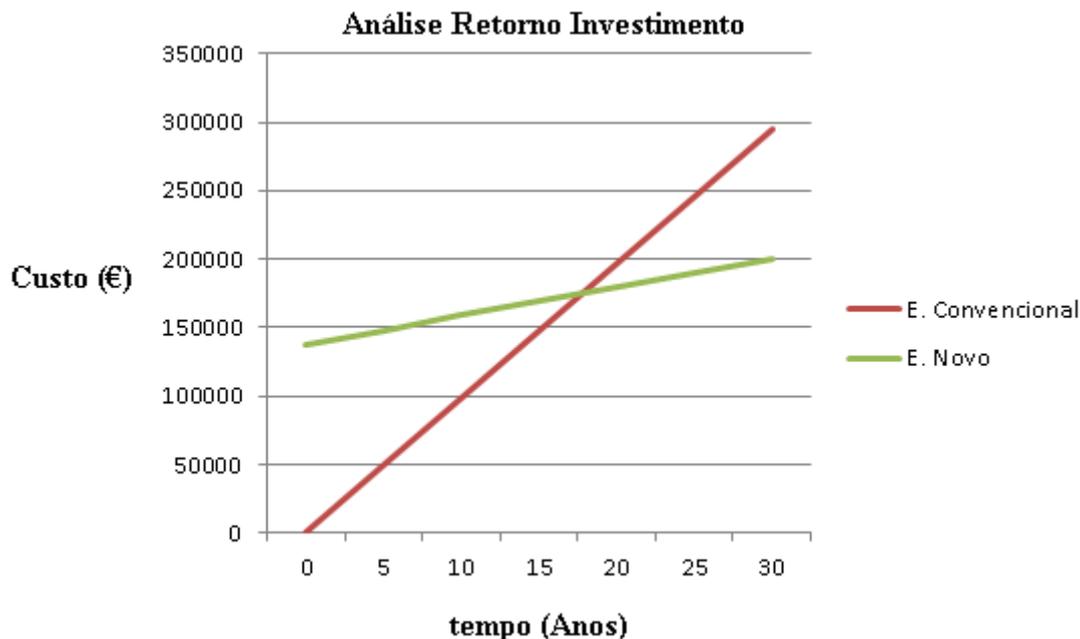


Ilustração 21. Análise do tempo de retorno de investimento funcionando 24h.

Em caso de se proceder a uma substituição dos equipamentos instalados, por estarem obsoletos, pode analisar-se o tempo de retorno de investimento com um custo inicial também associado ao equipamento convencional de compressão, considerando neste caso que os equipamentos convencionais (de compressão) têm um custo de cerca

de 1/3 da máquina de adsorção (comparação tabela de preços LG e o preço da máquina de adsorção da INVENSOR).

Assim pode ser calculado o retorno de investimento para um funcionamento de 24h da seguinte forma:

$$137.900 - 2.064,88x = \frac{137.900}{3} - 9.825,43x$$

$$x = \frac{137.900 - 45.966,66}{9.825,43 - 2.064,88}$$

$$x = 11,85 \text{ Anos}$$

Estes resultados ilustram a importância dos custos de investimento face aos de operação.

Análise com base no financiamento do Horizonte 2020

O Horizonte 2020 é o maior programa de investigação e inovação da União Europeia (UE), incluindo áreas como a eficiência energética. Este deverá conduzir a mais descobertas, avanços e lançamentos mundiais transferindo ideias inovadoras dos laboratórios para o mercado. Perto de 80 mil milhões de euros de financiamento estão disponíveis ao longo de sete anos (2014 a 2020), para além do investimento privado e público nacional que o financiamento disponibilizado pela UE atrairá.

O Horizonte 2020 tem o apoio político dos dirigentes europeus e dos membros do Parlamento Europeu. Estes decidiram que o investimento em investigação e inovação é crucial para o futuro da Europa e assim, colocaram-no no centro da estratégia Europa 2020 para um crescimento inteligente, sustentável e inclusivo. O Horizonte 2020 contribui para este objetivo, conjugando investigação e inovação e assentando em três pilares: excelência científica, liderança industrial e desafios sociais. O que se pretende é garantir que a Europa produza ciência e tecnologia de marca mundial que sejam capazes de sustentar o crescimento económico.

O projeto abordado pode ser alvo de financiamento, com o objetivo de proteger o ambiente e promover a eficiência dos recursos. Pode ser enquadrado no crescimento sustentável, que visa introduzir soluções que possibilitem combinar o cumprimento das metas de redução de emissões com o aumento de competitividade e a redução de custos

energéticos, para contribuir para uma Europa mais eficiente em termos de recursos. Ajuda assim a contribuir para as metas europeias no aumento da eficiência energética em 20% - redução de 6Mtep.

Considerando que este projeto se candidata financiamento Europeu no âmbito da sustentabilidade e eficiência dos recursos e que sendo aprovado terá um financiamento de pelo menos 50% (que poderá ir até 80%) o tempo de retorno de investimento será dado por:

Tempo de funcionamento 8h:

$$x = \frac{137.900 - (137.900 \times 50\%)}{3.740,18 - 779,54}$$
$$x = 23,29Anos$$

Tempo de funcionamento 24h:

$$x = \frac{137.900 - (137.900 \times 50\%)}{9.825,43 - 2.064,88}$$
$$x = 8,89Anos$$

Note-se que estes resultados apenas consideram meio ano de funcionamento das máquinas. Em aplicações considerando todo o ano os períodos de retorno de investimento seriam ainda menores.

Capítulo 5

Conclusões

A geotermia é uma fonte de energia com muitas potencialidades e dependendo da temperatura a que é explorada pode ter diversos fins. No caso da geotermia de alta entalpia apresenta inúmeras vantagens perante a geotermia de baixa entalpia, pois esta quando usada da forma correta (em cascata) tem disponíveis também aplicações com baixas temperaturas.

Em Portugal Continental apenas é possível explorar geotermia de baixa entalpia (baixa temperatura), enquanto que no arquipélago dos Açores a sua forte produção de energia elétrica provém de geotermia de alta entalpia.

Em Portugal os principais usos da energia geotérmica assentam em utilizações em estâncias termais, aquecimento de AQS (águas quentes sanitárias), aquecimento de estufas, edifícios. No caso de alguns pontos ótimos de geotermia, como Chaves e S. Pedro do Sul, devido a terem temperaturas superiores a 65 °C é possível fazer uso desta para climatização (arrefecimento) de espaços, usando novas tecnologias, ficando a exploração dependente de uma análise custo-benefício.

O caso estudado do Balneário Rainha D. Amélia das termas de S. Pedro do Sul apresenta um tempo de retorno de investimento, para substituição dos equipamentos de climatização de compressão convencionais, de 47 anos na pior das situações considerando um tempo de funcionamento diário de 8h do equipamento. Se o tempo de funcionamento diário dos equipamentos de climatização for 24h o tempo para retorno de investimento é 18 anos. No caso de os equipamentos convencionais de climatização estarem obsoletos e terem de ser substituídos considerando-se também o custo de investimento destes o tempo de retorno de investimento é 12 anos. Se o Balneário Rainha D. Amélia for alvo de financiamento do Horizonte 2020, o tempo de retorno para o financiamento mínimo de 50% é de 24 ou 9 anos dependendo se o sistema de climatização funciona 8h ou 24h respetivamente. Face aos tempos de aplicação previstos neste estudo, os resultados obtidos estão em concordância com a informação do fabricante.

Pode concluir-se assim que a utilização de energia geotérmica com máquinas de adsorção para fins de climatização (mais concretamente arrefecimento) é uma opção

bastante viável quando compete com as máquinas convencionais e se trata de implementação de um novo sistema. Quando se pretende fazer a análise da perspectiva de substituir um sistema já existente, é viável do ponto de vista ambiental tanto em redução de libertação de compostos para a atmosfera como em reduzido consumo energético, mas pode não ser economicamente viável dependendo das suas dimensões, tempo de utilização e devido ao elevado custo de investimento inicial, o que implica sempre a realização de uma análise custo-benefício do caso em questão.

Um bom local de estudo de implementação destes sistemas seria as termas de Chaves, pois possuem temperaturas superiores às da estância de S. Pedro do sul e conseguiriam obter um maior rendimento do equipamento de adsorção.

Bibliografia

[1] Diretiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Abril de 2009

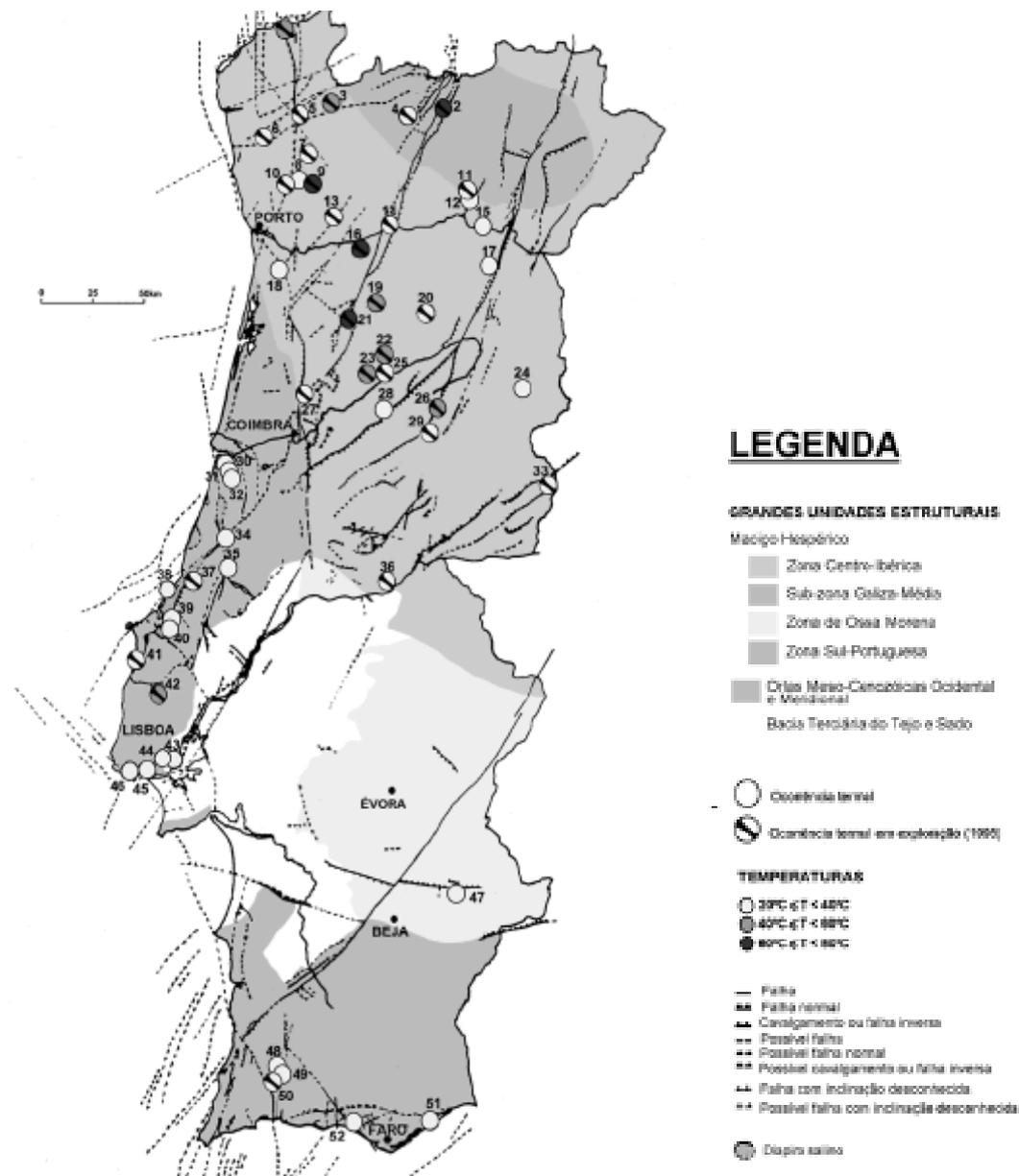
[2] Mary H. Dickson; Mario Fanelli, “Geothermal Energy”, UNESCO, Pub. John Wiley & Sons, 1995

Webgrafia

- <http://www.lneg.pt/download/3833/24.pdf> (17-11-2015)
- <http://www.sortech.de/en/technology/adsorption/> (17-11-2015)
- <https://www.portugal2020.pt/Portal2020> (17-11-2015)
- http://ec.europa.eu/regional_policy/pt/funding/erdf/ (17-11-2015)
- <http://www.aprh.pt/congressoagua98/files/com/076.pdf> (17-11-2015)
- <http://www.planetseed.com/pt-br/relatedarticle/fontes-alternativas-de-energia-geotermica> (17-11-2015)
- <http://siaram.azores.gov.pt/energia/geotermia/texto.html> (17-11-2015)
- <http://www.qren.pt/> (24-11-2015)
- <http://www.lneg.pt/download/5192/pa%202012.pdf> (24-11-2015)
- www.marioloureiro.net/ensino/manuais/EFA/manual1255EFA.doc (17-11-2015)
- <http://www.marioloureiro.net/tecnica/co-trigeracao/Trigeracao.pdf> (24-11-2015)
- <http://energiasalternativas.webnode.com.pt/energias-renovaveis/energia-geotermica/> (24-11-2015)
- http://deca.ubi.pt/arquivo/fg_artigos/textos/Agua_e_o_Ambiente/1999_III_Sessoes_Tecnicas_IGM_AproveitamentoEmCascataSPedroDoSul.pdf (17-11-2015)
- <http://www.lneg.pt/download/3833/24.pdf> (17-11-2015)
- <http://www.aprh.pt/congressoagua98/files/com/076.pdf> (17-11-2015)

Anexo 1

Recursos Geotérmicos em Portugal Continental



Fonte: http://www2.adene.pt/ptpt/Destaques/Documents/ApresPPGS/S1_2_CarlaLourenco_DGEG.pdf

Anexo 2

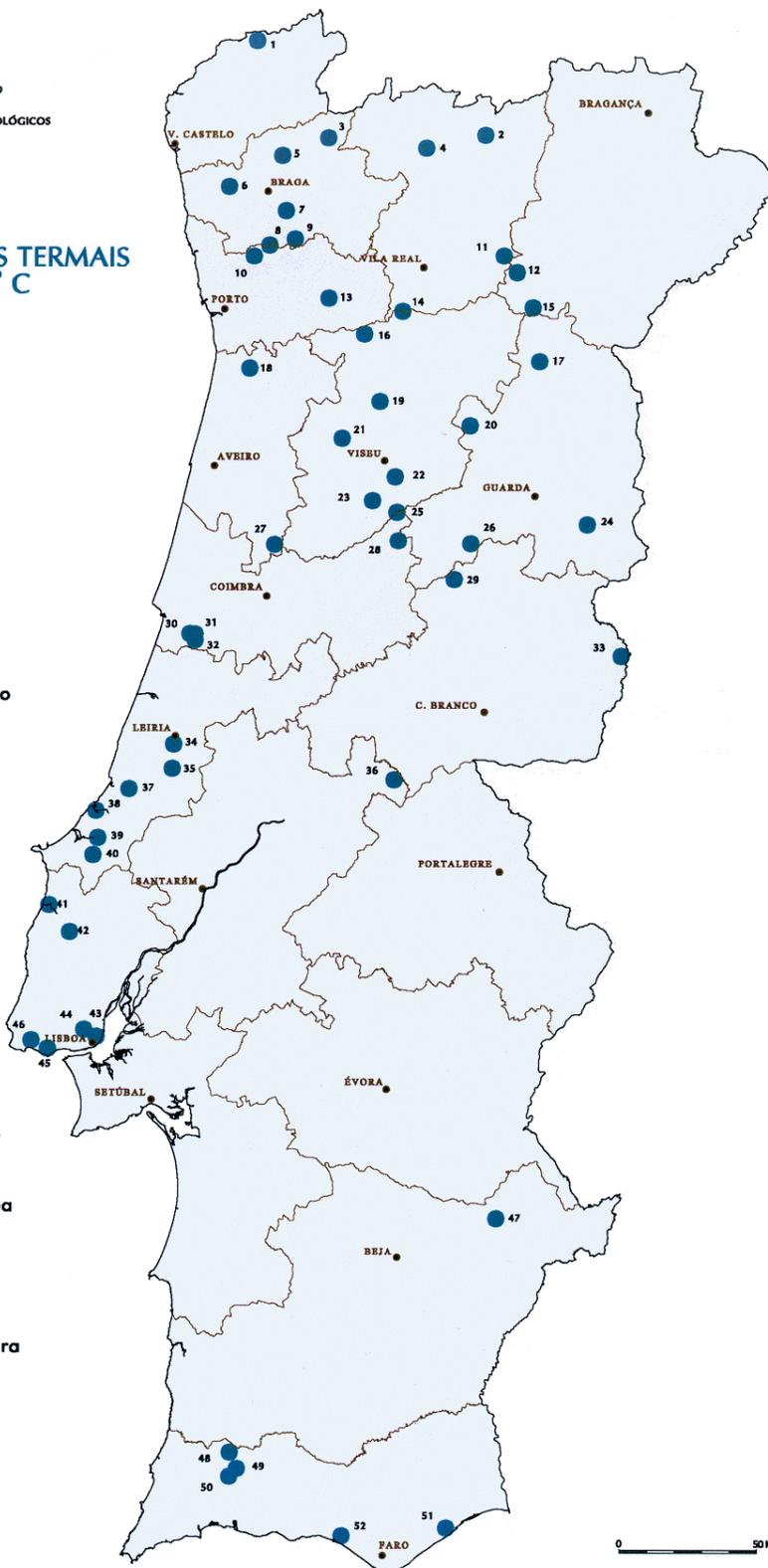
Ocorrências Termiais em Portugal Continental



INSTITUTO GEOLÓGICO E MINEIRO
MINISTÉRIO DA ECONOMIA
DIVISÃO DE RECURSOS HIDROGEOLÓGICOS
E GEOTÉRMICOS

OCORRÊNCIAS TERMAIS T > 20° C

- 1 - Monção
- 2 - Chaves
- 3 - Gerês
- 4 - Carvalho
- 5 - Caldelas
- 6 - Eirogo
- 7 - Taipas
- 8 - S. Miguel das Aves
- 9 - Vizela
- 10 - Caldinhas
- 11 - Carlão
- 12 - São Lourenço
- 13 - Canavezes
- 14 - Moledo
- 15 - Fonte Santa do Seixo
- 16 - Aregos
- 17 - Longroiva
- 18 - S. Jorge
- 19 - Carvalho
- 20 - Cavaca
- 21 - S. Pedro do Sul
- 22 - Alcafache
- 23 - SanGemil
- 24 - Cró
- 25 - Felgueira
- 26 - Manteigas
- 27 - Luso
- 28 - São Paulo
- 29 - Unhais da Serra
- 30 - Amieira
- 31 - Bicanho
- 32 - Azenha
- 33 - Monfortinho
- 34 - Fonte Quente
- 35 - Salgadas
- 36 - Envendos
- 37 - Piedade
- 38 - Salir
- 39 - Caldas da Rainha
- 40 - Arrábidos (Gaeiras)
- 41 - Vimeiro
- 42 - Cucos
- 43 - Alcaçarias
- 44 - Hospital Força Aérea
- 45 - Oeiras - S.S.F.A.
- 46 - Estoril
- 47 - Santa Comba
- 48 - Malhada Quente
- 49 - Alferce
- 50 - Monchique
- 51 - Santo António
- 52 - Fonte Santa Quarteira



Fonte: <http://www.aprh.pt/congressoagua98/files/com/076.pdf>

Anexo 3

Utilizações Possíveis da Energia Geotérmica

Quadro de Lindal: Utilizações Possíveis da Energia Geotérmica (Adaptado de [1])

TEMPERATA (°C)	UTILIZAÇÕES POSSÍVEIS
200	
190	
180	Evaporação de soluções concentradas Refrigeração por ciclo de amoníaco Digestão de polpa de papel
170	Fabrico de água pesada – método do SH2 Produção de energia eléctrica Recozimento de terras de diatomite
160	Secagem de farinha de peixe Secagem de madeiras para construção
150	Preparação de alumina pelo processo Bayer
140	Secagem de produtos agrícolas
	Esterilização de conservas de alimentos
130	Refinação de açúcar Extracção de sais por evaporação
120	Destilação de água doce
110	Secagem de placas de cimento pré-fabricadas
100	Secagem de algas Secagem de lãs Esterilização dos solos das estufas
90	Secagem de peixe
80	Aquecimento dos edifícios por convecção
70	Limite inferior dos ciclos de refrigeração
60	Aquecimento de estufas
50	Usos em estâncias termais
40	Aquecimento dos solos
30	Águas para piscinas (uso directo)
20	Piscicultura (uso directo)

Anexo 4

Características Técnicas de chiller INVENSOR LTC 10

Adsorption Chillers InvenSor LTC 10 vario



Compact solutions for efficient cooling based on thermal drive within a range of low temperatures

The InvenSor LTC 10 vario that requires as little installation and maintenance as any InvenSor product. It is fit for multi-purpose applications as it can be combined with an external hydraulic system. In typical InvenSor fashion, the LTC reaches almost 100 % of its capacity at drive temperatures as low as 65 °C. It is particularly well suited to handle outside temperatures of up to approx. 35 °C. The InvenSor HTC series is the best alternative for higher drive temperatures.

10 kW cooling capacity

The nominal capacity of the LTC 10 vario is 10 kW. It is, however, possible to achieve significantly higher cooling capacities by switching several units in parallel. This procedure reveals another feature of particular benefit: Since its operating point is optimized automatically, the machine will usually work even more efficiently when operating at turndown conditions.

Compact design

Its compact size makes it a breeze to transport and install the LTC 10 vario. To provide for simple and straightforward installation, the connections of the machines are all arranged at the top of the unit. Its enclosure is optimized for transport by lift truck.

Convenient adjustment options, operation as a thermal heat pump

The target temperatures for cold water, the return in the drive circuit and re-cooling can be set and programmed directly on the unit with the help of the multi-language color touch display. Even operation as a thermal heat pump is already implemented and can be easily activated on the machine.



Dimensions of the machine

Length	1,100 mm
Height	1,370 mm
Width	750 mm
Weight LTC 10 vario	380 kg

Position of the connectors

from the ground	1,400 mm
-----------------------	----------

General technical specifications

Chilling capacity	kW	4-12
COP maximum		0.65
Max. overpressure	bar	4
Electrical connection	V~, Hz	230, 50/60
Electrical power consumption (incl. pumps)	W	395

Specifications at nominal conditions

		Cooling circuit	Recooling circuit	Drive circuit
--	--	-----------------	-------------------	---------------

COP		0.6		
Capacity	kW	10	26.7	16.7
Temperature – chiller inlet (IN)	°C	18	27	72
Temperature – chiller outlet (OUT)	°C	15	31.5	66
Temperatures – range	°C	10-25	20-37	45-100
Volume flows	l/h	2,900	5,100	2,500
Available ext. pressure head	mbar	400	400	300

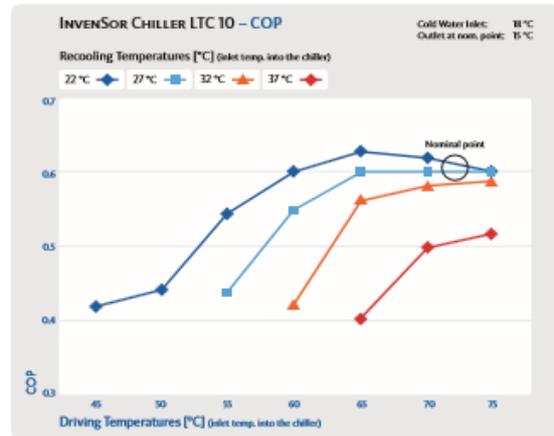
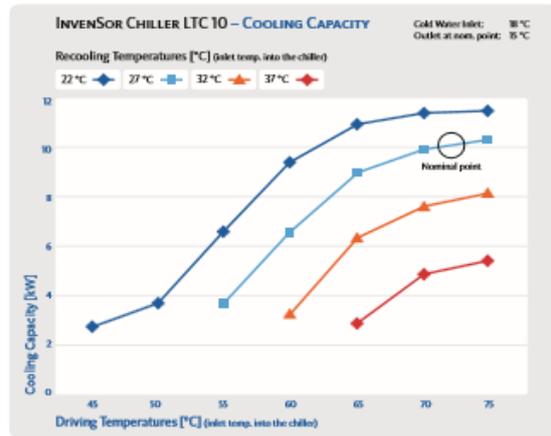
Adsorption Chillers

InvenSor LTC 10 vario

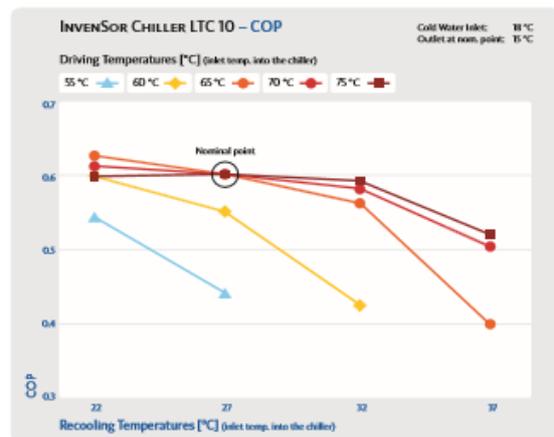
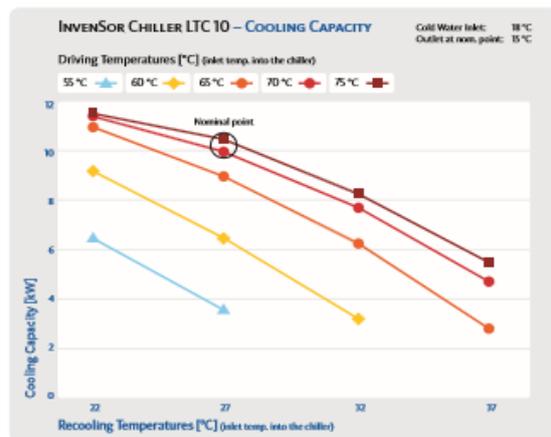


Technical specifications at different conditions

Capacity and COP at different temperatures of recooling and driving energy



Capacity and COP at different temperatures of driving energy and recooling



Capacity and COP at different temperatures of driving energy and chilled water

