



**Luís Miguel
Almeida Cunha**

**Geotermia e Biotermia no contexto sustentável de
edifícios escolares**



**Luís Miguel
Almeida Cunha**

Geotermia e Biotermia no contexto sustentável de edifícios escolares

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro, para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre. Com o tema “Geotermia e Biotermia no contexto da sustentabilidade de edifícios escolares” sobre o ponto de vista económico em Portugal. Realizada sob a orientação científica do Professor Doutor José Claudino de Pinho Cardoso e do Professor José Alberto Marques Lapa do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Dedico este trabalho à minha esposa Luísa pelo seu apoio dado na realização e concretização deste trabalho.

o júri

presidente

Professor Doutor Aníbal Guimarães da Costa
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

Engenheiro Carlos Pedro Moura Veríssimo
Engenheiro Diretor de Unidades da MRG Engenharia e Construção

Professor Doutor José Claudino de Pinho Cardoso
Professor Associado da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Ao Professor Doutor José Claudino de Pinho Cardoso,
Ao Professor José Alberto Marques Lapa,
Ao Professor Doutor Osvaldo Manuel Rocha Pacheco,
Ao Dr. João Paulo Duarte Dias Marques,
Ao Mestre Fernando Ferreira Batista,
Ao Dr. António José Flor Agostinho,
Ao Eng.º Diogo Lucas Pires,
Ao Eng.º Tiago Afonso,
Ao Eng.º Carlos Pinto,
Ao Eng.º Alberto Madureira,
Ao Eng.º Nuno Sousa,
À minha Família, Amigos e Colegas.

palavras-chave

Geotermia, Biotermia, baixa entalpia, consumo energético, energias renováveis, aquecimento, arrefecimento, edifícios escolares, sustentabilidade.

resumo

O presente trabalho é um estudo de natureza económica, sobre duas formas de obtenção de energia através dos denominados *recursos energéticos ilimitados ou renováveis*: a Geotermia de Baixa Entalpia (GBE) e Biotermia de Águas Residuais (BAR) para utilização na climatização de edifícios com sistema secundário de estruturas termoativas (TABS).

O objetivo do estudo tem por base os dados de projeto e da construção de dois edifícios da Universidade de Aveiro: o edifício ESSUA e o edifício CICFANO.

A utilização de formas de obtenção de energia através dos recursos energéticos renováveis locais é já uma realidade em países da Europa, por isso este estudo assenta em casos de sucesso como referência, sendo este método de trabalho denominado "*benchmarking*". Com o desenvolvimento e a finalização do presente trabalho foi possível obter indicadores positivos relativamente aos pontos em discussão, tais como, a redução de custos, redução de manutenção, objetivos de diretorias europeias, controle de poluição e viabilidade de implementação dos sistemas em edifícios escolares em Portugal.

Este estudo poderá ainda ser uma alavanca para futuros trabalhos e investigações, bem como, alvo de um complemento com novos dados obtidos dos edifícios aqui mencionados e de outros do mesmo tipo que vão ser construídos com a mesma tecnologia.

keywords

Geothermal, Biotermia, low enthalpy, energy, renewable energy, heating, cooling, school buildings, sustainability.

abstract

This paper presents a study of an economic nature, about two ways of obtaining energy through the so-called *unlimited or renewable energy resources*: the Low Enthalpy Geothermal (GBE) Biothermal energy from wastewater (BAR) for use in thermo active buildings systems (TABS).

The objective of this study is based on data from design and construction of two buildings at the University of Aveiro: the building ESSUA and the building CICFANO.

The use of forms of energy by means of local renewable energy resources is already implemented some European country, so this study is based on success cases as a reference, this working method called "*benchmarking*". With the development and completion of this work it was possible to obtain positive indicators with regard to the points under discussion, such as cost reduction, reduced maintenance, goals of European directives and feasibility of implementation of these new systems in school buildings in Portugal.

This study may also be a lever for future work and investigations, as well as the target of an addition with new data obtained from herein and other buildings of the same type that are starting to be built with the same technology.

Índice

Índice	I
1. Introdução	1
2. Estado de Arte	11
2.1. Dependência energética em Portugal desde 2000	11
2.2. Evolução do custo/consumo da energia elétrica em Portugal desde 2000	12
2.3. A utilização da eletricidade como fonte de energia.....	13
2.4. Breve enquadramento legislativo de Portugal e diretrizes Europeias	14
3. Meios e Metodologia	17
3.1. Identificação das formas de consumo de energia elétrica	17
3.2. Diretivas comunitárias e objetivos já implementados	17
3.3. Casos de sucesso - <i>Beenchmarking</i>	19
3.4. Casos de estudo	25
4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo.....	27
4.1. Solução de Geotermia de Baixa Entalpia (GBE) com estruturas termoativas	28
4.1.1. Tipo de solo	29
4.1.1.1. Capacidade de armazenamento de energia.....	29
4.1.1.2. Condutibilidade térmica (em profundidade).....	29
4.1.1.3. Camadas existentes.....	30
4.1.2. Proximidade de água	31
4.1.2.1. Nível freático, lençóis de água e águas termais.....	31
4.1.3. Formas de permuta	32
4.1.3.1. Horizontal	32
4.1.3.2. Vertical	33
4.1.4. Equipamentos utilizados.....	33
4.1.4.1. Bombas de Calor, Circulação, Tubagens e Líquido Circulante.	33
4.1.5. Identificação e avaliação de custos de investimento, manutenção e conservação para os sistemas de Geotermia e Biotermia	40
4.2. Caso de estudo – Edifício da ESSUA da Universidade de Aveiro.....	43
4.2.1. Avaliação económica e financeira, da solução convencional e inicialmente projetada com a solução utilizada e aplicada em Obra.....	43
4.2.2. Conclusões sobre o caso de estudo.....	54
4.3. Caso de estudo – Edifício CICFANO da Universidade de Aveiro – (avaliação técnica, económica e financeira, da solução convencional projetada e da solução utilizada)	56

4.3.1.	Determinação dos custos de consumo anuais dos sistemas em estudo, baseados em dados fornecidos pelo projetista e fornecedores	69
4.3.2.	Conclusões sobre o caso de estudo.....	76
5.	Conclusões.....	79
6.	Referências bibliográficas	83

SIGLAS E ABREVIATURAS

ADENE – Agência para a Energia

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

BAR – Biotermia de Águas Residuais

CMAD – Conferência do Meio Ambiente e do Desenvolvimento

CMDS – Cimeira Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável

CNUMAD – Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento

CICFANO – Complexo Interdisciplinar de Ciências Físicas Aplicadas à Nanotecnologia e Oceanografia

CO₂ – Dióxido de Carbono

CH₄ – Metano

°C – Grau Celsius

DECO – Associação Portuguesa para a Defesa do Consumidor

DGEG – Direção Geral da Energia e Geologia

DGEGDPE – Direção Geral da Energia e Geologia Divisão de Planeamento e Estatística

€ - Euro

€/m² – Euro/metro quadrado

€/kWh – Euro/kiloWatt hora

EDP - Energias de Portugal

ENE2020 – Estratégia Nacional para a Energia

ESSUA – Escola Superior de Saúde da Universidade de Aveiro

EU – União Europeia

GBE – Geotermia de Baixa Entalpia

HFC – Hidrocarbonetos Fluorados

IAPMEI – Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas e à Inovação

IPC – Índice de Preço do Consumidor

IVA – Imposto de Valor Acrescentado

kW – kiloWatt

kWh – kiloWatt hora

m² – Metro quadrado

MW – Mega Watt

N₂O – Óxido Nitroso

ONU – Organização da Nações Unidas

PFC – Hidrocarbonetos Perfluorados

REN – Rede Elétrica Nacional

SCE – Sistema de Certificação de Edifícios

SF₆ – Hexafluoreto de Enxofre

TABS – (Thermo-Active Building Systems) Sistemas de Estruturas Termoativas

UA – Universidade de Aveiro

UTAN – Unidade de tratamento de ar novo

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Evolução comparativa dos preços reais de eletricidade.

Tabela 2 – Evolução do Preço de Aquisição de Energia Elétrica.

Tabela 3 – Dados do Meio Físico e Bioclimático do local onde se encontra o edifício da ESSUA.

Tabela 4 – Proposta de implementação do sistema de Geotermia.

Tabela 5 – Análise das componentes do sistema de Geotermia implementado em obra para satisfazer e melhorar as necessidades energéticas existentes.

Tabela 6 – Dados referentes às bombas de calor A, B, C e D em funcionamento para aquecimento.

Tabela 7 – Dados referentes às bombas de calor A, B, C e D em funcionamento para arrefecimento.

Tabela 8 – Dados referentes à bomba de circulação 1 associada à sala de máquinas (A, B, C e D) em funcionamento para aquecimento e arrefecimento.

Tabela 9 – Dados referentes à bomba de circulação 2 associada à sala de máquinas (A, B, C e D) em funcionamento para aquecimento e arrefecimento.

Tabela 10 – Dados referentes à bomba de circulação 3 associada à sala de máquinas (A, B, C e D) em funcionamento para aquecimento e arrefecimento.

Tabela 11 – Dados referentes à bomba de circulação 4 associada à sala de máquinas (A, e D) em funcionamento para aquecimento e arrefecimento.

Tabela 12 – Dados referentes à bomba de circulação 4 associada à sala de máquinas (B e C) em funcionamento para aquecimento e arrefecimento.

Tabela 13 – Dados referentes às bombas de circulação (5, 6, 7 e 8) associadas à sala de máquinas (A, B, C e D), em funcionamento para aquecimento e arrefecimento.

Tabela 14 – Dados referentes ao Dry-Coller em funcionamento para aquecimento e arrefecimento.

Tabela 15 – Dados referentes às UTA's para tratamento de ar utilizado no edifício.

Tabela 16 – Consumo necessário para o funcionamento anual do sistema de Geotermia.

Tabela 17 – Dados do Meio Físico e Bioclimático do local onde se encontra o edifício do CICFANO.

Tabela 18 – Avaliação Preliminar da Eficiência Energética do Projeto.

Tabela 19 – Especialidades e respetivos custos parciais por m² relativos ao projeto com Sistema de AVAC Tradicional com recurso a Gás.

Tabela 20 – Especialidades e respetivos custos parciais por m² relativos ao Projeto em Execução com Sistema de Geotermia e Biotermia.

Tabela 21 – Especialidades e respetivo peso percentual relativo ao Projeto com Sistema de AVAC Tradicional e Gás.

Tabela 22 – Especialidades e respetivo peso percentual relativo ao Projeto em execução com Sistema de Geotermia e Biotermia.

Tabela 23 – Componentes das especialidades dos Projetos de AVAC Tradicional e de Gás Relativamente ao Projeto Inicial.

Tabela 24 – Componentes da especialidade do Projeto de Geotermia e Biotermia.

Tabela 25 – Percentagem relativa de cada componente das especialidades de AVAC Tradicional e Gás.

Tabela 26 – Percentagem relativa de cada componente do Sistema de Geotermia e Biotermia.

Tabela 27 – Proposta Melhoramento da Eficiência Energética do Projeto.

Tabela 28 – Comparativo entre o Sistema de AVAC Tradicional e Gás inicialmente previsto e o sistema de Geotermia e Biotermia com apoio ao Sistema AVAC primário preconizado em Obra.

Tabela 29 – Dados referentes à bomba de calor Geotérmica e Biotérmica.

Tabela 30 – Dados referentes à bomba de arrefecimento Geotérmica e Biotérmica.

Tabela 31 – Dados referentes ao chiller e caldeira necessários no sistema Tradicional para aquecimento e arrefecimento.

Tabela 32 – Resumo dos custos da implementação dos sistemas.

Tabela 33 – Resumo do custo de manutenção de acordo com indicações do fabricante.

Tabela 34 – Resumo do custo da energia consumida em cada sistema.

Tabela 35 – Análise da amortização do investimento.

Tabela 36 – Grau de economia com a implementação do sistema de Geotermia e Biotermia decorridos cinquenta anos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gráfico da taxa da dependência energética.

Figura 2 – Esquema de funcionamento de bomba de calor com arrefecimento e com aquecimento de águas sanitárias.

Figura 3 – Esquema de funcionamento de bomba de calor com arrefecimento e sem aquecimento de águas sanitárias.

Figura 4 – Esquema de funcionamento de bomba de calor com aquecimento.

Figura 5 – Esquema de funcionamento de bomba de calor com aquecimento de Águas Sanitárias.

Figura 6 – Fotografia aérea da implantação da Escola Superior de Saúde da Universidade de Aveiro.

Figura 7 – Implantação da Escola superior de Saúde da Universidade de Aveiro no Plano Urbanístico do Polo do Crasto.

Figura 8 – Gráfico representativo do custo das componentes do sistema implementado.

Figura 9 – Fotografia aérea da implantação do Edifício Complexo Interdisciplinar de Ciências Físicas Aplicadas à Nanotecnologia e à Oceanografia.

Figura 10 – Implantação do edifício CICFANO da Universidade de Aveiro.

Figura 11 – Gráfico representativo dos custos de cada especialidade relativamente ao Projeto Inicial.

Figura 12 – Gráfico representativo dos custos de cada especialidade relativamente ao Projeto em execução com sistema de Geotermia e Biotermia.

Figura 13 – Gráfico representativo das percentagens relativas de cada especialidade relativamente ao Projeto com Sistema de AVAC Tradicional e Gás.

Figura 14 – Gráfico representativo das percentagens relativas de cada especialidade relativamente ao Projeto em execução com Sistema de Geotermia e Biotermia.

Figura 15 – Gráfico representativo do custo das componentes dos Projetos de AVAC Tradicional e Gás.

Figura 16 – Gráfico representativo do custo das componentes do Projeto de Geotermia e Biotermia.

Figura 17 – Gráfico representativo da percentagem das componentes dos Projetos com Sistema de AVAC Tradicional e Gás relativamente ao Projeto Inicial.

Figura 18 – Gráfico representativo da percentagem relativa das componentes do Projeto de Geotermia e Biotermia.

Figura 19 – Gráfico representativo das componentes dos dois sistemas de aquecimento.

Figura 20 – Gráfico representativo da comparação económica das componentes dos dois sistemas de aquecimento.

Figura 21 – Esquema de funcionamento do permutador de Águas Residuais.

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem por finalidade a apresentação de um estudo de natureza económica sobre duas formas de obtenção de energia, através dos denominados recursos energéticos ilimitados ou renováveis: a Geotermia de Baixa Entalpia (GBE) e Biotermia de Águas Residuais (BAR), para utilização na climatização de edifícios com sistema secundário de estruturas termoativas (TABS).

Para melhor enquadrar os desafios energéticos das atuais sociedades humanas, serão tidos em consideração os três pilares fundamentais do Desenvolvimento Sustentável. Estes fundamentos, definidos na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CMAD), em 1992 no Rio de Janeiro, são os fatores económico, social e ambiental. Assim, tal como referido no início, o estudo centrar-se-á, por força do próprio tema, no fator económico e ambiental.

Serão abordadas, numa primeira fase, os desafios da busca de novas fontes de energia renováveis em Portugal e para a sua sociedade enquanto País.

Numa segunda parte irá proceder-se a uma análise de vantagens e desvantagens entre a utilização de sistemas inovadores (que utilizam energias renováveis) e as soluções mais convencionais de climatização (que utilizam a eletricidade como fonte energética).

Na terceira parte irá proceder-se à definição e operacionalidade dos dois tipos de fonte de energia renovável objeto deste trabalho: a Geotermia de Baixa Entalpia e a Biotermia de Águas Residuais.

Por fim na quarta parte será abordada a operacionalização do aproveitamento de energias renováveis aplicadas para a climatização de dois edifícios escolares da Universidade de Aveiro (UA).

Neste projeto utilizaram-se, sobretudo, as técnicas de documentação indireta, consubstanciada em pesquisa documental e bibliográfica e abrangendo o levantamento de dados de variadas fontes, com objetivo de obter dados relevantes sobre o objeto em estudo.

1. Introdução

“Desenvolvimento Sustentável”

O conceito de “desenvolvimento sustentável” surgiu definido, tal como é aceite hoje, pela primeira vez no relatório intitulado “O nosso futuro comum”, muitas vezes referido como o Relatório Brundtland, publicado em 1987. Este relatório é o resultado de um estudo delegado pela Organização da Nações Unidas (ONU) à Comissão Mundial sobre Ambiente e Desenvolvimento (CMAD) presidida pela primeira-ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland. Este estudo tinha como objetivo uma apreciação da dinâmica existente entre o Homem e o Ambiente. O documento elaborado mostrou que nas relações Homem/Ambiente *“não existe apenas um limite mínimo para o bem-estar da sociedade, existe também um limite máximo para a utilização dos recursos naturais, de modo que sejam preservados”* e aponta para *“a incompatibilidade entre desenvolvimento sustentável e os padrões de produção e consumo vigentes”* (CMAD, 1991). Assim, e para que se atinja o equilíbrio Homem/Ambiente este relatório elaborou a seguinte definição de desenvolvimento:

“O desenvolvimento sustentável é aquele que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades” (CMAD, 1991).

Nas últimas décadas, muito se tem discutido sobre este conceito, que frequentemente é utilizado indevidamente. De repente, tudo passou a ter que ser sustentável para ser aceite pelos governos e pelo público em geral. Muito se poderia discutir sobre os argumentos a favor e contra, existente em torno deste conceito, no entanto, no presente trabalho será focado apenas o conceito original e as suas diretrizes. O desenvolvimento sustentável assenta num modelo económico, social e ambiental onde se preveja equidade intergeracional e intra-geracional. Este modelo de desenvolvimento sustenta a preservação dos recursos naturais, culturais e patrimoniais e a utilização cautelosa dos mesmos e, sendo o ensino uma atividade económica consumidora destes recursos, deve seguir também os princípios do desenvolvimento sustentável (CMAD, 1991; Smith, 2006).

Uma das preocupações apresentadas pela CMAD é sobre a garantia de uma fonte de energia é essencial uma vez que, a energia fornece serviços essenciais à vida humana: desde o calor para o aquecimento até ao trabalho mecânico. As fontes primárias de energia

que hoje usamos não são renováveis como por exemplo o gás natural, o petróleo, o carvão e a energia nuclear convencional. No entanto há também fontes de energia renováveis ao dispor da humanidade onde figuram a lenha, a energia solar, quedas de água, fontes geotérmicas, energia solar, das marés, dos ventos e das ondas, entre outras. Cada uma destas fontes de energia tem os seus custos, benefícios e riscos quer sejam ambientais, de saúde e económicos que estão fortemente relacionados com outras prioridades estatais e mundiais. Assim, é preciso optar uma estratégia energética que seja inevitavelmente uma estratégia ambiental (CMAD, 1991).

A importância da estratégia ambiental centra-se no facto de os riscos ambientais e incertezas sobre o futuro apontarem para uma forte probabilidade de alteração do clima, gerada por “efeito de estufa” pelos gases libertados para a atmosfera, principalmente dióxido de carbono (CO₂), produzido pela queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo). Isto acontece porque as radiações solares do espectro do visível atravessam a atmosfera e são absorvidas pela superfície do globo, aquecendo-a. Este calor é depois reemitido para o espaço sob a forma de radiações infravermelhas, que são parcialmente absorvidas pelos gases de estufa, 'aprisionando' esta energia calorífica. Salienta-se que não há hoje tecnologia que anule a emissão de CO₂ na queima de combustíveis fósseis e como tal é desejável que o seu uso seja substituído por outras fontes de energia não poluidoras (*idem, ibidem*).

Segundo a CMAD a melhor forma de alcançar um futuro sustentável é baixando os gastos de energia e utilizando energias renováveis. No entanto, é de salientar que os sistemas de energia renováveis estão ainda numa fase primitiva de desenvolvimento, tornando assim difícil a sua operacionalização e utilização por parte do consumidor final. Todas as iniciativas para o uso destas novas fontes de energia são de extrema importância. O relatório sugere que se devem tomar medidas imediatas para travar as consequências do uso de energias não renováveis, como por exemplo, a incrementação e expansão de novas fontes de energia: a energia renovável. Todos os países devem incentivar a utilização destas energias apoiando o seu uso num quadro legal inequívoco e vantajoso, quer para o estado quer para os privados.

Existem pois, elementos primordiais a conciliar como o abastecimento de quantidades crescentes de energia para fazer face às necessidades humanas, medidas de poupança e de melhoria de rendimento para minimizar o gasto de recursos primários, melhorar a saúde

1. Introdução

pública e a proteção da biosfera e prevenção de formas mais localizadas de poluição. Assim, de acordo com o relatório da CMAD, estamos a atravessar um período de transição, de saída de uma época em que a energia era utilizada de modo insustentável para outra onde há a consciência das consequências desse consumo massivo.

De modo a operacionalizar o que ficou definido e aceite na Cimeira de 1987, em 1992 realizou-se a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD), conhecida também como ECO-92. Uma das consequências deste encontro, onde estiveram presentes mais de cem chefes de estado, foi um documento denominado “Agenda 21”.

Este documento é composto por quarenta capítulos onde se abordam diferentes áreas de programas com diferentes bases para a ação, objetivos, atividades e meios de implementação. Segundo os seus autores “a *“Agenda 21” é um programa dinâmico que será levada a cabo pelos diversos atores segundo as diferentes situações, capacidades e prioridades dos países e regiões e com plena observância de todos os princípios contidos na Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Com o decorrer do tempo e a alteração de necessidades e circunstâncias, é possível que a Agenda 21 venha a evoluir. Esse processo assinala o início de uma nova associação mundial em prol do desenvolvimento sustentável*” (www.un.org).

Salientam-se de seguida alguns capítulos que servem de sustentação ao objeto de estudo do presente trabalho.

O quarto capítulo da “Agenda 21” intitula-se “ Mudança nos padrões de consumo”. Aqui encontramos as seguintes áreas de programas: *o estudo dos padrões insustentáveis de produção e consumo* em que nos encontramos e o desenvolvimento de políticas e estratégias nacionais de *estímulo a mudanças nos padrões insustentáveis de consumo*. Este capítulo salienta que se deve dar particular atenção ao *uso eficiente recursos energéticos* com objetivo de reduzir ao mínimo o esgotamento desses recursos e *de reduzir a poluição*. Por ser muito abrangente, a questão da mudança dos padrões de consumo é salientada em diversos pontos do documento, em especial nos que tratam de energia, transportes e resíduos, bem como nos capítulos dedicados aos instrumentos económicos e à transferência de tecnologia (*idem*).

O nono capítulo do documento intitula-se “Proteção da Atmosfera”. Salienta-se este capítulo por aqui encontramos como objetivo a *redução dos efeitos adversos do setor da*

energia sobre a atmosfera, e a indicação que se deve apostar na promoção e desenvolvimento de políticas ou programas, de âmbito nacional, que aumentem a contribuição dos *sistemas energéticos ambientalmente seguros e saudáveis* (*idem*).

No capítulo vinte e oito, intitulado “Agenda 21 Local”, define-se “*um processo participativo, multissetorial, que visa atingir os objetivos da Agenda 21 ao nível local, através da preparação e implementação de um Plano de Ação estratégico de longo prazo dirigido às prioridades locais para o desenvolvimento sustentável*” (www.iclei.org).

A “Agenda 21 Local” é um processo no qual as autoridades locais trabalham com a restante comunidade na elaboração de uma estratégia conjunta e na aplicação de projetos com o objetivo de melhorar as condições socio ambientais ao nível local. A importância deste capítulo encontra-se na sua dimensão local e regional. Neste contexto é possível operacionalizar a “Agenda 21” utilizando os atores locais, como por exemplo, as empresas, as universidades e a população em geral. Todas as iniciativas têm uma importância acrescida porque são feitas *para e com* a população local.

O documento da “Agenda 21” definiu, também, que cada país tinha que desenvolver uma estratégia para solucionar problemas socio-ambientais baseados nos programas de ação que nele se incluem.

Em 1997, no Japão, realizou-se a 3ª Conferência das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas que teve como consequência a assinatura de um Tratado Internacional denominado “Protocolo de Quioto” que estabeleceu metas para a redução da emissão de gases poluentes que intensificam o “efeito estufa”, nomeadamente o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O), os hidrocarbonetos fluorados (HFC), os hidrocarbonetos perfluorados (PFC) e o hexafluoreto de enxofre (SF₆). É de salientar que nem todos os países presentes na Cimeira ratificaram o protocolo, por exemplo os Estados Unidos da América que, curiosamente, é um dos países que mais poluem a atmosfera (www.portal-energia.com).

A implementação do documento “Agenda 21”, o denominado “Programa de Implementação da Agenda 21” e os compromissos com os princípios da Conferência do Rio92, foram reafirmados na Cimeira Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável (CMDs), realizada em Joanesburgo, África do Sul em 2002. Identificaram-se também medidas para reforçar os acordos da Cimeira do Rio, medidas para alcançar resultados quantificados (metas), e estabeleceram-se decisões orientadas para a ação de modo a

1. Introdução

assegurar o equilíbrio entre as vertentes económica, social e ambiental do desenvolvimento sustentável e, ainda, revigorar o compromisso global com o desenvolvimento sustentável (Henriques, 2007).

Nesta Cimeira identificaram-se alguns casos de sucesso como por exemplo: a promoção do “desenvolvimento sustentável” através de iniciativas locais e voluntárias (envolvendo o sector privado), a participação do público em atividades ligadas à “Agenda 21”, aumento da procura pelo progresso científico e tecnológico, a implementação do Protocolo de Quioto, a integração do desenvolvimento sustentável nas políticas sectoriais, entre outros (*idem, ibidem*).

Assim, neste breve enquadramento sobre o conceito de “desenvolvimento sustentável” conhecemos os meios de operacionalização do mesmo e tentou-se enquadrar o objeto de estudo do presente trabalho à luz desse mesmo conceito.

Em seguida serão apresentados alguns conceitos teóricos relacionados com o objeto de estudo deste trabalho.

Energia Renovável

Como referido anteriormente, das fontes de energia consumida pela sociedade atual, salientam-se as que provêm do petróleo, gás natural, carvão e energia nuclear, ou seja, fontes de energia não renováveis caminhando assim para o esgotamento destas fontes de energia que, como o próprio nome indica não serão repostas pela Natureza nas próximas gerações.

A inexistência de fontes petrolíferas no nosso país, associadas à grande dependência energética de fontes combustíveis fósseis e à poluição atmosférica provocada pelo seu uso massivo, em paralelo com os compromissos assumidos por Portugal no âmbito do Protocolo de Quioto, verificamos que a solução passa obrigatoriamente pelo consumo de energias renováveis. Assim, a necessidade de inverter o consumo de fontes de energia não renováveis em prole de energias renováveis torna-se cada vez mais acentuado num Mundo e numa Sociedade cada vez mais global e exigente (CMAD, 1991).

Deste modo, o consumo de fontes de energia capazes de se regenerar e, como tal, inesgotáveis como as já conhecidas energia solar, eólica, hídrica e de biomassa, geotérmicas e outras, tornam-se fundamentais para que se atinjam não só os parâmetros

definidos em Protocolos como o acima referido, mas também os parâmetros, objetivos e exigências de um futuro centrado nos pilares e na definição de desenvolvimento sustentável (*idem, ibidem*). É provavelmente, a maior vantagem das energias renováveis, para além do seu limite não mensurável, o facto de permitirem a operacionalização de um dos objetivos do “desenvolvimento sustentável”: formas e fontes de energia pouco agressivas para o Meio Ambiente (*idem*). Assim, é neste cenário de busca por fontes de energias “amigas” do ambiente que permitam a concretização das metas definidas pela Europa e por Portugal para as gerações vindouras que a Biotermia de Águas Residuais (BAR) Geotermia de Baixa Entalpia (GBE) dão agora os primeiros passos.

Geotermia de Baixa Entalpia (GBE)

A GBE é o conceito atribuído à transferência de energia térmica (Geotérmica) para um sistema dinâmico (água com ou sem aditivos) que, por sua vez, a utilizará para o aquecimento e/ou arrefecimento de superfícies, na perspetiva de aproximar a temperatura ambiente de locais fechados, à mais desejada pelos utilizadores. Tendo em conta que a temperatura do interior da terra aumenta, à medida que aumenta a profundidade, salienta-se que a designação “temperaturas de baixa entalpia” que significa que as referidas trocas não serão superiores a cerca de 25 graus celsius (25°C), o que corresponde no nosso país a cerca de 250 metros de profundidade (Correia, 2010).

Biotermia de Águas Residuais (BAR)

A BAR é o conceito atribuído à transferência de energia térmica originada pela fermentação de resíduos orgânicos dos sistemas de drenagens de águas residuais domésticas (Biotérmica) para um sistema dinâmico que, por sua vez, a utilizará para o aquecimento de superfícies, na perspetiva de aproximar a temperatura ambiente de locais fechados à mais desejada pelos utilizadores. Tendo em conta que a decomposição dos constituintes da matéria orgânica através de microrganismos é um processo biológico que liberta dióxido de carbono, vapor de água e calor, salienta-se que as denominadas “temperaturas de baixa entalpia” para o caso da BAR o que representam trocas de calor

1. Introdução

libertado entre os 15°C e os 25°C, o que é verificável em praticamente todos os sistemas de esgotos domésticos no nosso país (Correia, 2010).

O aproveitamento energético utilizando a GBE e a BAR

A GBE e BAR são formas de aproveitamento de energia térmica existente em determinado meio sem que, para o seu uso ou transferência, seja necessário recorrer a grandes quantidades de energias não renováveis, uma vez que a temperatura existente no subsolo ou nas águas residuais é transferida por contato com um meio difusor para os respetivos permutadores que a transferirão, também por contato, para os meios ambientes pretendidos (Correia, 2010; Carvalho, 2010). Estes sistemas podem ser introduzidos paralelamente em sistemas de aquecimento já existentes nos edifícios, fazendo um pré-aquecimento ou pré-arrefecimento e diminuindo, assim, a carga de necessidade de climatização do sistema que utiliza energias não renováveis (Correia, 2010; Jesus, 2011). Tratando-se de energia térmica existente no subsolo e em esgotos, é considerada uma fonte de energia não poluente não contribuindo, entre outros efeitos nocivos, para o “efeito de estufa” (CMAD, 1991; Smith, 2006). Estes sistemas têm também como vantagens a redução dos consumos com a eletricidade, a redução de riscos de acidentes associados à utilização de mesma como os choques elétricos, incêndios e descargas elétricas e, ainda a exploração dos recursos locais não poluindo o ar, a água e o solo (Berntsson, 2002).

No caso da Geotermia, existe ainda outra vantagem associada à constância da fonte, não dependendo das variações naturais como marés, vento, sol ou alterações climatéricas (*idem, ibidem*).

É de salientar que a energia térmica existente na GBE e na BAR está disponível em todo o mundo, sendo por isso uma temática universal e, torna-se deste modo, uma mais-valia e uma fonte de energia que em caso de necessidade ou como complemento dos sistemas de aquecimento convencionais completarão as compensações caloríficas necessárias (Correia, 2010; Berntsson, 2002)

Para operacionalizar estes sistemas é necessário possuir equipamentos e trabalhadores de diversas áreas básicas da indústria, como: pichelaria, canalização, eletricidade, indústria de peças e tubaria e maquinaria específica (*idem*).

Para a redução do consumo da eletricidade atual e conseqüentemente diminuição do seu peso nas despesas, torna-se inevitável a redução dos custos de transformação da energia em

energia elétrica bem como da própria fonte energética utilizada. De salientar que segundo os dados da DECO - Associação Portuguesa para a Defesa do Consumidor, o aumento do Imposto de Valor Acrescentado (IVA) em 2011 de 6% para 23% e, antevendo um novo aumento do custo do consumo da eletricidade em mais 2,8% em 2013, são fortes motivos para apostar nestes novos sistemas energéticos. Assim, o custo normal de 1 kWh passou de 0.1535€ (incluindo IVA à taxa de 6%) para 0.1781 €/kWh e prevendo um custo para 2012 de 0.1853€/kWh, acrescentando ainda o custo das taxasfixas a aplicar pela EDP - Energias de Portugal (www.deco.proteste.pt).

Assim, numa altura em que a procura de energias para a obtenção de um conforto humano igual ou até mesmo superior ao existente, a custos inferiores e sem danos ambientais, é cada vez mais aliciante do ponto de vista económico, a implementação de sistemas a médio prazo, como a GBE e a BAR, devido às óbvias vantagens e fácil implementação, parecem quase inevitáveis em Portugal e na Europa.

De acordo com a Agência para a Energia (ADENE), a Rede Elétrica Nacional (REN), bem como alguns estudos académicos, compreende-se que cada vez mais em Portugal se procurem alternativas a fontes energéticas não renováveis, fontes que proporcionem uma redução de custos e de efeitos nocivos ao meio ambiente (www.adene.pt; www.ren.pt).

É neste contexto que se prevê a utilização dos recursos do solo e das infraestruturas existentes para a implantação da GBE e BAR.

Seguidamente, apresentar-se-ão alguns dados que ajudam a compreender o anteriormente mencionado.

1. Introdução

2. ESTADO DE ARTE

2.1. Dependência energética em Portugal desde 2000

Portugal é um país que, dada a sua localização e geologia tem falta de exploração de recursos energéticos convencionais¹, assim existe uma forte dependência de fontes de energia primária². Esta dependência evidencia-se na necessidade de energia obtida no exterior para o combate ao défice ou falta de exploração dos recursos internos.

A elevada dependência energética acima mencionada está patente no gráfico seguinte.

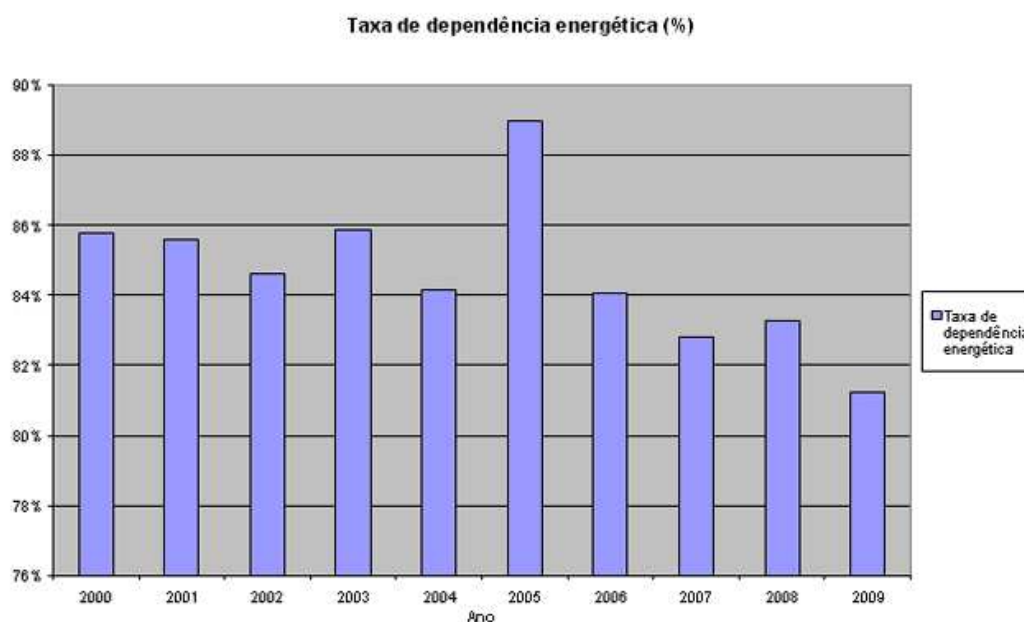


Figura 1. Gráfico da taxa da dependência energética; Fonte: Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG, 2009).

Pela observação do gráfico conclui-se que, embora, a taxa de dependência energética tenha vindo a baixar ainda apresenta valores superiores a 80%.

A eletricidade, que efetivamente é produzida em Portugal utiliza como principais meios as centrais hidroelétricas (barragens), devido à elevada disponibilidade de cursos de água adequados, e às centrais termoelétricas (nas falhas, nas horas de picos de consumo ou em alturas em que se verifica escassez de água) (Gil, 2010).

¹ Fontes de energia não renováveis (Jesus, 2011)

² Recurso energético que se encontra disponível na natureza (CMAD, 1991)

2. Estado de Arte

Nos últimos anos, tem sido promovida a utilização de aerogeradores, de painéis solares e fotovoltaicos numa tentativa de reduzir a dependência energética do país. A utilização de energias renováveis visa também contribuir para a redução de emissões poluentes, como já referido anteriormente (*idem, ibidem*).

2.2. Evolução do custo/consumo da energia elétrica em Portugal desde 2000

Tendo em consideração a atual situação económica da União Europeia e, neste estudo em concreto, a situação económica de Portugal, nomeadamente a subida do IVA e os cortes orçamentais anunciados, torna-se imperativo uma análise da evolução do custo e do consumo de energia elétrica. Esta análise irá basear-se nos preços reais da energia elétrica entre o ano de 2000 e 2010 e ainda na evolução do preço de aquisição da mesma.

Tabela 1. Evolução comparativa dos preços reais de eletricidade (1990=100).

Anos	Médio Industrial (M.T.)	Doméstico Médio	IPC
1990	100,00	100,00	100,00
2000	56,84	76,91	161,02
2001	55,28	74,64	167,94
2002	50,53	73,92	173,99
2003	49,86	73,48	179,73
2004	50,06	73,31	183,86
2005	52,91	73,48	187,91
2006	54,71	68,69	193,73
2007	55,87	74,74	198,38
2008	55,87	76,33	203,54
2009	59,80	80,13	201,51
2010	60,88	81,37	204,33

Fonte: Direção Geral de Energia e Geologia Divisão de Planeamento e Estatística (DGEGDPE, 2012).

De acordo com os dados apresentados na Tabela 1, verifica-se que o Índice de Preço do Consumidor (IPC) embora tenha sofrido uma redução em 2009, já se encontra novamente em crescimento.

Tabela 2. Evolução do Preço de Aquisição de Energia Elétrica.

	Tipo de Consumidor					
	Muito Alta Tensão	Alta Tensão	Média Tensão		Baixa Tensão	
	Diagrama retangular	Diagrama retangular	Diagrama retangular	Médio industrial	Pequeno industrial	Doméstico médio
1990	5,01	5,42	6,01	8,24	10,16	10,46
2000	4,23	4,63	5,37	7,54	9,85	12,96
2001	4,31	4,72	5,46	7,65	9,98	13,12
2002	4,16	4,36	5,64	7,24	8,26	13,46
2003	4,21	4,42	5,74	7,38	8,50	13,82
2004	4,43	4,58	5,91	7,59	8,67	14,11
2005	4,87	5,09	6,48	8,20	8,88	14,45
2006	5,01	5,27	6,80	8,73	10,12	13,92
2007	5,33	5,66	7,15	9,13	10,84	15,51
2008	5,50	5,88	7,45	9,37	11,24	16,25
2009	5,77	6,23	7,95	9,93	11,97	16,89
2010	5,86	6,44	8,20	10,25	12,39	17,39

Fonte: Direção Geral de Energia e Geologia Divisão de Planeamento e Estatística DGEDPE 2012, (cêntimos do €/kWh³).

Como se pode verificar na Tabela 2, em qualquer um dos tipos de consumidores apresentados, observa-se que o valor de custo do kiloWattthora (kWh) se encontra a aumentar.

2.3. A utilização da eletricidade como fonte de energia

Segundo o programa “Energia Inteligente Europa”, a utilização de energia elétrica apresenta vantagens quanto à rapidez da sua transmissão, distribuição e utilização. O não consumo da mesma não provoca degradação nem grandes custos de conservação. Quando consumida não provoca resíduos e pode facilmente ser transformada em outras formas de energia. As desvantagens mais relevantes são o aumento no custo de utilização da mesma em Portugal, as interrupções usualmente verificadas na condução de energia bem como os campos magnéticos que poderão ser prejudiciais (Braga, 2012; Gil, 2010).

Quando utilizada como fonte de energia térmica, devem ser tidos em consideração os acidentes associados aos riscos elétricos, a manutenção dos equipamentos de transformação de energia elétrica em energia calorífica e a própria vida útil dos respetivos equipamentos. Embora já haja energia elétrica obtida através de fontes de energia renovável, a sua transformação e aquisição apresenta ainda um custo bastante elevada pelo

³ €/kWh, euro por kiloWatt hora. (EDP, 2012)

2. Estado de Arte

que, acaba por refletir-se no preço da eletricidade. Como forma de produção de eletricidade e dadas as formas de a obter deve ser considerada a poluição ambiental e sonora em alguns dos processos de produção, como por exemplo, os casos das centrais nucleares e barragens (Gil, 2010). A utilização da eletricidade em equipamentos de aquecimento ou arrefecimento como radiadores, convetores e ar-condicionado apresenta outra desvantagem: o facto de estes normalmente efetuarem climatização pontual através do ar e assim se obterem diferenciais de temperatura na sua utilização, provocando desconforto, como por exemplo, ar aquecido mas superfície do piso fria, apenas resolvido com outras formas de climatização (Duarte, 2010; Custódio, 2011). Para além do referido anteriormente, estas técnicas mais convencionais de climatização apresentam sempre perdas, pois parte da energia utilizada para a climatização dissipa-se através dos materiais da envolvente, em especial por paredes, caixilharia e principalmente pela estrutura quando não devidamente protegida, levando a que haja normalmente um requisito e necessidade de consumo de energia bastante superior ao necessário (Custódio, 2011).

2.4. Breve enquadramento legislativo de Portugal e diretrizes Europeias

De acordo com a Estratégia Nacional para as Energias bem como a da Diretiva n.º 2009/28/CE do Parlamento Europeu, há a pretensão da promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis. Desta forma e de acordo com o respetivo Decreto-Lei pretende reduzir-se o consumo nas importações de combustíveis fósseis e naturalmente criar riqueza e emprego no sector das energias renováveis. Estabelece ainda como meta um consumo proveniente de fontes renováveis de 31% e uma redução de dependência energética do País ao exterior para um valor de 74% (eur-lex.europa.eu).

Com o objetivo de colocar Portugal como um dos líderes europeus da utilização de energias renováveis, foi publicado em diário da República no dia 31/12/2010 o Decreto-Lei n.º 141/2010. Na implementação do acima mencionado há uma maior exigência para a utilização de energias renováveis, a qual se pretenderá que seja cada vez maior nos anos vindouros (www.dre.pt).

Promove-se, ainda, a redução de custos a nível de aquisição de energias ao exterior bem como a pretensão e preocupação em reduzir a poluição provocada e o consumo de bens não renováveis.

A Resolução do Conselho de Ministros 29/2010, de 15 de Abril, aprova a nova “Estratégia Nacional para a Energia” (ENE2020) com o objetivo de reduzir a dependência energética externa as emissões de CO₂ e aumentar a eficiência energética⁴ (www.pofc.qren.pt).

Deste modo, o Governo definiu estratégias para o sector da energia como a competitividade, o crescimento e a independência energética e financeira, a aposta nas energias renováveis, a promoção da eficiência energética, a garantia de segurança de abastecimento energético e a promoção da sustentabilidade da estratégia (www.portugal.gov.pt).

De acordo com a ENE2020, prevê-se que no ano de 2020 cerca de 60% da eletricidade produzida em Portugal seja de fontes renováveis e que o consumo da energia final seja reduzido em 20%. A ENE2020 contempla ainda a meta do Desenvolvimento Sustentável com a redução de emissões assumidas por Portugal no quadro Europeu (*idem*).

De acordo com o pretendido, considera-se possível criar competitividade nos mercados energéticos, reduzindo a despesa com a dependência existente e, através das fontes existentes em Território Nacional, fomentar o crescimento quer económico quer da utilização das fontes energéticas renováveis como a biomassa, biocombustíveis, biogás, ondas, hidrogénio, hídrica, eólica, solar entre outras (*idem*). É neste contexto que surgem a GBE e a BAR.

⁴ Eficiência energética: otimização do uso das fontes de energia (ENE2020, 2010)

2. Estado de Arte

3. MEIOS E METODOLOGIA

3.1. Identificação das formas de consumo de energia elétrica

Os edifícios escolares são edifícios de serviços com um ambiente de trabalho particular. O horário de funcionamento destes edifícios é de aproximadamente doze horas, podendo no caso de escolas com cursos noturnos ser um pouco mais (Custódio, 2011).

No entanto, não existe uma utilização regular de muitas das divisões ocupadas (por exemplo, instalações sanitárias, salas de aula, laboratórios, salas de estudo ou pavilhão gimnodesportivo). O uso eficiente da energia nestes edifícios está dependente de uma gestão correta das instalações e de uma manutenção qualificada. Além disso, os fatores nos quais esta eficiência se deve basear são a estrutura do edifício, a iluminação, o uso tecnológico, os sistemas de aquecimento, a densidade ocupacional das divisões do edifício e a própria arquitetura do edifício (Sousa, 2011; Carvalho, 2010).

Em conformidade com o que se pretende nos chamados edifícios com arquitetura solar passiva⁵ algumas disposições de arquitetura como a orientação das fachadas de acordo com a exposição solar, a existência de palas, permitindo a entrada de luz no inverno e o sombreamento no verão, ou a utilização de vidros de baixo ou alto teor de emissividade (permitindo a passagem ou não de calor da radiação solar), podem e devem ser tidos em consideração. Devem ser tido em conta, o número de utilizadores, o horário de funcionamento e os equipamentos em utilização, os picos de consumo energético, os custos e os gastos de energia em edifícios escolares pois estes são diferentes dos edifícios habitacionais. (Custódio,2011; Duarte,2010; Carvalho,2010)

3.2. Diretivas comunitárias e objetivos já implementados

No ano de 2008 o Governo Português estabeleceu como meta para o ano de 2010 o valor de 45% de eletricidade produzida a partir de Fontes de Energia Renováveis no consumo bruto de eletricidade apresentando um valor superior ao estabelecido a nível comunitário

⁵ Edifícios com arquitetura solar passiva: edifício com uso de vários componentes para recolher, armazenar e distribuir os ganhos solares adquiridos através da sua orientação e materiais de revestimento aplicados. (Sousa, 2011)

3. Meios e Metodologia

(Diretiva 2001/77/CE, de 27 de Setembro) que se situava nos 39%. Esta medida demonstra mais uma vez a preocupação nacional em relação às questões ambientais e económicas.

Em 2009 a UE definiu através da Diretiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Abril, o objetivo de alcançar uma quota de 20% de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto de energia em 2020 (eur-lex.europa.eu).

Segundo o Decreto Lei n.º 78/2006, de 4 de abril – “Certificação: Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios”, o Decreto Lei n.º 79/2006, de 4 de Abril “Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios” e o Decreto Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril “Características de Comportamento Térmico dos Edifícios” é definido que nos edifícios novos após a verificação da obra concluída (o qual será utilizado no processo de pedido de licença de utilização) e nos edifícios existentes (no ato de escritura de venda ou aquando da celebração do contrato de arrendamento) ficarão obrigados os responsáveis a efetuar uma *certificação energética* dos mesmos. Assim, é necessário um processo de certificação que consiste em verificar a conformidade do edifício no âmbito dos regulamentos aplicáveis e classificar o edifício de acordo com o seu desempenho energético, com base numa escala de A+ (melhor desempenho) a G (pior desempenho) e podendo o técnico certificado responsável pelo estudo propor medidas de melhoria (Decreto Lei n.º 78/2008).

Pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010, de 15 de Abril, surge a Estratégia Nacional para a Energia (ENE 2020), que tem como objetivos que 60% da eletricidade produzida e 31% do consumo de energia final tenham origem em fontes renováveis bem como, uma redução de 20% do consumo de energia final nos termos do Pacote Energia-Clima 20-20-20. É também objetivo a redução da dependência energética do exterior para cerca de 74% em 2020 e por fim reduzir o saldo importador energético em 25% (cerca de 2.000 milhões de euros), com a produção de energia a partir de fontes endógenas (www.dre.pt).

Deverá ainda haver alguma preocupação por parte dos gestores dos edifícios, não só por serem aplicadas sanções às baixas classificações energéticas, como também, associadas ao consumo de energia, qualidade do ar e conforto térmico. A eficiência energética depende não só do comportamento dos habitantes/utilizadores ou do estado do edifício, mas também da forma como é construído, dos seus equipamentos e das soluções adotadas (Custódio, 2011).

Desta forma, a Universidade de Aveiro, no âmbito da iniciativa conjunta com o Governo, tendo em vista a melhoria da eficiência energética dos edifícios públicos e a redução de custos associados ao consumo de energia, decidiu introduzir sistemas de energia renovável em dois edifícios que se encontram em construção

Assim, tendo em conta as vantagens a nível económico bem como das ambientais, surge a possibilidade de aplicação de sistemas geotérmicos e sobre os quais se pode obter energia calorífica a um custo inferior ao da eletricidade.

De acordo com a legislação em vigor, a Universidade de Aveiro procurou investir na eficiência energética, prevendo-se que haja uma produção de energia para consumo próprio bem como para o condicionamento térmico de cinco edifícios. Para o efeito foram instalados painéis solares térmicos com o objetivo de reduzir os custos associados ao consumo de energia elétrica. Assim, a Universidade de Aveiro tem instalado 920 painéis solares fotovoltaicos nos edifícios do “Complexo Pedagógico”, “Científico e Tecnológico” e no departamento de “Engenharia Mecânica”, os quais produzem cerca de 250 kWh, sempre com o objetivo de produção, reaproveitamento de energia e redução de custos. (APA, 2012; Samagaio, 2008).

3.3. Casos de sucesso - *Beenchmarking*

Como referido anteriormente, os sistemas de GBE e BAR já estão implantados em alguns muitos países da Europa Central e do Norte, entre outros. Através de Benchmarking⁶ é possível avaliar o que estes métodos de aquisição de energia térmica permitiram obter na redução de custo e na redução na poluição (www.efeverde.com; www.climatizacao.pt; ec.europa.eu).

De acordo com a experiência noutros países estima-se que, após o investimento inicial (superior aos sistemas de aquecimento e ventilação tradicionais), haja retorno financeiro num prazo de três a cinco anos. Para além dos benefícios económicos e ambientais, estes sistemas têm, nalgumas circunstâncias, a capacidade de transmissão térmica sem a necessidade de recorrer a outras fontes de energia, pode ser aplicado a edifícios de várias utilizações e a nível de manutenção do sistema é praticamente inexistente (*idem*).

⁶ Método de identificação e procura de melhores processos e ideias inovadoras já praticadas. (IAPMEI, 2012)

3. Meios e Metodologia

A grande diferença existente entre o que já se executou em países da Europa Central e do Norte em comparação com outros da Europa do Sul são as necessidades térmicas adequadas a cada clima: Enquanto na Europa Central e do Norte as necessidades de climatização são de aquecimento, na Europa do Sul, além destas, surgem ainda as de arrefecimento, podendo tornar o sistema ligeiramente mais completo para solucionar a transição existente entre a fase de aquecimento e arrefecimento. Apesar destas diferenças já estão em funcionamento sistemas de GBE e BAR na Europa do Sul, como por exemplo, em Espanha (www.renewables-made-in-germany.com; www.al-invest4.eu; www.energias-renovaveis-geotermia.pt).

Mediante estudos efetuados na Suíça e na Alemanha relacionados com a BAR, é possível constatar que, da mesma forma que o aquecimento e arrefecimento é obtido através da GBE, também pode ser conseguido através da BAR (www.monografias.com).

De notar que estes sistemas, constituem também forte alternativa aos usuais equipamentos de aquecimento, diminuindo a quantidade, potência e consumo associados aos mesmos. Desta forma, é possível compatibilizar as duas permitindo a redução de esforço dos equipamentos tradicionais para obtenção das mesmas condições térmicas desejadas para os mesmos espaços (*idem*).

Assim, a energia calorífica que se pode obter a partir das águas residuais permite a climatização dos líquidos que circulam nos condutores, bem como, das águas que se encontrem em acumuladores. Conseguem-se deste modo um fornecimento de água quente em alguns casos de cerca de 90%, permitindo mais uma vez a redução de custos dos sistemas tradicionais (Baek *et al*,2004).

Segundo Schmid (2009), as águas residuais (esgoto) são uma fonte de energia que pode ser usada para o aquecimento e arrefecimento com bombas de calor. A tecnologia é simples e comprovada na sua essência.

As primeiras instalações foram construídas há mais de vinte anos. Mais de quinhentas bombas de calor de esgoto estão em operação em todo o mundo. Também neste caso, os estudos atrás mencionados mostram que 3% de todos os edifícios poderia ser fornecido com calor (ou frio) com base utilização da fonte energética das águas residuais. Por conta das temperaturas disponíveis (entre 10 ° C e 25 ° C durante todo o ano), e da utilização das

bombas de calor podem conseguir-se sistemas de alto desempenho tanto a nível de eficiência como ambiental (www.ruc.udc.es; www1.ci.uc.pt).

Assim, analisemos agora como foram operacionalizados sistemas de GBE e BAR na Suíça, Alemanha, Áustria, Reino Unido e Espanha.

Em 1993, o Escritório Federal Suíço de Energia foi incumbido da tarefa de desenvolver e propagar o uso de águas residuais como fonte de aquecimento e arrefecimento de edifícios. Como resultado das atividades deste programa, a Suíça tem realmente assumido o papel como um pioneiro no campo internacional de águas residuais de recuperação do calor biológico.

Os suíços são usuários assíduos da energia geotérmica, que pode ser explorada de maneiras diferentes. Até agora, esta forma de energia renovável é apenas usada para aquecimento e obtenção de água quente (www.enercret.com).

A furação é executada à profundidade desejada e um tubo em “U”, cheio com água misturada com anti-congelante, é inserido na mesma. O líquido circulará no interior do tubo, extraindo o calor da terra, e atuando como um permutador de calor (*idem*).

O método é cada vez mais utilizado tanto por famílias como por proprietários de empresas, que podem recuperar o seu investimento inicial em poucos anos. Está a ser incorporada em muitos edifícios novos, mas pode ser adicionado mais tarde nos mais antigos. Em 2006, quase um milhão de metros foram perfurados para esse fim, de acordo com a Sociedade Suíça de Energia Geotérmica (www.geothermie.ch).

O exemplo mais importante na Suíça está em Riehen, perto da Basileia, onde o método foi introduzido pela primeira vez em 1994. Em menor escala, muitos spas termais aquecem os edifícios da mesma fonte que alimenta os seus banhos sendo a água quente que flui de túneis devidamente aproveitada para o efeito como líquido do permutador (*idem*).

Em 2008, o Escritório Federal Suíço da Energia investiu cerca de 1,45 milhões de dólares em pesquisa geotérmica – 12% do orçamento do Programa Federal de Energia Suíça para energias renováveis (*idem*).

No exemplo alemão do “R & D Center” apresenta bons resultados com o comprimento a capacidade de refrigeração é de seiscentos e cinquenta e quatro kiloWatt (654 kW) e a saída de calor é de quinhentos e quarenta e quatro kiloWatt (544 kW). Atualmente a capacidade de produção de calor é de seiscentos e quarenta e dois Megawatthora (642 Mwh) total do “R & D Center” repousa sobre uma estaca de fundação. Os elementos

3. Meios e Metodologia

verticais são colocados nos elementos resistentes de betão entre treze (13 m) e vinte e cinco metros (25 m) de profundidade. Existem trezentos e vinte (320 m) elementos verticais com noventa centímetros (90 cm) de diâmetro que são utilizados como colunas de absorção. Estes são equipados com quarenta e cinco quilómetros (45 km) de tubos de plástico que servem para fazer circular a água. No inverno o sistema extrai energia termal do subsolo através destes circuitos sendo compensada por uma bomba de calor para atingir o conforto térmico desejado. No verão, a bomba de calor atua como unidade de refrigeração, produzindo o arrefecimento radiante do teto dos escritórios. O calor de condensação gerada pela central de refrigeração é dissipado no solo por meio dos pilares de absorção. O investimento adicional de 153 000 € (cento e cinquenta e três mil euros) será amortizado em quatro anos no máximo (www.dw.de).

Ainda na Áustria apresenta-se o exemplo do túnel de Lainz o sistema é composto por cortinas de estacas ancoradas, com cento e vinte centímetros (120 cm) de diâmetro nominal e vinte (20 m) de comprimento com, uma em cada três estacas equipadas com tubos permutadores sendo o sistema é composto por cinquenta e nove estacas totais. A energia obtida é destinada ao edifício de ensino Secundário e Hadersdorf Sports. Este sistema produz anualmente cento e quarenta e quatro Megawatthora (144 MWh) de calor. Atualmente, o proprietário do túnel tem uma área adicional de criação de valor que pode ser explorada, além dos benefícios económicos da utilização de uma fonte de energia com um bom valor de poupança de energia primária e emissões reduzidas (www.advantageaustria.org).

De acordo com a “Enercret” (empresa Austríaca que iniciou a utilização comercial da GBE), um caso de sucesso comprovado é o da instalação feita no edifício “Residencial II de Keble” da Faculdade de Oxford localizada no Reino Unido. Neste edifício verificou-se uma economia de energia elétrica de aproximadamente 80% e uma redução de emissões de dióxido de carbono (CO₂). Considerando que a temperatura do solo na Europa se aproxima dos 12°C, utilizando a GBE, através da utilização de tubos com água (com ou sem aditivo refrigerador como o Glicol⁷) e inseridos nas fundações do edifício, começa a ser uma realidade a diminuição no consumo de energia de fontes não renováveis com a utilização destes sistemas.

⁷ Glicol – Composto químico utilizado como anti-congelante. (Enercret, 2012)

A exploração e avaliação de energia geotérmica em Espanha começou nos anos setenta. A energia para o aquecimento e arrefecimento é aplicada para os seguintes usos específicos: aquecimento e arrefecimento de edifícios (próprios ou de terceiros); prevenção da formação de gelo nas áreas expostas (pontes, plataformas, escadas, etc.); equipamentos de refrigeração, máquinas, tubos para cabos e aquecimento de pontos e outras instalações sensíveis a baixas temperaturas. Nas décadas seguintes, cada uma das áreas selecionadas foi investigada através de técnicas de geologia, geofísica, geoquímica. Finalmente a perfuração profunda tem sido feita, permitindo avaliar o potencial geotérmico das áreas mais importantes. Estas grandes áreas são no sudeste (Granada, Almeria e Múrcia), nordeste (Barcelona, Gerona e Tarragona), noroeste (Orense, Pontevedra e Lugo) e centro (Madrid) na Península Ibérica. Outras áreas menores localizadas em Albacete, Lerida, Leon, Burgos e Maiorca também foram investigados (www.eneres.es).

A única área onde os fluidos de alta temperatura poderiam existir em profundidade era no arquipélago vulcânico das ilhas Canárias. Os recursos de rocha quente e seco foram avaliados nas ilhas de Lanzarote e La Palma. Na ilha de Tenerife, a presença de áreas de alta temperatura foi investigado, mas não comercialmente viáveis para reservatórios geotérmicos (*idem*).

Nos últimos anos, um número crescente de bombas de calor geotérmicas foram implementadas usando sistemas diferentes: em circuito fechado (vertical ou horizontal) e circuito aberto (águas subterrâneas), e não apenas para aquecimento, mas especialmente para a refrigeração. Como reflexo positivo deste crescente, mais de cento e vinte Megawatttermico (120 MWt) são produzidas por bombas de calor geotérmicas” (*idem*).

Dos autores que ao longo do tempo centraram o seu trabalho em torno da Geotermia, destaca-se, José Martínez que assegurou que a Geotermia é o presente, e destacou como uma das vantagens o facto de que “o único vetor energético disponível trezentos e sessenta e cinco dias ao ano e vinte e quatro horas ao dia, é o local”. Este autor, afirmou ainda que “a importância da geotermia no marco da situação energética em Espanha é muito elevada” (www.consumer.es).

O presidente da União Espanhola de Geotermia, relacionou esta fonte energética com diferentes campos como a climatização, a refrigeração, e assinalou como principais aplicações, a geração em massa de energia elétrica e térmica (calor e frio)

3. Meios e Metodologia

simultaneamente, a grande escala (cidades ou indústrias), ou a pequena escala (edifícios ou locais) (www.consumer.es).

Sobre a relação entre a Geotermia e as Telecomunicações, Martínez afirmou que “as Telecomunicações são o cérebro da Geotermia. Sistemas de monitoração, de localização, de comunicação entre elementos das instalações não se podem entender sem a contribuição desta disciplina” (www.consumer.es).

O Palácio do século XX em Chamberí em Madrid, exemplo espanhol, apresenta um sistema composto por estruturas de betão armado, tais como estacas, muros de suporte paredes resistentes ou lajes de betão que podem ser exploradas para a absorção de energia geotérmica do solo ou do lençol freático. A energia é absorvida e transportada para as diferentes partes estruturais do edifício por meio de um fluido de transferência de calor. Este flui através dos tubos embebidos nos elementos de fundação estrutural ou através de permutadores de calor verticais executados para esta finalidade. O edifício pode ser arrefecido diretamente pelo "arrefecimento direto" e, em caso aquecimento, o mesmo sistema pode ser usado para extrair energia por meio de uma bomba de calor. Além disso, quando o "arrefecimento direto" é insuficiente, bombas de calor reversíveis instaladas podem operar no modo de arrefecimento para dar o suporte extra necessário. O sistema também nos permite ter um bom armazenamento para o excesso de energia, isto é, o calor armazenado no solo durante o período arrefecimento do edifício, pode ser explorada para o período de aquecimento e vice-versa (Benli, 2009; www.eneres.es).

Assim, em Espanha, a GBE encontra-se já estabelecida como forte alternativa ao uso de fontes de energia não renováveis. Tendo vantagens tanto a nível económico como na redução de poluição e na redução de custos inerentes ao uso de eletricidade, sendo na região de Madrid o local onde mais sistemas estão implantados, talvez por influência da “Fundacion de la Energia da Comunidad de Madrid” que tem promovido a sua aplicação. No caso da BAR, cuja utilização comercial ainda está no seu início, vai também ser instalado um grande aproveitamento biotérmico por associação de diversos municípios da “Comunidad de Pamplona” em Navarra e outro de seiscentas habitações e hotéis em Madrid compreendendo cerca de cento e dez mil metros quadrados (110.000 m²) de área a climatizar, promovido por “Melia Hotels International” (www.eneres.es).

Na Islândia, país com muitos vulcões e elevado potencial energético geotérmico, a capital, Reiquiavique, tem já 95 % das habitações e edifícios aquecidos por Geotermia, sendo

considerada uma das cidades menos poluídas do mundo. No entanto, no resto do mundo há poucas zonas vulcânicas e termais disponíveis (www.enercret.com).

O solo, por outro lado, constitui uma ótima reserva energética que se conserva de forma permanente ao longo do ano e o calor acumulado no subsolo pode ser aproveitado em qualquer local que nos encontremos. Entre os quinze e os vinte metros de profundidade, a temperatura mantém-se à volta dos 17 °C. As bombas de calor geotérmicas fazem trocas de calor com o subsolo, tirando partido da temperatura aproximadamente constante a que ele se encontra.

No inverno é energeticamente mais eficiente conseguir a temperatura confortável de 22 °C numa habitação, partindo dos 17 °C do subsolo, do que partindo da temperatura a que está o ar, por vezes inferior a 10 °C. No verão, estas bombas funcionam como refrigeradores, podendo-se tirar partido do facto de haver muito maior eficiência energética em manter os confortáveis 22°C partindo dos 17°C do subsolo, do que partindo dos 30 °C ou mais a que se apresenta o ar envolvente (www.islandia.com; www.eneres.es).

3.4. Casos de estudo

Pretende-se com o presente trabalho, que tem por base a implementação de sistemas GBE e BAR em dois edifícios que se encontram em execução na UA, mostrar como será possível efetuar redução de custos, efeito da redução do consumo de energia elétrica necessária, permitindo usufruir da mesma temperatura de conforto nos vários compartimentos dos edifícios em causa.

A Universidade de Aveiro é composta por um Campus Universitário subdividido pelo Campus de Santiago e Campus do Crasto, em constante evolução e crescimento e, por isso, foi possível no seu universo encontrar dois casos de estudo (www.ua.pt).

Um dos casos é a Escola Superior de Saúde da Universidade de Aveiro (ESSUA) no Campus do Crasto e contemplará o sistema de Geotermia de Baixa Entalpia composto pela parte de Geotermia em associação com o sistema de AVAC primário. Esta composição e interligação do sistema de aquecimento composto por dois sistemas de permutadores (utilização de permutadores em furos e utilização de permutadores nas fundações do edifício) e tratamento de ar com pré aquecimento ou arrefecimento do mesmo, substituirão

3. Meios e Metodologia

o sistema climatização de AVAC Tradicional para aquecimento, arrefecimento e tratamento de ar como inicialmente preconizado.

No outro caso é o Complexo Interdisciplinar de Ciências Físicas Aplicadas á Nanotecnologia e Oceanografia (CICFANO) será utilizado como exemplo de Geotermia de Baixa Entalpia e de Biotermia e Águas Residuais. Neste edifício irá ser possível verificar não só o aproveitamento das águas residuais mas também a interligação do seu aproveitamento com a Geotermia de Baixa Entalpia (www.ua.pt, www.eneres.es).

Além da interligação com o sistema de Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado (AVAC), em ambos os casos de estudo, a difusão térmica será feita por intermédio de termoativação da estrutura, neste caso, servindo as lajes de permutador com o meio interior do edifício (www.ua.pt).

4. ENQUADRAMENTO TEÓRICO DO CASO DE ESTUDO

Introdução

A GBE e a BAR funcionam com base no aproveitamento da energia térmica latente no interior do solo através de elementos de fundação ou furos, ou ainda, em condutas de águas residuais, ou do seu potencial (diferencial entre temperatura desses meios e o meio interior dos edifícios), o que faz com que, para além de gratuita, esta fonte de energia se encontre em constante renovação. Para a aquisição de energia são utilizados permutadores que permitem a transferência de energia por equilíbrio térmico, entre o subsolo/águas residuais e o líquido circulador. Seguidamente, após a circulação do respetivo líquido circulador, é efetuada também por equilíbrio térmico a transferência entre o líquido circulador e o meio utilizado para a difusão térmica dos espaços que se pretendem climatizar. Para a realização desta movimentação, ou circulação, utilizam-se sistemas de bombagem (bombas de circulação) que permitem controladamente criar a referida movimentação (Benli, 2009).

Assim, o líquido vai libertando a temperatura de acordo com o equilíbrio térmico⁸, transmitindo-a para os elementos em que a respetiva tubagem se insere. No caso de sistemas de estruturas termoativas (TAS) os elementos que contêm a tubagem são elementos estruturais, podendo na aquisição ser utilizados elementos de fundação e, para difusão as paredes resistentes e as lajes de betão armado (*idem*).

Outro caso de aquisição de energia é a utilização de coletores ou estações de tratamento de esgotos, que se encarregarão de permitir a continuação da transferência calorífica entre si e o meio em que se inserem (*idem*).

Tendo por hipótese o circuito iniciado nas fundações/coletores, então o mesmo aí retornará e por conseguinte retomará novamente o processo de transferência de temperatura, servindo assim em qualquer das situações, em que seja possível essa transferência, quer seja mais quente ou mais frio. É possível aquecer e arrefecer (de inverno e verão respetivamente) os compartimentos pretendidos, sendo mais usual para o caso do aquecimento, o sistema será ajudado pelo princípio do funcionamento de uma bomba de calor. (Baek, 2004; Sousa, 2011)

⁸ Equilíbrio térmico: quando dois corpos com temperaturas diferentes, isolados do meio externo, são colocados em contato há transferências de energia do corpo de temperatura superior para o corpo de temperatura inferior. (IST, 2012)

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

Sustentabilidade energética em edifícios escolares

No contexto da sociedade atual, como já referido anteriormente, a busca de sustentabilidade ambiental, económica e social estende-se ao quotidiano das populações, principalmente daquelas que, pelas características dos locais em que habitam, estão mais despertas para esta nova realidade: a obrigatoriedade da busca por energias renováveis.

Os edifícios escolares são pilares fundamentais para a sensibilização desta nova realidade principalmente para as gerações mais jovens e, por isso, a sua sustentabilidade é já objeto de estudo em diversas áreas e, neste trabalho em particular, a sustentabilidade energética e a redução de custos na obtenção de energia (Duarte, 2010; Carvalho, 2010).

Várias iniciativas efetuadas em edifícios públicos, nomeadamente escolares, tais como a aplicação de painéis fotovoltaicos e de painéis solares, a execução de projetos de eficiência energética e de projetos de eficiência hídrica exemplificam o interesse crescente em busca desse objetivo. Este tipo de projetos, iniciativas e programas permitem a produção autónoma, aproveitamento dos recursos solares, a redução de CO₂ emitido pelo edifício, a melhoria da eficiência energética do edifício e a redução de custos de outras formas e fontes de energia. Assim, os edifícios devem ser projetados e planeados para contribuírem para uma eficiência e qualidade do ambiente e para isso estão ao seu dispor os sistemas de GBE e BAR (*idem*).

4.1. Solução de Geotermia de Baixa Entalpia (GBE) com estruturas termoativas

Para a correta e eficaz implementação de um sistema ou solução, é necessário ter em conta alguns cuidados e conhecimentos relativamente ao que se pretende implementar. É necessário ter em conta o estudo de dimensionamento e adaptabilidade ao local e ao edifício a implementar, e também dados sobre o estudo económico e financeiro da viabilidade do processo e respetivo retorno do custo investido.

São relevantes os custos fixos relacionados com os projetos e execução da solução a implementar, assim como, dos custos variáveis relacionados com a manutenção dos sistemas e maquinaria adotada bem como do custo da energia necessária para o correto funcionamento do sistema (LNEG, 2001).

4.1.1. Tipo de solo

4.1.1.1. Capacidade de armazenamento de energia

Pode considerar-se que o solo tem a capacidade de armazenar e transferir energia térmica. A sua capacidade de armazenamento e transferência de energia é determinada pelas suas propriedades térmicas e não pelas condições meteorológicas que, por sua vez, influenciam todos os processos químicos, físicos e biológicos do solo. (Schoffel, 2008; S.A.E.A.F.S., 2012)

O calor específico do solo reflete a capacidade do mesmo atuar como um enorme reservatório térmico, enquanto a condutividade reflete a capacidade de transmissão térmica. Consequentemente, o tempo requerido para um determinado solo aumentar ou diminuir a temperatura depende de como o calor é transmitido e do calor específico de cada fase constituinte (sólida, líquida e gasosa). É ainda de salientar a enorme capacidade de difusão do solo, facilitando deste modo as trocas caloríficas desejadas. Uma fração do saldo de radiação é absorvida pela superfície do solo, consequentemente, ocorre elevação da temperatura do mesmo. Este aumento da temperatura dá origem a uma transferência de energia da superfície de contacto com o ar para o interior do solo, no entanto, tal apenas se verifica até cerca de três metros de profundidade (*idem*).

Efetivamente o potencial de energia térmica do solo depende do calor interno da terra e não das condições atmosféricas, o que estabelece uma constância de condições térmicas no solo que permite a sua potencial utilização como fonte de energia térmica (*idem*).

4.1.1.2. Condutibilidade térmica (em profundidade)

A quantidade de calor que pode ser transmitida por condução no solo depende da capacidade do mesmo em transmitir o calor acumulado, ou seja, da sua condutividade térmica: a quantidade de energia térmica que o solo pode transmitir por segundo a uma distância de um metro. A condutividade térmica do solo depende da textura, da porosidade e da humidade e como tal, varia de solo para solo e para um mesmo solo, de acordo com o seu teor de humidade (Schoffel, 2008).

Normalmente, os solos arenosos apresentam espaçamentos grandes entre partículas e em abundância, porém, a sua porosidade total é menor do que a dos solos argilosos, os quais possuem elevado número de pequenos espaçamentos entre partículas que têm maior

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

capacidade de reter água. Por esta razão, os solos argilosos retêm mais água do que os arenosos (www.girodgeotermia.com).

O teor de humidade afeta drasticamente as propriedades térmicas do solo, no sentido de acréscimos na condutividade térmica e no calor específico à medida que aumenta o teor de humidade do mesmo. Portanto, em condições normais o solo arenoso é mais seco, logo, a sua condutividade térmica e o seu calor específico são menores do que os solos argilosos.

Assim, durante o período diurno, a maior parte da energia incidente fica na superfície do solo arenoso, devido a sua baixa condutividade térmica, provocando um grande aquecimento (temperaturas altas) devido ao seu baixo calor específico. No solo argiloso, uma menor fração de energia incidente fica na superfície, pois, este conduz melhor o calor, ou seja, maior parte dessa energia é transferida para o interior do solo. Associado ao seu calor específico alto, resulta um menor aquecimento (www.paginas.fe.up.pt).

Durante o período noturno, como a sua temperatura é maior, os solos arenosos emitem mais energia e como conduzem mal (a energia de reposição do interior do solo é pequena), ocorre um grande arrefecimento (www.repositorium.sdum.uminho.pt).

Nos solos argilosos, a emissão de energia é menor devido a sua menor temperatura (gradiente menor) e, conseqüentemente, a reposição de energia do interior do solo será maior devido à alta condutividade térmica, o que resulta em menor arrefecimento. Em resumo, a variação da temperatura do solo nos solos arenosos é maior. (www.labvirtual.eq.uc.pt).

4.1.1.3. Camadas existentes

O globo terrestre é constituído pela Crosta como camada superficial, Manto como camada intermédia e pelo Núcleo como camada mais interna (www.anossaescola.com). O solo, considerada a camada mais superficial da crosta é composto por sais minerais dissolvidos na água intersticial, seres vivos e rochas em decomposição. Embora possa haver alguma variação, na generalidade o solo é composto por quatro camadas. A primeira camada é composta por detritos de origem orgânica e por tal, rica em húmus, sendo a segunda composta por sais minerais. A camada seguinte é constituída principalmente por rochas decompostas e por fim a quarta camada por rochas que se apresentam em início de decomposição e por isso parcialmente decompostas (Correia, 2010).

De acordo com as variações que a crosta vai apresentando bem como a própria geologia e localização do local em causa, existem vários tipos de solos. Desta forma podemos considerar cinco grandes tipos de solo: Arenosos, Argilosos, Siltosos, Humíferos e Calcários (www.uni.no.sapo.pt).

Os solos arenosos, são considerados arejados e com teor de areia em cerca de 70%. As plantas e micro organismos vivem com mais dificuldade, devido à pouca humidade.

Os solos argilosos apresentam uma ventilação ou arejamento mais reduzido mas em compensação têm a capacidade de armazenarem maior quantidade de água. Desta forma tornam-se menos permeáveis permitindo que a água circule mais lentamente ficando deste modo retida no solo (www.paginas.fe.up.pt; www.anossaescola.com; agricultura.isa.utl.pt).

Relativamente aos solos siltosos apresentam grande quantidade de silte e têm a característica de serem muito erosíveis. Os solos humíferos contêm uma grande quantidade de húmus relativamente aos restantes. É portanto um solo com características apropriadas para a flora se desenvolver (*idem*).

Por fim os solos calcários têm um arejamento praticamente nulo sendo o calcário a sua quase total constituição (*idem*).

4.1.2. Proximidade de água

4.1.2.1. Nível freático, lençóis de água e águas termais

A água em estado líquido apresenta um papel significativo na moderação do clima envolvente. É necessário mais tempo para aquecer e arrefecer a água do que o ar, como tal, a água liberta lentamente calor para a atmosfera, elevando as temperaturas de ar permitindo moderar as temperaturas envolventes e por isso, ser possível verificar que as temperaturas são mais frias no litoral de verão e mais quentes de inverno em relação a áreas do interior. Da mesma forma, no interior do solo o processo é similar, pelo que, a presença de água é uma forma de manter uma temperatura mais moderada e poder mais facilmente efetuar trocas caloríficas entre o solo, água e os permutadores (www.geotermiadeportugal.pt; Esen, 2006; Houillon, 2005).

A capacidade de retenção de água de um solo é determinada pela sua textura, profundidade, uniformidade bem como pela sua permeabilidade e proximidade de lençóis

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

freáticos. Desta forma, quanto mais argiloso for o terreno maior a sua capacidade de retenção de água. Em contrapartida os solos mais arenosos são mais permeáveis permitindo assim um maior escoamento e uma menor retenção de água (*idem*).

A proximidade da água permite que a humidade do ambiente envolvente seja elevada levando a que quanto menor for a distância à água maior será a facilidade de troca de energia calorífica e como tal, solos com fluxo de água subterrâneas são mais adequados para extração de calor no inverno e frio no verão (*idem*).

Relativamente à existência de água no interior do solo, deverá ser tido em conta a facilidade de congelação da mesma podendo desta forma causar danos nos equipamentos e não permitir as trocas desejadas. No entanto, trata-se de uma situação alheia ao tipo de tubagem utilizada mas, relacionada com as condições climáticas do terreno (Vasiliev *et al*,2005).

4.1.3. Formas de permuta

Um permutador de temperatura é um instrumento que permite a troca de energia calorífica entre o meio envolvente e o líquido que existe no seu interior. Seguidamente o próprio líquido é movimentado pelo interior do permutador através da força de uma bomba de circulação, permitindo desta forma novas trocas sequenciais entre o líquido e a sua envolvente. As permutas caloríficas podem ser efetuadas pelo terreno através de permutadores instalados isoladamente ou instalados em elementos de fundação (www.eneres.es).

4.1.3.1. Horizontal

A aplicação de permutadores na horizontal é possível desde que haja área de terreno suficiente para distender o permutador de forma a poder captar a energia do solo. Os permutadores horizontais são constituídos por uma tubagem colocada em valas cobertas com terra e, dentro da referida tubagem, circula em circuito fechado água com anticongelante que permitirá as trocas energéticas do calor entre terra e o permutador geotérmico (www.eneres.es).

4.1.3.2. Vertical

A aplicação de permutadores na vertical deve-se ao facto do terreno disponível não ser suficiente grande ou quando se pretende otimizar o sistema para reduzir custos. A redução de custos não se prenderá apenas com o custo dos materiais a aplicar, mas também com a custo de escavação necessária para efetuar as furações para aplicação das tubagens. Deve ser tido em conta que nos elementos verticais existem duas soluções (Gudenergy, 2012).

Uma das possibilidades é executada conjuntamente com as fundações⁹ do edifício, ficando integrada nos elementos estruturais, ou seja, aquando da execução das estacas¹⁰ ou das sapatas¹¹ da estrutura, são colocados os permutadores conjuntamente com a armadura das mesmas sendo seguidamente betonados os dois elementos simultaneamente. A outra solução ou reforço, caso a primeira não seja suficiente, é a execução furos individuais devidamente ligados ao circuito e independente da construção (*idem*).

Na utilização de permutadores verticais verifica-se que por cada trinta e três metros percorridos em profundidade se obtém 1°C de temperatura. Dado este incremento, é muitas vezes utilizada a furação independente da estrutura por forma a poder colmatar algumas insuficiências quando os permutadores das fundações não são suficientes para as necessidades desejadas (*idem*).

4.1.4. Equipamentos utilizados¹²

4.1.4.1. Bombas de Calor, Circulação, Tubagens e Líquido Circulante.

A bomba de calor é um equipamento reversível que retém e transfere calor. A sua função é extrair temperatura de um meio, aumentá-la o necessário e libertá-la num meio em que a temperatura ambiente seja inferior à criada. Para que este processo funcione é necessária uma bomba de circulação (Benli, 2009).

⁹ Fundações – elementos responsáveis por transmitir as solicitações das construções aos solos. (Mascarenhas, J 2001)

¹⁰ Estacas - as estacas fazem parte do conjunto de fundações em que podem assentar as estruturas, para suportar as suas cargas e às quais estão ligadas, denominando-se profundas porque recorrem a camadas de terreno não superficiais. (Mascarenhas, J 2001)

¹¹ Sapatas – bloco que suporta o peso da construção. (Mascarenhas, J 2001)

¹² As informações que compõem este subcapítulo têm as seguintes fontes bibliográficas: “*Exertec*”, Enenergias Renováveis, 2012; “*Soliclima*”, Energia Solar; Portal Energia, 2010; “*CHAMA-Equipamentos Térmicos, SA*”, 2011.

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

A bomba de circulação é tal que impõe e permite a movimentação do líquido de aquecimento ou arrefecimento em circuito fechado possibilitando, desta forma, as transferências energéticas entre os meios em que o líquido circula (Houillon, 2005).

Para a bomba de calor poder funcionar é necessária uma fonte calorífica relativamente próxima bem como de permutadores para poder efetuar a absorção e libertação da energia calorífica. Será ainda necessária a presença de uma bomba de circulação para permitir o movimento do líquido circulante que transferirá a temperatura entre os meios energeticamente diferentes (*idem, ibidem*).

Este sistema torna-se completo porque permite a sua utilização de verão e de inverno, isto é, no inverno a bomba de calor efetua aquecimento compensatório da temperatura (que os permutadores extraem do solo) libertando-a no edifício com o auxílio da bomba de circulação e, no verão as bombas de calor cessam o seu funcionamento, sendo apenas necessária a bomba de circulação (para permitir a circulação do líquido que transferirá o calor do edifício para o solo) (Esen, 2006; Houillon, 2005).

Bombas de Calor com Arrefecimento / Aquecimento.

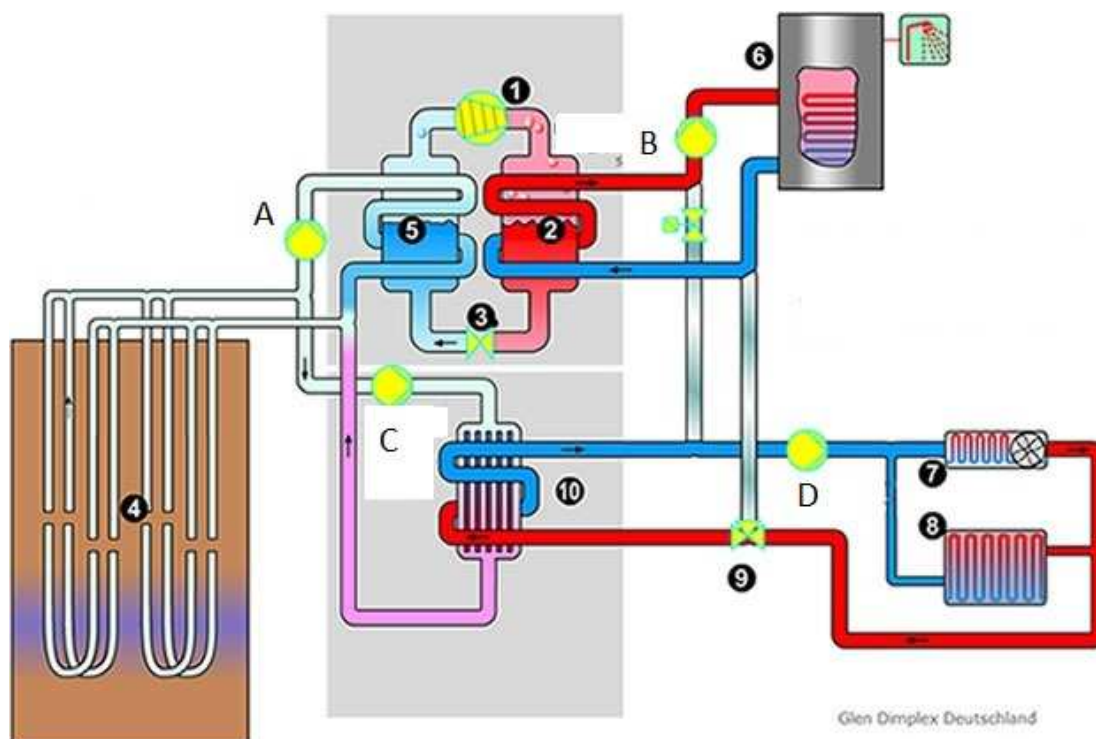


Figura 2. Esquema de funcionamento de bomba de calor com arrefecimento e com aquecimento de águas sanitárias (Fonte: Dimplex, 2012).

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

A- Bomba de circulação de água glicolada – Aquecimento.

B- Eletrocirculador de água quente sanitária.

C- Bomba de circulação de água glicolada – Arrefecimento.

D- Eletrocirculador de aquecimento.

1- O compressor faz com que o fluido frigorífico, que circula em circuito fechado, atinja pressão e temperaturas elevadas.

2- No condensador (permutador de calor) o calor é transferido para o aquecimento central. O fluido frigorífico arrefece e liquefaz-se.

3- Válvula de expansão, o fluido frigorífico expande-se (queda de pressão) e arrefece.

4- Sondas geotérmicas permitem aproveitar o calor constante que existe nas camadas do subsolo, para que a produção de água quente sanitária e como fonte de frio para o arrefecimento passivo.

5- No evaporador (permutador de calor) a energia captada pela sonda geotérmica é transferida para o fluido frigorífico aquecendo e evaporando-se.

6- Para a operação paralela do aquecimento central da água e do arrefecimento passivo, os dois sistemas são separados hidraulicamente por válvulas comutadoras.

7- A água fria ao circular pelo ventiloconvetor envia, através do seu ventilador, para o ar ambiente uma frescura agradável e retira o calor existente. A temperatura de ida tem de ser regulada para não haver condensação. O ventilador possui várias velocidades de funcionamento.

8- A água arrefecida ao circular pelo piso radiante, pelas paredes ou pelo teto arrefece de maneira agradável a superfície da divisão do edifício. Esta superfície funciona como permutador de calor retirando calor do espaço ambiente. A temperatura de ida tem de ser regulada de forma a não haver condensação.

9- As válvulas comutadoras conduzem a água do aquecimento através do permutador passivo de calor e arrefecem-no.

10- Ativando a bomba de circulação / arrefecimento de água glicolada, a energia de água de aquecimento é transferida para o circuito de água glicolada dentro do permutador de calor e dissipa-se no solo.

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

Bombas de Calor com Arrefecimento / sem Aquecimento.

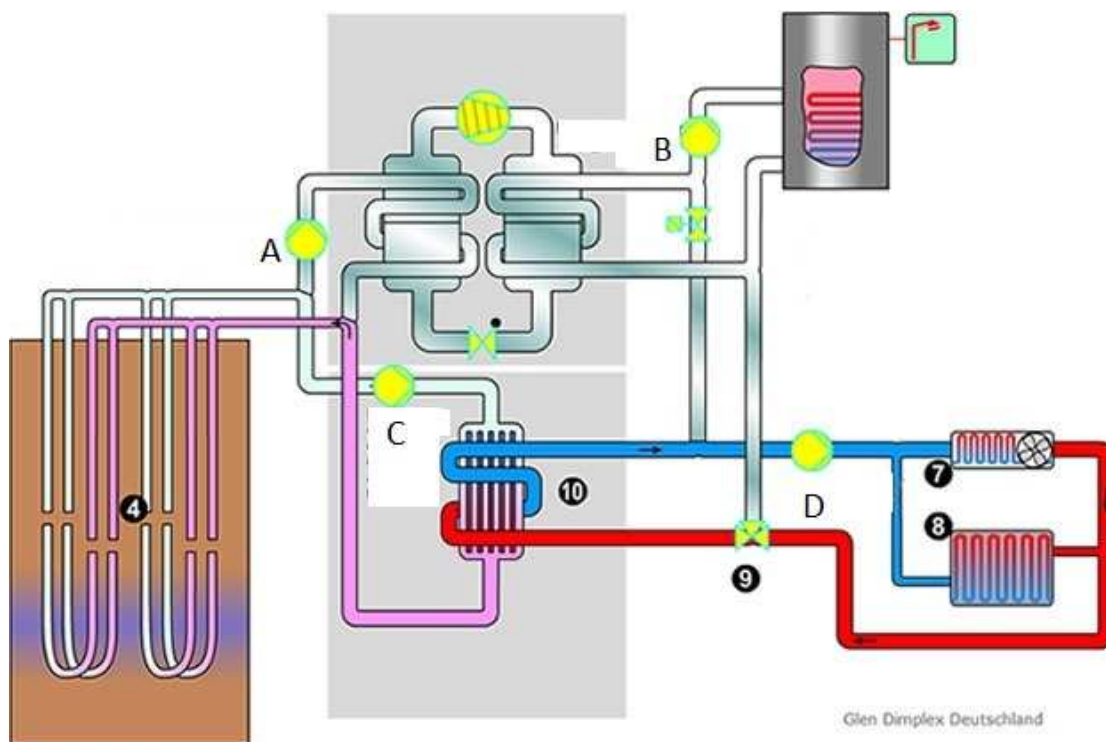


Figura 3. Esquema de funcionamento de bomba de calor com arrefecimento e sem aquecimento de águas sanitárias (Fonte: Dimplex, 2012).

A- Bomba de circulação de água glicolada – Aquecimento.

B- Eletrocirculador de água quente sanitária.

C- Bomba de circulação de água glicolada – Arrefecimento.

D- Eletrocirculador de aquecimento.

4- Sondas geotérmicas permitem aproveitar o calor constante que existe nas camadas do subsolo, para que a produção de água quente sanitária e como fonte de frio para o arrefecimento passivo.

7- A água fria ao circular pelo ventiloconvetor envia, através do seu ventilador, para o ar ambiente uma frescura agradável e retira o calor existente. A temperatura de ida tem de ser regulada para não haver condensação. O ventilador possui várias velocidades de funcionamento.

8- A água arrefecida ao circular pelo piso radiante, pelas paredes ou pelo teto arrefece de maneira agradável a superfície da divisão do edifício. Esta superfície funciona como

permutador de calor retirando calor do espaço ambiente. A temperatura de ida tem de ser regulada de forma a não haver condensação.

9- As válvulas comutadoras conduzem a água de aquecimento através do permutador passivo de calor e arrefecem-no.

10- Ativando a bomba de circulação / arrefecimento de água glicolada, a energia de água de aquecimento é transferida para o circuito de água com glicol dentro do permutador de calor e dissipa-se no solo.

Bombas de Calor com Aquecimento.

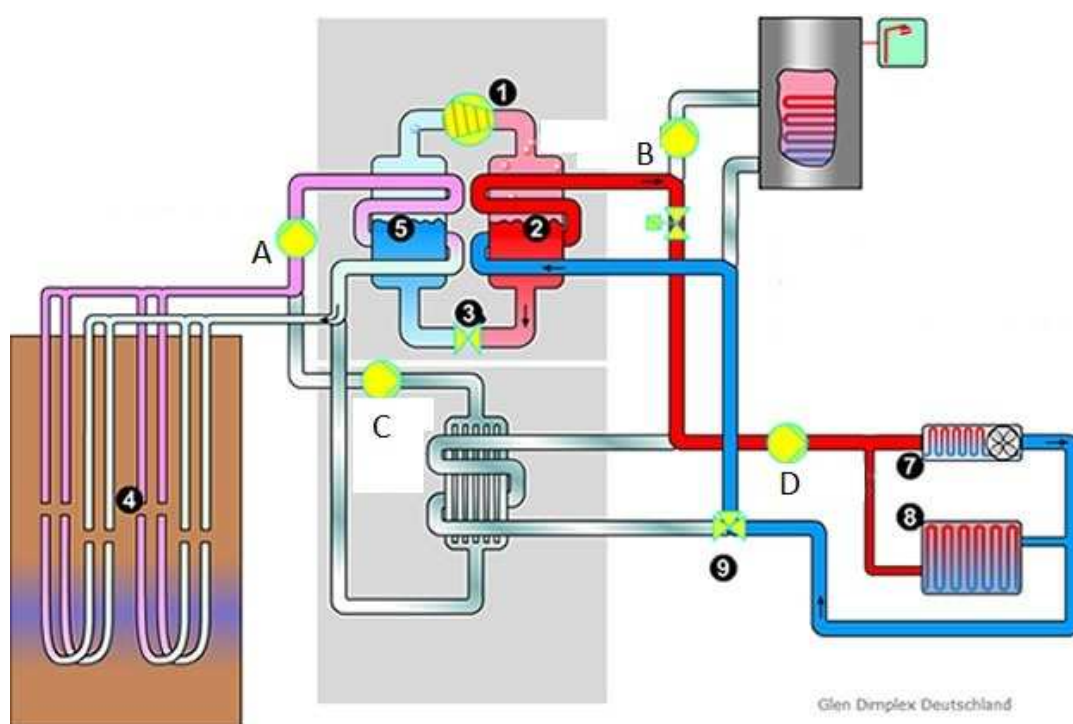


Figura 4. Esquema de funcionamento de bomba de calor com aquecimento (Fonte: Dimplex, 2012).

A- Bomba de circulação de água glicolada – Aquecimento.

B- Eletrocirculador de água quente sanitária.

C- Bomba de circulação de água glicolada – Arrefecimento.

D- Eletrocirculador de aquecimento.

1- O compressor faz com que o fluido frigorífico, que circula em circuito fechado, atinja pressão e temperaturas elevadas.

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

2- No condensador (permutador de calor) o calor é transferido para o aquecimento central. O fluido frigorífico arrefece e liquefaz-se.

3- Na válvula de expansão, o fluido frigorífico expande-se (queda de pressão) e arrefece.

4- Sondas geotérmicas permitem aproveitar o calor constante que existe nas camadas do subsolo, para que a produção de água quente sanitária e como fonte de frio para o arrefecimento passivo.

5- No evaporador (permutador de calor) a energia captada pela sonda geotérmica é transferida para o fluido frigorífico aquecendo e evaporando-se.

7- A água fria ao circular pelo ventiloinveter envia, através do seu ventilador, para o ar ambiente uma frescura agradável e retira o calor existente. A temperatura de ida tem de ser regulada para não haver condensação. O ventilador possui várias velocidades de funcionamento.

8- A água arrefecida ao circular pelo piso radiante, pelas paredes ou pelo teto arrefece de maneira agradável a superfície da divisão do edifício. Esta superfície funciona como permutador de calor retirando calor do espaço ambiente. A temperatura de ida tem de ser regulada de forma a não haver condensação.

9- As válvulas comutadoras conduzem a água de aquecimento através do permutador passivo de calor e arrefecem-no.

Bombas de Calor com aquecimento de Águas Sanitárias.

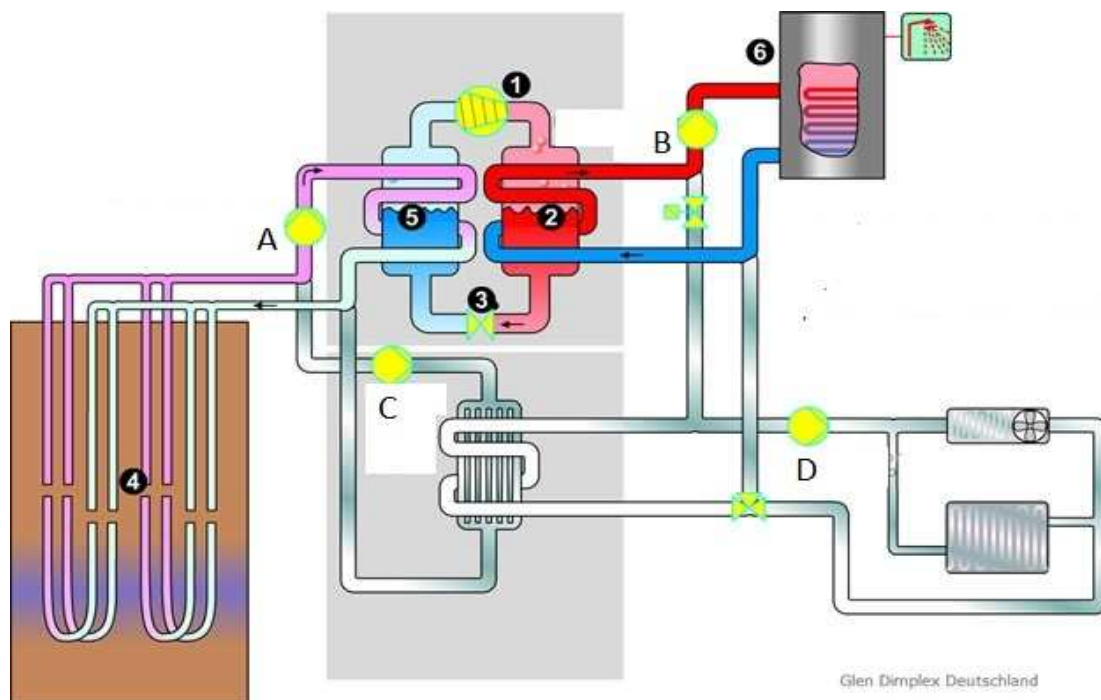


Figura 5. Esquema de funcionamento de bomba de calor com aquecimento de Águas Sanitárias (Fonte: Dimplex, 2012).

A- Bomba de circulação de água glicolada – Aquecimento.

B- Eletrocirculador de água quente sanitária.

C- Bomba de circulação de água glicolada – Arrefecimento.

D- Eletrocirculador de aquecimento.

1- O compressor faz com que o fluido refrigerante, que circula em circuito fechado, atinja pressão e temperaturas elevadas.

2- No condensador (permutador de calor) o calor é transferido para o aquecimento central. O fluido refrigerante arrefece e liquefaz-se.

3- Na válvula de expansão, o fluido refrigerante expande-se (queda de pressão) e arrefece.

4- Sondagens geotérmicas permitem aproveitar o calor constante que existe nas camadas do subsolo, para que a produção de água quente sanitária e como fonte de frio para o arrefecimento passivo.

5- No evaporador (permutador de calor) a energia captada pela sonda geotérmica é transferida para o fluido refrigerante. Este aquece e evapora-se.

6- Para a operação paralela do aquecimento central da água e do arrefecimento passivo, os dois sistemas são separados hidraulicamente por válvulas comutadoras.

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

4.1.5. Identificação e avaliação de custos de investimento, manutenção e conservação para os sistemas de Geotermia e Biotermia

Tendo por base considerações da “Human Resources Portugal” (2012) bem como o IAPMEI, pode considerar-se que o retorno de um investimento é o ponto de equilíbrio entre o investimento inicialmente efetuado e os lucros ou ganhos obtidos por esse mesmo investimento. Qualquer investimento deve proporcionar um retorno igual ou superior ao gasto inicial.

Um *investimento* traduz a aplicação financeira com o objetivo de *recuperar e ter lucros* em relação ao investido inicial. No caso prático, em estudo neste trabalho, o investimento inicial é resultado da diferença de custo originada pela substituição do sistema de aquecimento Tradicional (AVAC e Gás) pelo sistema da Geotermia com recurso a AVAC Primário (www.enat.pt).

Tendo a Geotermia como função a reutilização de energia existente e renovável, originará uma *redução nos gastos* de energia elétrica e gás aquando da sua utilização. Assim, o custo associado aos gastos de energia elétrica para o funcionamento do sistema de Geotermia, será inferior ao custo que o sistema Tradicional teria, se implementado no mesmo local.

Considerando que financeiramente o *retorno do investimento inicial é a poupança no custo* da energia gasta, atinge-se o *ponto de equilíbrio* quando o valor monetário do que se poupou em energia for igual ao valor do investimento efetuado. Após este equilíbrio, pode considerar-se que o *investimento inicial está recuperado* e que a partir desse momento já *existe lucro*. No caso concreto da Geotermia significa que o valor inicial já se recuperou e que doravante há poupança nos gastos e custos no valor pago pela energia (www.geotermiadeportugal.pt; www.airpac.eu; www.energiasrenovaveis.com).

Para a análise do estudo do retorno e da viabilidade da implementação de um sistema de Geotermia é necessário ter em conta a relação existente entre os vários fatores associados, por isso, será necessário ter em conta o *valor do investimento* que se traduz no valor monetário da diferença de custo existente entre o que se encontrava inicialmente preconizado e o *custo inerente às alterações efetuadas para a implementação do sistema de Geotermia*. Seguidamente, deverá ainda considerar-se a diferença entre o custo a ter no gasto de energia entre: o consumo previsto para os equipamentos associados ao sistema de

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

aquecimento inicial e o custo associado aos equipamentos utilizado no sistema de Geotermia (www.energia.gr; www.ecen.com, www.eda.pt).

Os gastos monetários considerados no consumo de energia, para os equipamentos, deverão ser considerados para o mesmo número de horas de utilização e considerando as mesmas temperaturas exteriores. Deverá ser ainda considerado o gasto monetário referente ao consumo de energia que é obtido através da potência dos equipamentos, consumo energético dos mesmos e custo da estrutura assente em eletricidade e gás em vigor (*idem*).

Produzidos os respetivos cálculos, poderá ser realizada a análise entre o que se previa gastar em energia, com o sistema Tradicional, e o consumo com o sistema de Geotermia para um determinado período, considerando os fatores externos iguais para ambas as situações (www.iapmei.pt; www.investidor.pt; www.weg.net; www.abacusproperty.pt).

Após os resultados anteriores, referentes ao investimento inicial e o resultado da diferença de custo de energia previsto gastar, é possível obter uma previsão para o ponto ótimo ou de equilíbrio entre o gasto inicial e o recuperado (*idem*).

Desta forma e, considerando o período de tempo de cálculo para o consumo de energia dos equipamentos de um ano, o ponto ótimo é obtido pelo quociente entre o valor da diferença do investimento inicial e o valor do custo poupado em energia durante um ano.

Assim, podemos aferir que nos encontramos a recuperar o investimento efetuado até atingir o valor do quociente anterior e a partir desse valor encontramos-nos a poupar energia e, conseqüentemente, a gastar menos monetariamente para as mesmas necessidades de conforto energéticas (*idem*).

Para uma correta e eficaz implementação de um sistema ou solução, é necessário ter em conta alguns cuidados e conhecimentos relativamente ao que se pretende implementar. Para o efeito, é necessário ter em conta o estudo de dimensionamento e adaptabilidade ao local e ao edifício a implementar, dados sobre o estudo económico e financeiro da viabilidade do processo e respetivo retorno do custo investido (www.poliemprende.estga.ua.pt).

Como em qualquer iniciativa de investimento é necessário determinar os custos fixos relacionados com os projetos e execução da solução a implementar, assim como, os custos variáveis relacionados com a manutenção dos sistemas e maquinaria adotada bem como o custo da energia necessária para o correto funcionamento do sistema (www.investmentosnapratica.com).

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

No caso da Biotermia e, para além dos custos atrás mencionados, são relevantes os valores monetários associados a intervenções, por exemplo o corte de vias para acesso às tubagens a intervir, o desvio temporário e em caso de necessidade, das águas residuais associadas às tubagens em uso (LNEG, 2001; Kinouchi, 2006)

É também necessário considerar os fatores influenciadores das águas residuais e respetivas redes de tratamento como a temperatura sazonal, a capacidade de produção de energia bem como a capacidade de dissipação da mesma. Outro fator que se deve ter em conta é a proximidade de níveis freáticos e a sua influência quanto à moderação da temperatura na envolvente das tubagens (Houillon, 2005).

Relativamente às formas de permuta de temperatura o tipo de escoamento (livre ou sob pressão) poderá ter influência devido ao contacto das águas residuais com as paredes das tubagens. Da mesma forma o tipo de bombas, materiais de tubagem a utilizar bem como os líquidos são também importantes dado que são partes integrantes do processo (www.eneres.es).

4.2. Caso de estudo – Edifício da ESSUA da Universidade de Aveiro

4.2.1. Avaliação económica e financeira, da solução convencional e inicialmente projetada com a solução utilizada e aplicada em Obra.

Localização do Edifício da Escola Superior de Saúde da Universidade de Aveiro (ESSUA).



Figura 6. Fotografia aérea da implantação da Escola Superior de Saúde da Universidade de Aveiro (Cardoso, 2011).

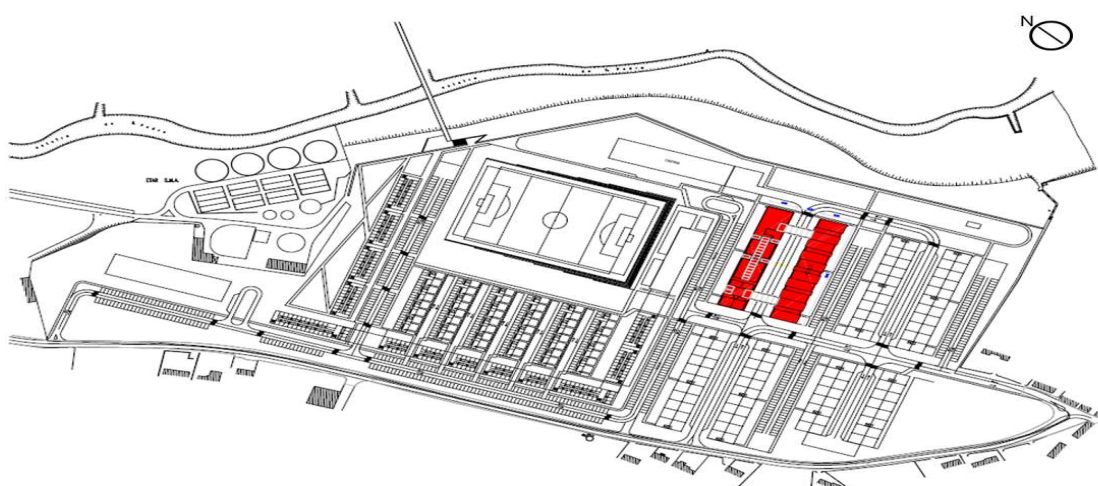



Figura 7. Implantação da Escola superior de Saúde da Universidade de Aveiro no Plano Urbanístico do Polo do Crasto (Cardoso, 2011).

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo


A tabela a seguir apresentada, contem os valores médios do clima no local de implantação do edifício durante o período de um ano.

Tabela 3. Dados do Meio Físico e Bioclimático do local onde se encontra o edifício da ESSUA.



NASA Surface meteorology and Solar Energy: [RETScreen Data](#)

Latitude **40.633** / Longitude **-8.65** was chosen.



Parameter	Unit	Climate data location
Latitude	°N	40.633
Longitude	°E	-8.65
Elevation	m	193
Heating design temperature	°C	3.26
Cooling design temperature	°C	29.00
Earth temperature amplitude	°C	17.69
Frost days at site	day	2

Month	Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree days	Cooling degree days
	°C	%	kWh/m ² /d	kPa	m/s	°C	°C·d	°C·d
January	8.8	74.3%	2.03	99.3	5.2	7.8	272	21
February	9.7	70.8%	2.90	99.3	5.5	9.3	224	29
March	12.3	60.3%	4.26	99.0	5.3	13.0	167	89
April	13.8	58.9%	5.52	98.7	5.1	15.4	134	114
May	17.1	55.0%	6.35	98.7	4.7	19.6	64	215
June	21.3	48.1%	7.09	98.9	4.4	24.5	11	338
July	23.6	46.0%	7.01	98.9	4.5	26.9	0	423
August	22.9	50.8%	6.27	98.8	4.3	25.5	0	402
September	20.6	55.0%	4.84	98.9	4.2	22.2	9	324
October	16.5	65.7%	3.25	98.9	4.5	16.7	59	208
November	12.5	72.2%	2.18	99.0	5.0	11.8	155	90
December	10.2	74.5%	1.68	99.2	5.4	9.2	230	42
Annual	15.8	61.0%	4.45	99.0	4.8	16.8	1325	2295
Measured at (m)					10.0	0.0		

Tabela representativa dos dados Físicos e Bioclimáticos do local de implantação do edifício da ESSUA (Cardoso, 2011).

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

Na tabela 4 a seguir apresentada, pode verificar-se a proposta referente às condições esperadas com a implementação do sistema de AVAC Primário e Sistema de Geotermia.

Tabela 4. Proposta de implementação do sistema de Geotermia.

ELEMENTOS PASSIVOS	Qualidade				Pontuação do Edifício	Pontuação Máxima	Custos (€)	Economia (%)
Orientação	Nula				0	122		0
Aproveitamento Solar		Baixa			16	122		0
Proteção Solar			Média		32	122		15
Isolamento				Boa	88	100		0
Inercia				Boa	24	30		0
Pré Tratamento				Muito Boa	240	240		0
Estanquidade				Boa	12	16		0
Recuperação				Muito Boa	28	28		0
Aproveitamento da Luz Natural			Média		8	20		0
Arrefecimento Passivo				Boa	72	100		0
				TOTAL	520	900		15
ELEMENTOS ATIVOS (distribuição)	Qualidade				Pontuação do Edifício	Pontuação Máxima	Custos (€)	Economia (%)
Sistemas Inerciais				Muito Boa	10	10		10
Piso Radiante					0	8		0
Radiadores Superiores					0	5		15
Ventiloconvetores					0	4		0
Tratamento do Ar					0	2		0
Radiadores Inferiores					0	-8		0
ELEMENTOS ATIVOS (geração)	Qualidade				Pontuação do Edifício	Pontuação Máxima	Custos (€)	Economia (%)
Aquecimento Solar de Ar					0	25		0
Aquecimento Solar de Água					0	18		0
Aquecimento Geotérmico de Ar					0	50		0
Aquecimento Geotérmico				Muito Boa	15	35		35
Arrefecimento a Gás					0	0		0
Bomba de Calor					0	-5		0
Uso de Gás					0	0		0
Uso de Gasóleo					0	0		0

Análise, avaliação e proposta da eficiência energética do edifício com o sistema de AVAC Primário e sistema de Geotermia a implementar no edifício da ESSUA (Cardoso, 2011).

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

Tabela 5. Análise das componentes do sistema de Geotermia implementado em obra para satisfazer e melhorar as necessidades energéticas existentes.

SISTEMA DE AQUECIMENTO	SISTEMA DE AVAC PRIMÁRIO E GEOTERMIA
VALOR DE ACESSÓRIOS/m ²	110,78 €
VALOR DE EQUIPAMENTOS/m ²	28,37 €
TOTAIS /m ²	139,15 €

Tabela representativa dos elementos referentes ao sistema de AVAC primário e Geotermia (Autoria Própria, 2012).

De acordo com a tabela 5, que indica o custo de implementação do sistema de Geotermia em €/m², podem comparar-se os valores dos custos apresentados para o fornecimento e aplicação dos acessórios bem como do valor do fornecimento e aplicação de equipamentos que são de 110,78€/m² e 28,37€/m², respetivamente.

Abaixo, pode verificar-se o gráfico representativo da tabela 5 acima apresentada e que contem os somatórios do valores dos acessórios e do valor dos materiais em €/m² da aplicação do sistema de Geotermia.

Comparação económica dos elementos do sistema implementado.

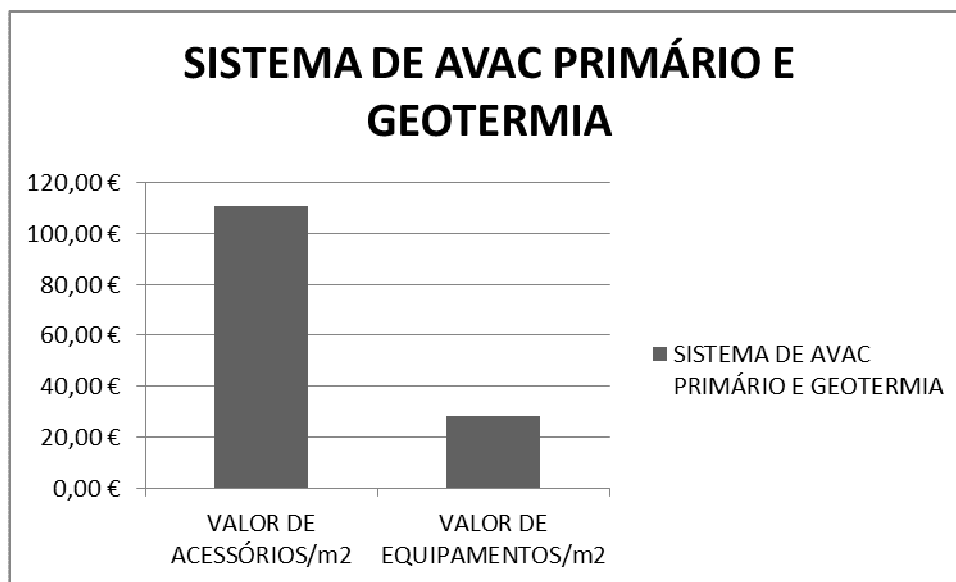


Figura 8. Gráfico representativo do custo das componentes do sistema implementado (Autoria Própria, 2012).

Tabela 6. Dados referentes às bombas de calor A, B, C e D em funcionamento para aquecimento.

Bombas Calor em Aquecimento (Sala Máquinas A,B,C,D)						
Aquecimento						
Mês	Necessidades Aquecimento (KWh)	Consumo Eléctrico (KWh)	Térmica		Electricidade	Factura (€/m ²)
			Horas de Funcionamento	Energia Produzida (KWh/mês)	Energia Consumida (KWh/mês)	
Janeiro	268,4	63,89	157	42138,8	10.030,43	0,121
Fevereiro	236	56,18	105	24780	5.898,46	0,071
Março	209,7	49,92	45	9436,5	2.246,20	0,027
Abril	211,8	50,42	66	13978,8	3.327,42	0,040
Maior	174,8	41,61	5	874	208,04	0,003
Junho	0	0,00	0	0	0,00	0,000
Julho	0	0,00	0	0	0,00	0,000
Agosto	0	0,00	0	0	0,00	0,000
Setembro	0	0,00	0	0	0,00	0,000
Outubro	141,4	33,66	2	282,8	67,32	0,001
Novembro	213,9	50,92	130	27807	6.618,98	0,080
Dezembro	227,4	54,13	157	35701,8	8.498,21	0,102
TOTAIS					36.895,05	0,44

Tabela de cálculo do consumo de energia eléctrica necessária para aquecimento e respetivo valor mensal a pagar pelo consumo das 4 bombas instaladas (Autoria Própria, 2012).

A tabela 6 apresenta, para as bombas de calor em aquecimento, o cálculo mensal da energia consumida em KWh/mês bem como o valor monetário a pagar pela mesma em cada mês num período de um ano. Estes valores são determinados pelos dados facultados pelo fabricante, projetista e fornecedor dos equipamentos instalados. Estes dados, consumo dos equipamentos e as horas de funcionamento necessárias para satisfazer as necessidades energéticas em período de aquecimento, também apresentados na tabela anterior, permitem o cálculo da energia consumida bem como do valor a pagar pela mesma.

À semelhança da tabela anterior, a tabela 7, apresenta para as bombas de calor em arrefecimento, o cálculo mensal da energia consumida em KWh/mês bem como o valor monetário a pagar pela mesma em cada mês num período de um ano. Estes valores são determinados pelos dados facultados pelo fabricante, projetista e fornecedor dos equipamentos instalados. Estes dados, consumo dos equipamentos e as horas de funcionamento necessárias para satisfazer as necessidades energéticas em período de

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

aquecimento, também apresentados na tabela anterior permitem o cálculo da energia consumida bem como do valor a pagar pela mesma.

Tabela 7. Dados referentes às bombas de calor A, B, C e D em funcionamento para arrefecimento.

Bombas Calor (Sala Máquinas A,B,C,D)						
Arrefecimento						
Mês	Necessidades Arrefecimento (KWh)	Consumo Eléctrico (KW)	Térmica		Electricidade	Factura (€/m2)
			Horas de Funcionamento	Energia Consumida (KWh/mês)	Energia Consumida (KWh/mês)	
Janeiro	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,000
Fevereiro	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,000
Março	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,000
Abril	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,000
Mai	186,7	57,8	15	2.800,50	867,73	0,010
Junho	202,8	62,8	39	7.909,20	2.450,65	0,029
Julho	213,6	66,2	190	40.584,00	12.574,86	0,151
Agosto	210,7	65,3	155	32.658,50	10.119,16	0,122
Setembro	202,3	62,7	122	24.680,60	7.647,23	0,092
Outubro	192,4	59,6	23	4.425,20	1.371,14	0,017
Novembro	0,0	0,0	0	0,00	0,00	0,000
Dezembro	0,0	0,0	0	0,00	0,00	0,000
TOTAIS					35.030,77	0,42

Tabela de cálculo do consumo de energia elétrica necessária para arrefecimento e respetivo valor mensal a pagar pelo consumo das 4 bombas instaladas (Autoria Própria, 2012).

A tabela 8, apresenta para as bombas de circulação, a determinação do custo mensal pelo período de um ano referente à energia mensal consumida pelas mesmas. Estes dados são determinados também com o recurso a valores de caudais, consumos de eletricidade e horas de funcionamento facultadas pelo fabricante, projetista e fornecedor.

As tabelas 9, 10, 11, 12 e 13 apresentam também a determinação dos valores monetários associados ao consumo de energia consumida referente às restantes bombas de circulação existentes no edifício. São, como as anteriores, compostas por valores facultados pelo fabricante, projetista e fornecedor dos equipamentos instalados. Através destes dados foi possível determinar os valores pretendidos para o presente estudo.

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

Tabela 8. Dados referentes à bomba de circulação 1 associada à sala de máquinas (A, B, C e D) em funcionamento para aquecimento e arrefecimento.

Bomba de Circulação B1 (Sala Máquinas A,B,C,D)								
Aquecimento e Arrefecimento								
Mês	Caudal (m ³ /h)	Consumo Eléctrico (KWh)	Horas de Funcionamento Aquecimento	Horas de Funcionamento Arrefecimento	Horas de Funcionamento Total	Energia Consumida (KWh/mês)	Quantidade	Factura (€/m ²)
Janeiro	16,6	0,75	157	0,0	157,0	117,75	4	0,006
Fevereiro	16,6	0,75	105	0,0	105,0	78,75	4	0,004
Março	16,6	0,75	45	0,0	45,0	33,75	4	0,002
Abril	16,6	0,75	66	0,0	66,0	49,5	4	0,002
Maio	16,6	0,75	5	15	20,0	15	4	0,001
Junho	16,6	0,75	0	39	39,0	29,25	4	0,001
Julho	16,6	0,75	0	190	190,0	142,5	4	0,007
Agosto	16,6	0,75	0	155	155,0	116,25	4	0,006
Setembro	16,6	0,75	0	122	122,0	91,5	4	0,004
Outubro	16,6	0,75	2	23	25,0	18,75	4	0,001
Novembro	16,6	0,75	130	0	130,0	97,5	4	0,005
Dezembro	16,6	0,75	157	0	157,0	117,75	4	0,006
TOTAIS						908,25		0,04

Tabela de cálculo do consumo de energia elétrica necessária para a bomba de circulação 1 na sala de máquinas (Autoria Própria, 2012).

Tabela 9. Dados referentes à bomba de circulação 2 associada à sala de máquinas (A, B, C e D) em funcionamento para aquecimento e arrefecimento.

Bombas de Circulação B2 (Sala Máquinas A,B,C,D)								
Aquecimento e Arrefecimento								
Mês	Caudal (m ³ /h)	Consumo Eléctrico (KW)	Horas de Funcionamento Terreno	Horas de Funcionamento Dry-Cooler	Total de Horas de Funcionamento	Energia Consumida (KWh/mês)	Quantidade	Factura (€/m ²)
Janeiro	26,6	1,5	27,8	0	27,8	41,7	4	0,002
Fevereiro	26,6	1,5	27,8	0	27,8	41,7	4	0,002
Março	26,6	1,5	27,8	0	27,8	41,7	4	0,002
Abril	26,6	1,5	27,8	0	27,8	41,7	4	0,002
Maio	26,6	1,5	27,8	7,5	35,3	52,95	4	0,003
Junho	26,6	1,5	27,8	19,5	47,3	70,95	4	0,003
Julho	26,6	1,5	27,8	95	122,8	184,2	4	0,009
Agosto	26,6	1,5	27,8	77,5	105,3	157,95	4	0,008
Setembro	26,6	1,5	27,8	61	88,8	133,2	4	0,006
Outubro	26,6	1,5	27,8	11,5	39,3	58,95	4	0,003
Novembro	26,6	1,5	27,8	0	27,8	41,7	4	0,002
Dezembro	26,6	1,5	27,8	0	27,8	41,7	4	0,002
TOTAIS						908,40		0,04

Tabela de cálculo do consumo de energia elétrica necessária para a bomba de circulação 2 na sala de máquinas (Autoria Própria, 2012).

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

Tabela 10. Dados referentes à bomba de circulação 3 associada à sala de máquinas (A, B, C e D) em funcionamento para aquecimento e arrefecimento.

Bombas de Circulação B3 (Sala Máquinas A,B,C,D)									
Aquecimento e Arrefecimento									
Mês	Caudal (m ³ /h)	Consumo Eléctrico (KW)	Horas de Funcionamento Terreno	Horas de Funcionamento Aquecimento	Horas de Funcionamento Arrefecimento	Total de Horas de Funcionamento	Energia Consumida (KWh/mês)	Quantidades	Factura (€/m ²)
Janeiro	16,2	3	27,8	157	0	184,8	554,4	4	0,027
Fevereiro	16,2	3	27,8	105	0	132,8	398,4	4	0,019
Março	16,2	3	27,8	45	0	72,8	218,4	4	0,011
Abril	16,2	3	27,8	66	0	93,8	281,4	4	0,014
Maió	16,2	3	27,8	5	15	47,8	143,4	4	0,007
Junho	16,2	3	27,8	0	39	66,8	200,4	4	0,010
Julho	16,2	3	27,8	0	190	217,8	653,4	4	0,031
Agosto	16,2	3	27,8	0	155	182,8	548,4	4	0,026
Setembro	16,2	3	27,8	0	122	149,8	449,4	4	0,022
Outubro	16,2	3	27,8	2	23	52,8	158,4	4	0,008
Novembro	16,2	3	27,8	130	0	157,8	473,4	4	0,023
Dezembro	16,2	3	27,8	157	0	184,8	554,4	4	0,027
TOTAIS							4.633,80		0,22

Tabela de cálculo do consumo de energia elétrica necessária para a bomba de circulação 3 na sala de máquinas (Autoria Própria, 2012).

Tabela 11. Dados referentes à bomba de circulação 4 associada à sala de máquinas (A, e D) em funcionamento para aquecimento e arrefecimento.

Bomba de Circulação B4 (Sala Máquinas A,D)								
Aquecimento e Arrefecimento								
Mês	Caudal (m ³ /h)	Consumo Eléctrico (KWh)	Horas de Funcionamento Aquecimento	Horas de Funcionamento Arrefecimento	Horas de Funcionamento Total	Energia Consumida (KWh/mês)	Quantidades	Factura (€/m ²)
Janeiro	7,98	2,20	157	0,0	157,0	345,4	2	0,008
Fevereiro	7,98	2,20	105	0,0	105,0	231	2	0,006
Março	7,98	2,20	45	0,0	45,0	99	2	0,002
Abril	7,98	2,20	66	0,0	66,0	145,2	2	0,003
Maió	7,98	2,20	5	15	20,0	44	2	0,001
Junho	7,98	2,20	0	39	39,0	85,8	2	0,002
Julho	7,98	2,20	0	190	190,0	418	2	0,010
Agosto	7,98	2,20	0	155	155,0	341	2	0,008
Setembro	7,98	2,20	0	122	122,0	268,4	2	0,006
Outubro	7,98	2,20	2	23	25,0	55	2	0,001
Novembro	7,98	2,20	130	0	130,0	286	2	0,007
Dezembro	7,98	2,20	157	0	157,0	345,4	2	0,008
TOTAIS						2.664,20		0,06

Tabela de cálculo do consumo de energia elétrica necessária para a bomba de circulação 4 na sala de máquinas (Autoria Própria, 2012).

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

Tabela 12. Dados referentes à bomba de circulação 4 associada à sala de máquinas (B e C) em funcionamento para aquecimento e arrefecimento.

Bomba de Circulação B4 (Sala Máquinas B,C)								
Aquecimento e Arrefecimento								
Mês	Caudal (m ³ /h)	Consumo Eléctrico (KWh)	Horas de Funcionamento Aquecimento	Horas de Funcionamento Arrefecimento	Horas de Funcionamento Total	Energia Consumida (KWh/mês)	Quantidades	Factura (€/m2)
Janeiro	11,5	3,00	157	0,0	157,0	471	2	0,011
Fevereiro	11,5	3,00	105	0,0	105,0	315	2	0,008
Março	11,5	3,00	45	0,0	45,0	135	2	0,003
Abril	11,5	3,00	66	0,0	66,0	198	2	0,005
Maió	11,5	3,00	5	15	20,0	60	2	0,001
Junho	11,5	3,00	0	39	39,0	117	2	0,003
Julho	11,5	3,00	0	190	190,0	570	2	0,014
Agosto	11,5	3,00	0	155	155,0	465	2	0,011
Setembro	11,5	3,00	0	122	122,0	366	2	0,009
Outubro	11,5	3,00	2	23	25,0	75	2	0,002
Novembro	11,5	3,00	130	0	130,0	390	2	0,009
Dezembro	11,5	3,00	157	0	157,0	471	2	0,011
TOTAIS						3.633,00		0,09

Tabela de cálculo do consumo de energia elétrica necessária para a bomba 4 de circulação na sala de máquinas (Autoria Própria, 2012).

Tabela 13. Dados referentes às bombas de circulação (5, 6, 7 e 8) associadas à sala de máquinas (A, B, C e D), em funcionamento para aquecimento e arrefecimento.

Bomba de Circulação B5, B6, B7, B8 (Sala Máquinas A, B,C,D)								
Aquecimento e Arrefecimento								
Mês	Caudal (m ³ /h)	Consumo Eléctrico (KWh)	Horas de Funcionamento Aquecimento	Horas de Funcionamento Arrefecimento	Horas de Funcionamento Total	Energia Consumida (KWh/mês)	Quantidades	Factura (€/m2)
Janeiro	11,5	3,00	184,8	0,0	184,8	554,4	4	0,027
Fevereiro	11,5	3,00	132,8	0,0	132,8	398,4	4	0,019
Março	11,5	3,00	72,8	0,0	72,8	218,4	4	0,011
Abril	11,5	3,00	93,8	0,0	93,8	281,4	4	0,014
Maió	11,5	3,00	32,8	15,0	47,8	143,4	4	0,007
Junho	11,5	3,00	27,8	39,0	66,8	200,4	4	0,010
Julho	11,5	3,00	27,8	190,0	217,8	653,4	4	0,031
Agosto	11,5	3,00	27,8	155,0	182,8	548,4	4	0,026
Setembro	11,5	3,00	27,8	122,0	149,8	449,4	4	0,022
Outubro	11,5	3,00	29,8	23,0	52,8	158,4	4	0,008
Novembro	11,5	3,00	157,8	0,0	157,8	473,4	4	0,023
Dezembro	11,5	3,00	184,8	0,0	184,8	554,4	4	0,027
TOTAIS						4.633,80		0,22

Tabela de cálculo do consumo de energia elétrica necessária para as bombas 5/6/7/8 de circulação na sala de máquinas (Autoria Própria, 2012).

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

Tabela 14. Dados referentes ao Dry-Coller¹³ em funcionamento para aquecimento e arrefecimento.

DRY-Cooler (Sala Máquinas A,B,C,D)								
Aquecimento e Arrefecimento								
Mês	Caudal (m ³ /h)	Consumo Eléctrico (KWh)	Horas de Funcionamento Aquecimento	Horas de Funcionamento Arrefecimento	Horas de Funcionamento Total	Energia Consumida (KWh/mês)	Quantidades	Factura (€/m2)
Janeiro	11,5	3,20	0	0,0	0,0	0	2	0,000
Fevereiro	11,5	3,20	0	0,0	0,0	0	2	0,000
Março	11,5	3,20	0	0,0	0,0	0	2	0,000
Abril	11,5	3,20	0	0,0	0,0	0	2	0,000
Maió	11,5	3,20	0	7,5	7,5	24	2	0,001
Junho	11,5	3,20	0	19,5	19,5	62,4	2	0,002
Julho	11,5	3,20	0	95,0	95,0	304	2	0,007
Agosto	11,5	3,20	0	77,5	77,5	248	2	0,006
Setembro	11,5	3,20	0	61,0	61,0	195,2	2	0,005
Outubro	11,5	3,20	0	11,5	11,5	36,8	2	0,001
Novembro	11,5	3,20	0	0,0	0,0	0	2	0,000
Dezembro	11,5	3,20	0	0,0	0,0	0	2	0,000
TOTAIS						870,40		0,02

Tabela de cálculo do consumo de energia elétrica necessária para o funcionamento do dry-coller (Autoria Própria, 2012).

A tabela 14 apresenta, de acordo com as anteriores, o custo necessário para o funcionamento do *Dry-Cooler*. Assim, sendo um dissipador de calor funciona apenas em alturas de necessidade de arrefecimento. Os dados necessários para o cálculo da energia consumida bem como dos custos mensais esperados, foram determinados através dados facultados pelo fabricante, projetista e fornecedor.

Na tabela seguinte (Tabela 15) é possível verificar o custo anual por m² estimado gastar para o funcionamento dos equipamentos de tratamento de ar no edifício. Da mesma forma que nas tabelas anteriores, os dados para a sua determinação foram fornecidos pelo fabricante, projetista e fornecedor.

¹³ Dry-coller: equipamento usado para efetuar a dissipação de energia calorífica quando o sistema em que este se insere já se encontra saturado

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

Tabela 15. Dados referentes às UTA's para tratamento de ar utilizado no edifício.

Mês	Unidades de Tratamento de Ar														Fatura (€/m ²)	
	Caudal (m ³ /h)		Arrefecimento (KW)	Consumo Elétrico (KW)		Recuperação (%)	Ocupação (%)	Caudal Real (m ³ /h)		Necessidades Reais		Horas de Funcionamento	Energia Consumida (KWh/ano)			
	Insuflação	Retorno		Aquecimento (KW)	Arrefecimento (KW)			Insuflação	Retorno	Aquecimento (KW)	Arrefecimento (KW)		Insuflação	Retorno		
UTAN-1	6000	6000	16,8	7,5	1,1	1,1	0,65	1	6000	6000	10,92	4,875	176	193,6	193,6	0,005
UTAN-2	6000	6000	16,8	7,5	1,1	1,1	0,65	1	6000	6000	10,92	4,875	176	193,6	193,6	0,005
UTAN-3	6000	6000	16,8	7,5	1,1	1,1	0,65	1	6000	6000	10,92	4,875	176	193,6	193,6	0,005
UTAN-4	4950	4950	15,6	15,6	1,1	1,1	0,65	1	4950	4950	10,14	10,14	176	193,6	193,6	0,005
UTAN-5	4950	4950	15,6	15,6	1,1	1,1	0,65	1	4950	4950	10,14	10,14	176	193,6	193,6	0,005
UTAN-6	11750	8800	42,9	17	1,5	1,5	0,65	1	11750	8800	27,885	11,05	176	264	264	0,006
UTAN-7	11900	0	22,7	0	5,5	0	0,65	1	11900	0	14,755	0	176	968	0	0,012
UTAN-8	5400	2700	23,5	14,5	1,1	1,1	0,65	1	5400	2700	15,275	9,425	176	193,6	193,6	0,005
UTAN-9	8600	4300	37,2	20	1,1	1,1	0,65	1	8600	4300	24,18	13	176	193,6	193,6	0,005
UTAN-10	12450	11150	41,6	16,3	5,5	3	0,65	1	12450	11150	27,04	10,595	176	968	528	0,018
UTAN-11	8400	7800	24,7	10,5	1,1	1,1	0,65	1	8400	7800	16,055	6,825	176	193,6	193,6	0,005
UTAN-12	6000	6000	12,3	8,8	1,1	1,1	0,65	1	6000	6000	7,995	5,72	176	193,6	193,6	0,005
UTAN-13	6000	6000	12,3	8,8	1,1	1,1	0,65	1	6000	6000	7,995	5,72	176	193,6	193,6	0,005
UTAN-14	1400	1050	5	6	0,55	0,55	0,65	1	1400	1050	3,25	3,9	176	96,8	96,8	0,002
TOTAIS														3.845,60	2.437,60	0,08

Tabela de cálculo do consumo de energia elétrica necessária para o funcionamento das unidades de tratamento de ar (Autoria Própria, 2012)

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

Tabela 16. Consumo necessário para o funcionamento anual do sistema de Geotermia.

Consumo anual (€/m²)	
Consumo dos equipamentos necessários para o funcionamento do sistema de Geotermia em aquecimento e arrefecimento	1,66

Tabela de cálculo do consumo de energia elétrica necessária para o funcionamento anual do sistema de Geotermia (Autoria Própria, 2012).

A tabela acima apresenta resumidamente, o valor em €/m² obtido para o funcionamento do sistema de Geotermia e determinado através das tabelas anteriormente apresentadas.

4.2.2. Conclusões sobre o caso de estudo

O objetivo do trabalho desenvolvido sobre o edifício da ESSUA, tinha por base o estudo da viabilidade e retorno económico da implementação de um sistema de aquecimento / arrefecimento e tratamento de ar através da Geotermia, em substituição do sistema de tratamento de ar e aquecimento / arrefecimento convencional. Para ser possível efetuar esta análise e estudo, é necessário reunir os dados de cada um dos sistemas individualmente. Deste modo, estimar o custo de implementação de cada sistema, o custo de energia anual para o funcionamento correto de cada um dos sistemas e determinar também o custo de manutenção que cada um dos sistemas necessita anualmente para o seu correto funcionamento.

Após a obtenção dos valores atrás referidos e, tendo em conta, que se prevê que o custo de implementação do sistema de Geotermia será mais elevado que a implementação do sistema Tradicional, para se obter o tempo de retorno do investimento inicial seria necessário: à diferencia do valor investido, subtrair-se o valor da diferença entre os custos de (energia acrescido dos de manutenção) necessários por ano, para manter o sistema de Geotermia em comparação com os custos que seriam necessários no sistema convencional. O número de anos necessários para atingir o valor do diferencial do investimento, traduz-se no número de anos de retorno do investimento.

Para ser possível este tipo de estudo é estritamente necessário que os pressupostos iniciais se mantenham iguais para os dois sistemas. Como tal, as necessidades de conforto térmico,

razão pela qual se instala qualquer tipo de aquecimento / arrefecimento e tratamento de ar, têm que ser as mesmas para os dois sistemas em estudo.

Tendo em conta que o projeto de arquitetura é um dos fatores que altera as necessidades de conforto devido à exposição solar e dos revestimentos aplicados, terá também que se manter fixo, caso contrário, alterará as condições de estudo e as necessidades térmicas.

No caso prático do edifício da ESSUA, aquando do estudo e da execução do trabalho aqui apresentado, foi detetado que a arquitetura e os revestimentos exteriores do mesmo foram alterados, levando a que as necessidades energéticas do projeto inicial e final fossem, inevitavelmente, diferentes e impossibilitando, assim, o tipo de estudo inicialmente previsto.

Saliente-se ainda não ser possível, atualmente, a obtenção dos valores dos consumos tidos com a implementação do sistema de Geotermia, uma vez que, o mesmo não se encontra ainda em funcionamento. Deste modo, foi efetuada uma estimativa dos mesmos tendo em conta o que se prevê consumir e gastar, baseado nos consumos dos equipamentos aplicados e no custo das energias a consumir para combater as necessidades de aquecimento / arrefecimento e tratamento de ar na obtenção do conforto térmico pretendido.

Neste sentido, pretendendo que os cálculos previstos contemplem todos os meses de um ano e as estações (primavera, verão, outono e inverno) bem como as suas transições, foi considerado o intervalo de tempo de um ano, em que o período de funcionamento do edifício decorrerá das oito horas da manhã às oito horas da tarde (8:00h às 20:00h) de cada dia.

Para iniciar a análise considerou-se a necessidade de aquecimento / arrefecimento que são respetivamente, a quantidade de energia útil necessária fornecer a uma zona independente, por m² de área útil e por ano, para manter uma temperatura de 18°C ou mais durante a estação de aquecimento, bem como a quantidade de energia útil que é necessário extrair a uma zona independente, por m² de área útil e por ano, para manter uma temperatura de 25°C ou menos durante a estação de arrefecimento. Para se poderem atingir estas necessidades foi indispensável calcular o consumo dos respetivos equipamentos para um determinado número de horas de funcionamento.

O estudo apresentado contempla o custo de implementação total do sistema, que foi repartido em duas componentes no sentido de se poder obter a relação entre as mesmas.

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

Conclui-se desta forma que o valor referente aos acessórios como o fornecimento e aplicação de tubagens de permutação e distribuição, as mangas de proteção, o sistema de controlo e gestão informática, os quadros, os contadores, as válvulas de controlo e termoativação das estacas e das lajes, apresentam um custo superior ao valor apresentado para fornecimento e aplicação dos equipamentos necessários como as bombas de calor, circulação condensação e UTAN's.

Seguidamente procedeu-se análise do consumo de energia necessária por ano para obter as necessidades energéticas pretendidas. Deste modo, contabilizaram-se todos os equipamentos instalados e determinou-se através de dados fornecidos pelo projetista e fornecedores, o consumo e horas de funcionamento para cada equipamento.

Por fim, somando os consumos obtidos pelos vários equipamentos obtém-se o valor monetário necessário para satisfazer as necessidades de conforto térmicas por ano.

Deve ainda ser salientado que, os valores obtidos são baseados em estimativas e valores fornecidos por fabricantes pelo que, deve ser tido em conta que os valores reais só poderão ser obtidos após a utilização do edifício em total e pleno funcionamento.

4.3. Caso de estudo – Edifício CICFANO da Universidade de Aveiro – (avaliação técnica, económica e financeira, da solução convencional projetada e da solução utilizada)

Apresentação do Projeto

Localização do Edifício Complexo Interdisciplinar de Ciências Físicas Aplicadas à Nanotecnologia e à Oceanografia.



Figura 9. Fotografia aérea da implantação do Edifício Complexo Interdisciplinar de Ciências Físicas Aplicadas à Nanotecnologia e à Oceanografia (Cardoso, 2011).

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

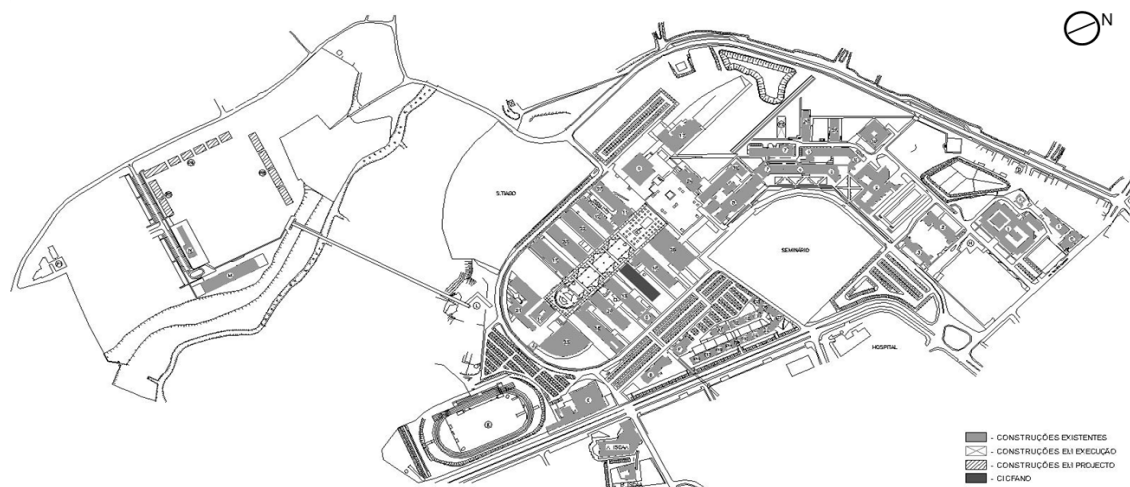




Figura 10. Implantação do edifício CICFANO da Universidade de Aveiro (Cardoso, 2011).

A tabela a seguir apresentada, contém os valores médios do clima no local de implantação do edifício durante o período de um ano.

Tabela 17. Dados do Meio Físico e Bioclimático do local onde se encontra o edifício do CICFANO (Cardoso, 2011).


NASA Surface meteorology and Solar Energy: RETScreen Data


Latitude 40.633 / Longitude -8.65 was chosen.

	Unit	Climate data location
Latitude	°N	40.633
Longitude	°E	-8.65
Elevation	m	193
Heating design temperature	°C	3.26
Cooling design temperature	°C	29.00
Earth temperature amplitude	°C	17.69
Frost days at site	day	2

Month	Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree days	Cooling degree days
	°C	%	kWh/m ² .d	kPa	m/s	°C	°C.d	°C.d
January	8.8	74.3%	2.03	99.3	5.2	7.8	272	21
February	9.7	70.8%	2.90	99.3	5.5	9.3	224	29
March	12.3	60.3%	4.26	99.0	5.3	13.0	167	89
April	13.8	58.9%	5.52	98.7	5.1	15.4	134	114
May	17.1	55.0%	6.35	98.7	4.7	19.6	64	215
June	21.3	48.1%	7.09	98.9	4.4	24.5	11	338
July	23.6	46.0%	7.01	98.9	4.5	26.9	0	423
August	22.9	50.8%	6.27	98.8	4.3	25.5	0	402
September	20.6	55.9%	4.84	98.9	4.2	22.2	9	324
October	16.5	65.7%	3.25	98.9	4.5	16.7	59	208
November	12.5	72.2%	2.18	99.0	5.0	11.8	155	90
December	10.2	74.5%	1.68	99.2	5.4	9.2	230	42
Annual	15.8	61.0%	4.45	99.0	4.8	16.8	1325	2295
Measured at (m)					10.0	0.0		

Tabela representativa dos dados Físicos e Bioclimáticos do local de implantação do Edifício Complexo Interdisciplinar de Ciências Físicas Aplicadas à Nanotecnologia e à Oceanografia (Cardoso, 2011).

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

Na tabela abaixo reflete-se a avaliação energética do edifício de acordo com o projeto inicialmente previsto.

Tabela 18. Avaliação Preliminar da Eficiência Energética do Projeto.

ELEMENTOS PASSIVOS	Qualidade				Pontuação do Edifício	Pontuação Máxima
Orientação		Baixa			32	144
Aproveitamento Solar		Baixa			16	144
Proteção Solar	Nula				-120	144
Isolamento			Média		56	112
Inercia			Média		16	32
Pré Tratamento	Nula				0	40
Estanquidade			Média		0	16
Recuperação			Média		16	32
Aproveitamento da Luz Natural					8	24
Arrefecimento Passivo	Nula				-24	112
					TOTAL	0
						800
ELEMENTOS ATIVOS (distribuição)	Qualidade				Pontuação do Edifício	Pontuação Máxima
Sistemas Inerciais					0	10
Piso Radiante					0	8
Radiadores Superiores					0	5
Ventiloconvetores					0	4
Tratamento do Ar					0	2
Radiadores Inferiores			Média		-8	-8
ELEMENTOS ATIVOS (geração)	Qualidade				Pontuação do Edifício	Pontuação Máxima
Aquecimento Solar de Ar					0	25
Aquecimento Solar de Água					0	18
Aquecimento Geotérmico de Ar					0	50
Aquecimento Geotérmico					0	35
Arrefecimento a Gás					0	0
Bomba de Calor					0	-5
Uso de Gás				Boa	0	0
Uso de Gasóleo					0	0

Análise e avaliação preliminar da eficiência energética do edifício com o sistema de AVAC Tradicional e inicialmente previsto para o edifício do CICFANO (Cardoso, 2011).

Abaixo é apresentada a individualização de cada especialidade do projeto total considerando a aplicação do sistema Tradicional. É ainda possível verificar o custo individualizado, em €/m², necessário para a execução de cada especialidade.

Tabela 19. Especialidades e respetivos custos parciais por m² relativos ao projeto com Sistema de AVAC Tradicional com recurso a Gás.

ESPECIALIDADES	CUSTO DE EXECUÇÃO / m ²
ARQUITECTURA	375,99 €
ESTRUTURA	357,05 €
SEGURANÇA	115,45 €
AVAC	155,05 €
GÁS NATURAL	1,93 €
REDES DE ÁGUAS E INCÊNDIO	12,22 €

Isolamento e avaliação económica de cada especialidade relativamente ao Projeto Inicial (Autoria Própria, 2012).

N figura 11 observa-se, graficamente os valores de cada especialidade que compõem o projeto inicial com o sistema Tradicional de aquecimento. Pode visualmente efetuar-se o comparativo entre o valor de cada especialidade que compõe o projeto total.

Custo de execução de cada especialidade relativamente ao do Projeto com Sistema de AVAC Tradicional e Gás.



Figura 11. Gráfico representativo dos custos de cada especialidade relativamente ao Projeto Inicial (Autoria Própria, 2012).

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

Tabela 20. Especialidades e respetivos custos parciais por m² relativos ao Projeto em execução com Sistema de Geotermia e Biotermia.

ESPECIALIDADES	CUSTO DE EXECUÇÃO / m ²
ARQUITECTURA	375,99 €
ESTRUTURA	357,05 €
SEGURANÇA	115,45 €
TRATAMENTO DE AR	88,50 €
REDES DE ÁGUAS E INCÊNDIO	12,22 €
PRODUÇÃO TÉRMICA	98,96 €

Isolamento e avaliação económica de cada especialidade relativamente ao Projeto em Execução com sistema de Geotermia e Biotermia (Autoria Própria, 2012).

À semelhança da tabela 19, a tabela 20 apresenta a especificação do custo por m² de cada especialidade do projeto total considerando a implementação do sistema de Geotermia e Biotermia.

Custo de execução de cada especialidade relativamente ao do Projeto em execução com Sistema de Geotermia e Biotermia.

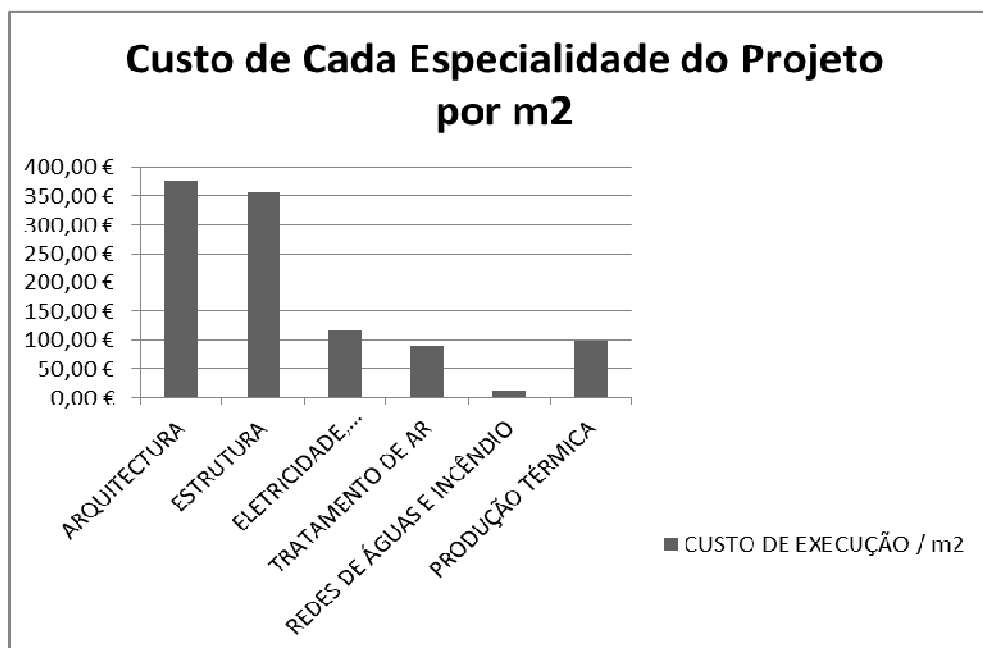


Figura 12. Gráfico representativo dos custos de cada especialidade relativamente ao Projeto em execução com sistema de Geotermia e Biotermia (Autoria Própria, 2012).

O gráfico acima, à semelhança da figura 11, apresenta a comparação das especialidades do projeto com a implementação do sistema de Geotermia e Biotermia.

Tabela 21. Especialidades e respetivo peso percentual relativo ao Projeto com Sistema de AVAC Tradicional e Gás.

ESPECIALIDADES	% RELATIVA DE CADA ESPECIALIDADE
ARQUITECTURA	36,95%
ESTRUTURA	35,08%
ELETRICIDADE, TELECOMUNICAÇÕES, SEGURANÇA	11,34%
AVAC	15,24%
GÁS NATURAL	0,19%
REDES DE ÁGUAS E INCÊNDIO	1,20%

Isolamento e avaliação percentual de cada especialidade relativamente ao Projeto Inicial (Autoria Própria, 2012).

Na tabela anterior, apresenta-se o peso percentual do custo de cada especialidade relativamente ao valor total da execução do projeto. Pretende-se deste modo determinar a importância monetária de cada especialidade bem como a sua contribuição para o custo total da obra considerando a implementação do sistema Tradicional.

Peso percentual de cada especialidade relativamente ao do projeto com sistema de AVAC Tradicional e Gás.

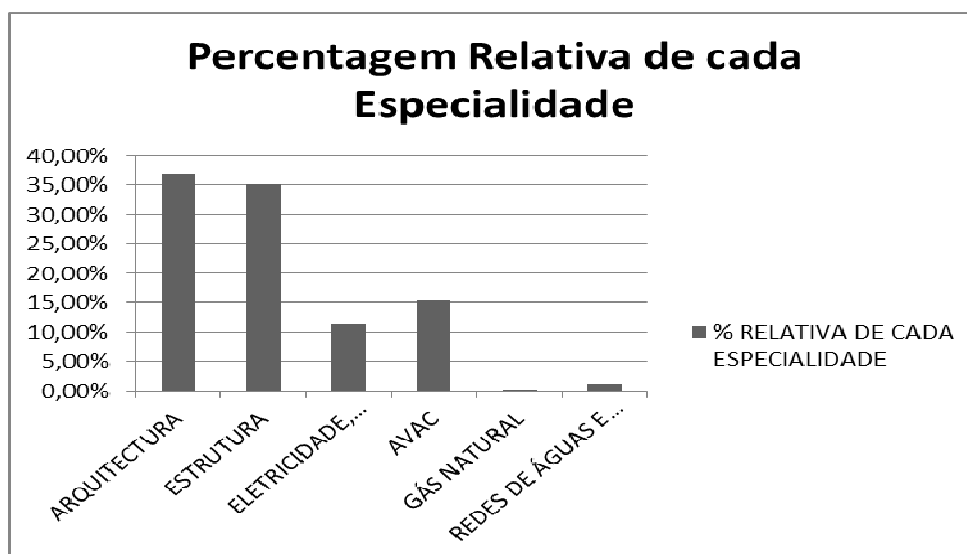


Figura 13. Gráfico representativo das percentagens relativas de cada especialidade relativamente ao Projeto com Sistema de AVAC Tradicional e Gás (Autoria Própria, 2012).

N figura 13 acima, é possível verificar a relação gráfica percentual das várias especialidades constituintes do projeto com a implementação do sistema Tradicional. Pode ainda ser observado o peso de cada especialidade relativamente ao valor total do projeto.

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

Do mesmo modo que na tabela 21 foi apresentado o peso relativo, para a execução de cada especialidade relativamente ao valor total do projeto com a implementação do sistema Tradicional, na tabela 22 é também possível verificar a relação percentual das várias especialidades, considerando agora a implementação do sistema de Geotermia e Biotermia.

Tabela 22. Especialidades e respetivo peso percentual relativo ao Projeto em execução com Sistema de Geotermia e Biotermia.

ESPECIALIDADES	% RELATIVA DE CADA ESPECIALIDADE
ARQUITECTURA	35,87%
ESTRUTURA	34,06%
ELETRICIDADE, TELECOMUNICAÇÕES, SEGURANÇA	11,01%
TRATAMENTO DE AR	8,44%
REDES DE ÁGUAS E INCÊNDIO	1,17%
PRODUÇÃO TÉRMICA GEOTERMIA	9,44%

Isolamento e avaliação percentual de cada especialidade relativamente ao Projeto em execução (Autoria Própria, 2012).

No gráfico abaixo é possível verificar a relação gráfica percentual das várias especialidades relativamente ao valor total do projeto com a implementação do Sistema de Geotermia e Biotermia.

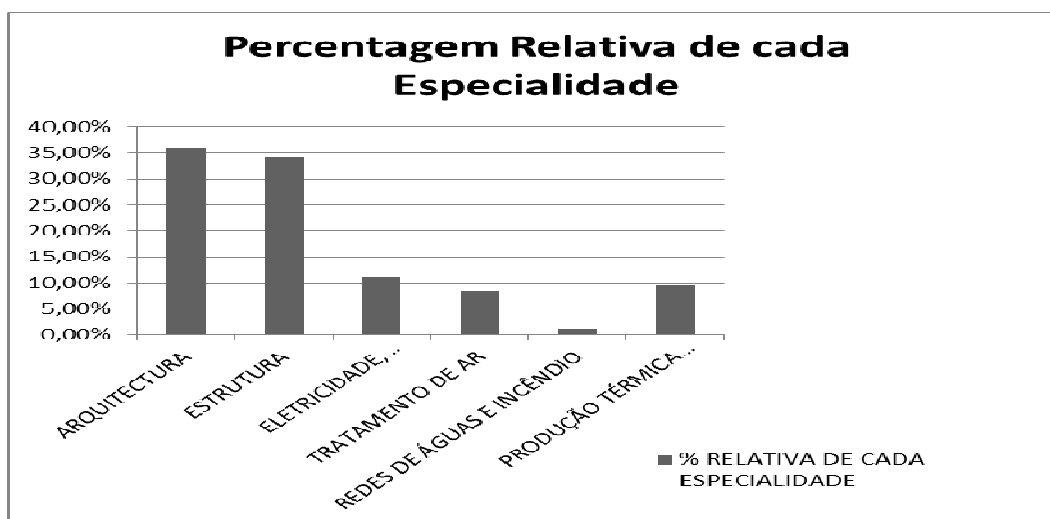


Figura 14. Gráfico representativo das percentagens relativas de cada especialidade relativamente ao Projeto em execução com Sistema de Geotermia e Biotermia (Autoria Própria, 2012).

Tabela 23. Componentes das especialidades dos Projetos de AVAC Tradicional e de Gás Relativamente ao Projeto Inicial.

SISTEMA DE AVAC Tradicional + GÁS	
SISTEMA DE AVAC TRADICIONAL + GÁS [€/m ²]	156,98 €
SISTEMA DE AVAC TRADICIONAL + GÁS	15,43%
SISTEMA DE AVAC TRADICIONAL + GÁS [€/m²]	CUSTO DE EXECUÇÃO
TUBAGENS E ACESSÓRIOS [€/m ²]	118,19 €
EQUIPAMENTOS [€/m ²]	38,79 €
TOTAL DE AVAC [€/m²]	156,98 €

Custo de execução das componentes do Sistema de AVAC Tradicional e Gás (Autoria Própria, 2012).

A tabela acima, constituída por duas partes, contempla o resumo das tabelas 19 e 21 considerando apenas as especialidades AVAC e Gás. Tendo em conta que estas serão as especialidades alvo de comparação com o sistema de Geotermia e Biotermia, é apresentada na parte final da tabela, a partição entre os custos das referidas especialidades. Deste modo é apresentado para o conjunto das especialidades AVAC + Gás, a componente de tubagens e acessórios bem como a componente dos equipamentos que, como a anterior, terá que ser fornecida e aplicada em obra.

Custo de execução das componentes das especialidades do Sistema de AVAC Tradicional e Gás.

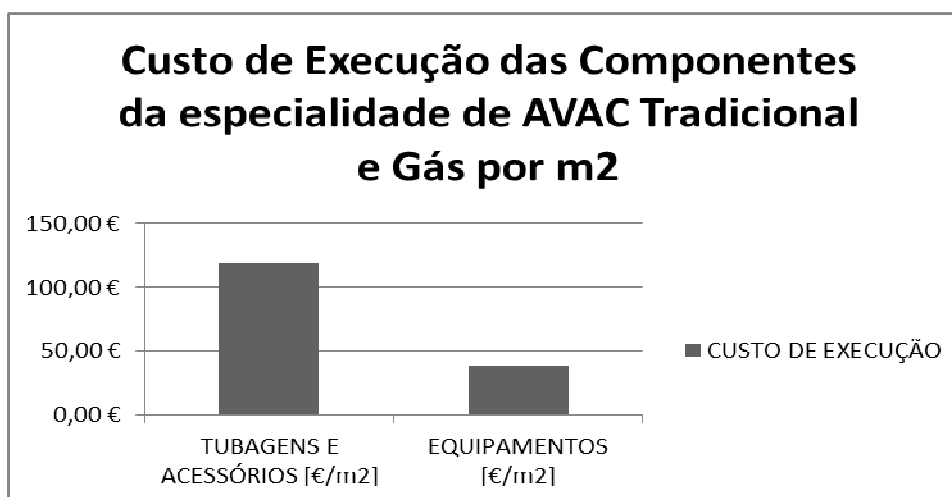


Figura 15. Gráfico representativo do custo das componentes dos Projetos de AVAC Tradicional e Gás (Autoria Própria, 2012).

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

O gráfico apresentado anteriormente reflete o somatório das especialidades necessárias para o aquecimento e arrefecimento do edifício utilizando o sistema Tradicional. Pode ainda ser observado que, o somatório das especialidades apresentado contém a individualização dos custos da tubagem e acessórios independente do custo dos equipamentos.

A tabela 24 abaixo apresentada, à semelhança da tabela 23, a individualização das componentes de Tratamento de Ar e Produção Térmica, especialidades do sistema de Geotermia e Biotermia, que se pretendem comparar com as componentes equivalentes utilizadas no sistema de Tradicional.

Tabela 24. Componentes da especialidade do Projeto de Geotermia e Biotermia.

SISTEMA DE GEOTERMIA E BIOTERMIA	
PRODUÇÃO TÉRMICA GEOTERMIA, BIOTERMICA E TRATAMENTO DE AR [€/m ²]	187,46 €
PRODUÇÃO TÉRMICA GEOTERMIA, BIOTERMICA E TRATAMENTO DE AR	17,88%
SISTEMA DE GEOTERMIA E BIOTERMIA [€/m²]	CUSTO DE EXECUÇÃO
TUBAGENS E ACESSÓRIOS [€/m ²]	148,79 €
EQUIPAMENTOS [€/m ²]	38,67 €
TOTAL DE PRODUÇÃO TÉRMICA [€/m ²]	187,46 €

Custo de execução das componentes do Sistema de Geotermia e Biotermia (Autoria Própria, 2012).

Custo de execução das componentes das especialidades do Sistema de Geotermia e Biotermia

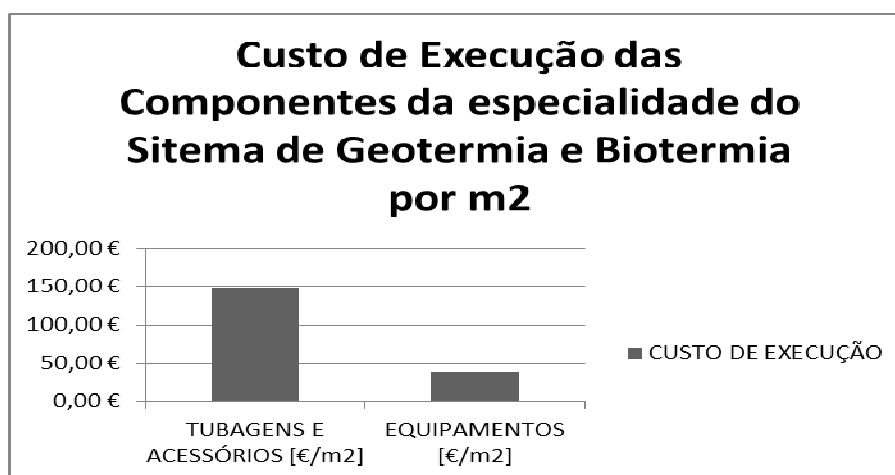


Figura 16. Gráfico representativo do custo das componentes do Projeto de Geotermia e Biotermia (Autoria Própria, 2012).

O gráfico da figura 16 reflete a separação das componentes de tubagens e acessórios, separada da componente de equipamentos necessárias para a implementação do sistema de Geotermia e Biotermia.

A tabela 25 (seguinte) e a tabela 26 (apresentada mais à frente), apresentam para cada os sistemas em estudo, respetivamente Tradicional e de Geotermia e Biotermia, a análise do peso relativo do custo necessário para o fornecimento e aplicação da componente Tubagens e Acessórios bem como da componente Equipamentos.

Tabela 25. Percentagem relativa de cada componente das especialidades de AVAC Tradicional e Gás.

SISTEMA DE AVAC TRADICIONAL + GÁS [€/m²]	% RELATIVADA ESPECIALIDADE
TUBAGENS E ACESSÓRIOS	75,29%
EQUIPAMENTOS	24,71%
TOTAL DE PRODUÇÃO TÉRMICA	100,00%

Percentagem das componentes das especialidades dos Projetos de AVAC Tradicional e Gás (Autoria Própria, 2012).

Percentagem relativa das componentes das especialidades do Sistema de AVAC Tradicional e Gás relativamente ao do Projeto Inicial.

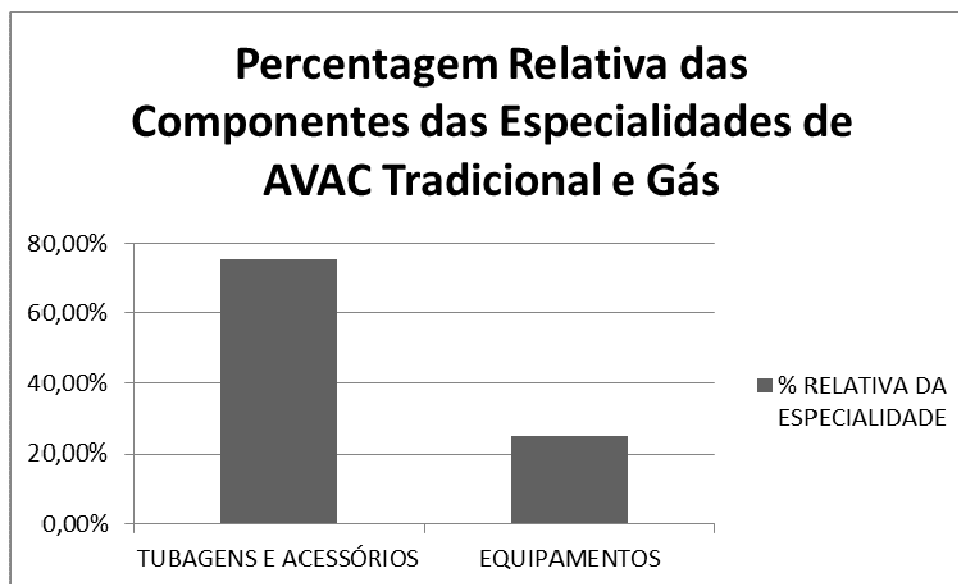


Figura 17. Gráfico representativo da percentagem das componentes dos Projetos com Sistema de AVAC Tradicional e Gás relativamente ao Projeto Inicial (Autoria Própria, 2012).

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

Anteriormente é apresentado o gráfico da figura 17, representativo da relação existente entre cada uma das componentes, em relação ao valor total do custo da implementação do sistema Tradicional.

Tabela 26. Percentagem relativa de cada componente do Sistema de Geotermia e Biotermia.

SISTEMA DE GEOTERMIA E BIOTERMIA	% RELATIVA DA ESPECIALIDADE
TUBAGENS E ACESSÓRIOS	79,37%
EQUIPAMENTOS	20,63%
TOTAL DE PRODUÇÃO TÉRMICA	100,00%

Percentagem das componentes das especialidades do Sistema de Geotermia e Biotermia (Autoria Própria, 2012).

Apresenta-se abaixo o gráfico da figura 18, representativo da relação entre o valor de custo de cada uma das componentes, relativamente ao valor total da implementação do sistema de Geotermia e Biotermia.

Percentagem relativa das componentes das especialidades do Sistema de Geotermia e Biotermia.

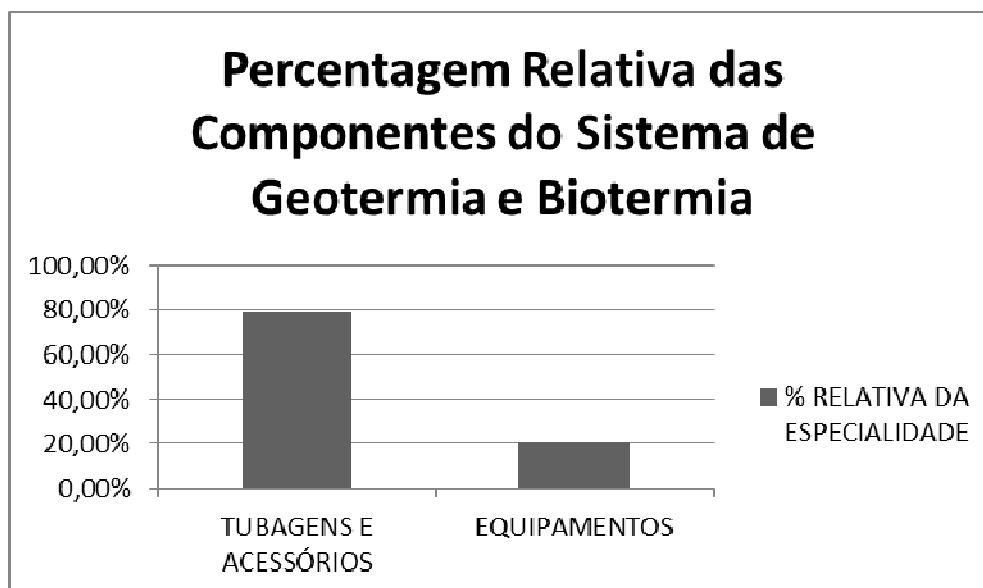


Figura 18. Gráfico representativo da percentagem relativa das componentes do Projeto de Geotermia e Biotermia (Autoria Própria, 2012).

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

Tabela 27. Proposta Melhoramento da Eficiência Energética do Projeto.

ELEMENTOS PASSIVOS	Qualidade				Pontuação do Edifício	Pontuação Máxima	Custos (€)	Economia (%)
Orientação					32	144		0
Aproveitamento Solar		Baixa			16	144		0
Proteção Solar				Muito Boa	144	144		26,4
Isolamento				Boa	88	112		3,2
Inércia				Boa	24	32		0,8
Pré Tratamento				Muito Boa	40	40		4
Estanquidade				Boa	12	16		1,2
Recuperação				Muito Boa	32	32		1,6
Aproveitamento da Luz Natural			Média		8	24		0
Arrefecimento Passivo	Nula				-24	112		0
					TOTAL	372	800	37,2
ELEMENTOS ATIVOS (distribuição)	Qualidade				Pontuação do Edifício	Pontuação Máxima	Custos (€)	Economia (%)
Sistemas Inerciais				Muito Boa	10	10		10
Piso Radiante					0	8		0
Radiadores Superiores					0	5		
Ventiloconvetores					0	4		0
Tratamento do Ar					0	2		0
Radiadores Inferiores					0	-8		0
ELEMENTOS ATIVOS (geração)	Qualidade				Pontuação do Edifício	Pontuação Máxima	Custos (€)	Economia (%)
Aquecimento Solar de Ar					0	25		0
Aquecimento Solar de Água					0	18		0
Aquecimento Geotérmico de Ar					0	50		0
Aquecimento Geotérmico				Muito Boa	35	35		35
Arrefecimento a Gás					0	0		0
Bomba de Calor					0	-5		0
Uso de Gás					0	0		0
Uso de Gasóleo					0	0		0
Total da Redução de Custos na Produção de Energia					59,20%			

Proposta de Atuação para Melhoramento e Implementação do Sistema de Geotermia e Biotermia (Cardoso, 2011)

Na tabela 27 é apresentada a avaliação energética prevista com a implementação do sistema de Geotermia e Biotermia. Pode em comparação com a tabela 18, ser verificada a diferença entre a avaliação energética inicialmente prevista e a pretendida com a implementação do sistema de Geotermia e Biotermia.

A tabela abaixo apresenta o comparativo entre os valores monetários em €/m², obtidos para a execução das componentes, Tubagens e Acessórios bem como Equipamentos, de cada um dos sistemas anteriormente apresentados. É possível desta forma comparar entre cada sistema o custo de cada uma das suas componentes.

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

Tabela 28. Comparativo entre o Sistema de AVAC Tradicional e Gás inicialmente previsto e o sistema de Geotermia e Biotermia com apoio ao Sistema AVAC primário preconizado em Obra.

SISTEMA DE AQUECIMENTO	SISTEMA DE AVAC TRADICIONAL + GAS	SISTEMA DE GEOTERMIA E BIOTERMIA
TOTAL TUBAGEM E ACESSÓRIOS /m2	118,19 €	148,79 €
TOTAL EQUIPAMENTOS /m2	38,79 €	38,67 €
TOTAIS /m2	156,98 €	187,46 €

Comparativo económico dos dois sistemas de aquecimento em estudo, o inicialmente previsto (Sistema de AVAC Tradicional e Gás) com o executado em Obra (Sistema de AVAC Primário e Sistema de Geotermia e Biotermia) (Autoria Própria, 2012)

Comparação económica dos dois sistemas de aquecimento e arrefecimento.

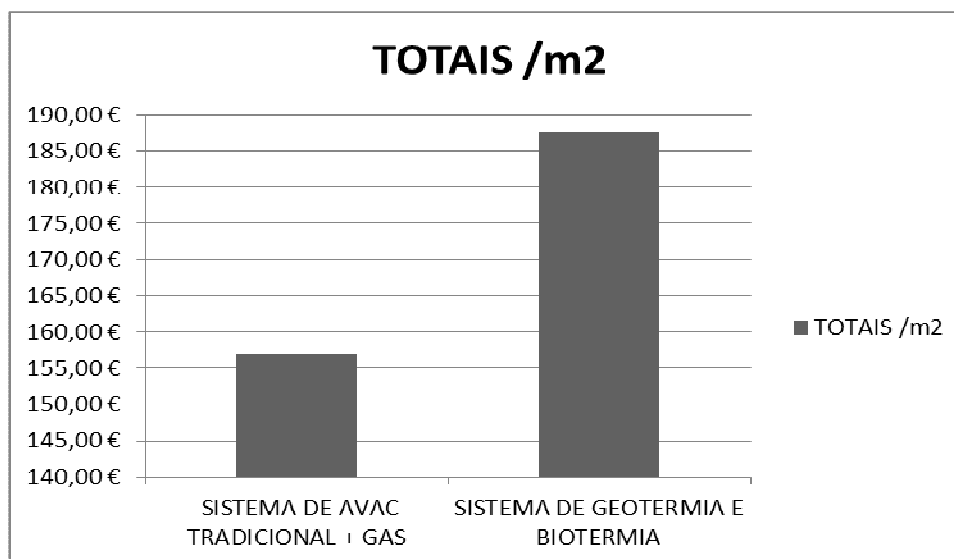


Figura 19. Gráfico representativo das componentes dos dois sistemas de aquecimento e arrefecimento (Autoria Própria, 2012)

O gráfico acima mostra o valor total do custo da implementação dos dois sistemas, bem como a diferença entre os respetivos valores.

Abaixo, na figura 20, é possível observar a soma dos gráficos anteriormente apresentados. Pode constatar-se a relação entre os valores necessários para tubagens e acessórios, bem como os valores necessário para o fornecimento e aplicação dos equipamentos, na implementação de cada um dos sistemas em estudo.

Comparação económica dos dois sistemas de aquecimento com, partição das suas componentes.

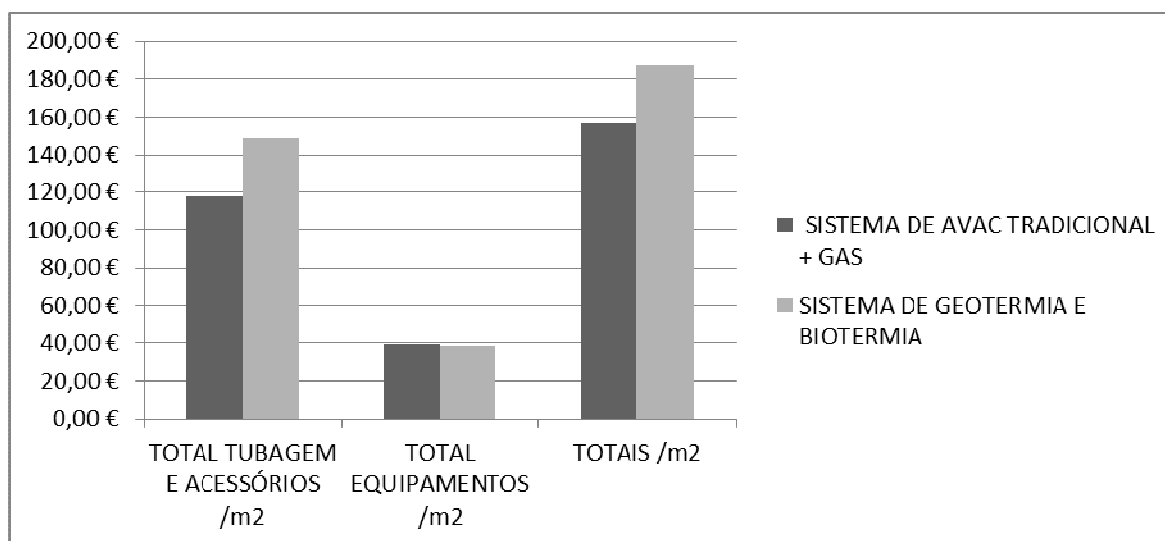


Figura 20. Gráfico representativo da comparação económica das componentes dos dois sistemas de aquecimento (Autoria Própria, 2012).

4.3.1. Determinação dos custos de consumo anuais dos sistemas em estudo, baseados em dados fornecidos pelo projetista e fornecedores

A tabela 29 apresenta, para a bomba de calor (em aquecimento), o cálculo mensal da energia consumida em KWh/mês bem como o valor monetário a pagar pela mesma em cada mês num período de um ano. Estes valores são determinados pelos dados facultados pelo fabricante, projetista e fornecedor dos equipamentos instalados. Os dados anteriormente referidos, consumo elétrico dos equipamentos e as horas de funcionamento necessárias para satisfazer as necessidades energéticas em período de aquecimento, também apresentados na tabela seguinte, permitem o cálculo da energia consumida bem como do valor a pagar pela mesma.

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

Tabela 29. Dados referentes à bomba de calor Geotérmica e Biotérmica.

Aquecimento com Bomba de Calor Geotérmica								
Mês	Necessidades Aquecimento (KWh)	Energia Térmica Necessária para Funcionamento (KWh/mês)	Diferença	Naq (KWh)	Consumo Eléctrico (KWh)	Horas de Funcionamento	Energia Eléctrica Necessária (KWh/mês)	Factura (€/m ²)
Janeiro	133,60	20432,30	48,60	85,00	24,69	97,30	2402,34	0,10
Fevereiro	118,30	10155,70	33,30	85,00	24,69	97,30	2402,34	0,10
Março	117,00	7763,80	32,00	85,00	24,69	97,30	2402,34	0,10
Abril	116,60	13379,40	31,60	85,00	24,69	97,30	2402,34	0,10
Maió	107,30	8622,30	22,30	85,00	24,69	97,30	2402,34	0,10
Junho	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Julho	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agosto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Setembro	60,70	1832,90	0,00	60,70	17,63	30,20	532,36	0,02
Outubro	86,40	1611,50	0,00	86,40	25,10	18,65	468,16	0,02
Novembro	109,20	12555,10	24,20	85,00	24,69	97,30	2402,34	0,10
Dezembro	133,70	19712,80	48,70	85,00	24,69	97,30	2402,34	0,10
Total	982,80	96065,80			215,56	729,95	17816,87	0,74

Tabela de cálculo referente ao consumo de energia elétrica necessária para aquecimento e respetivo valor mensal a pagar pelo consumo da referida bomba (Autoria Própria, 2012).

Tabela 30. Dados referentes à bomba de arrefecimento Geotérmica e Biotérmica.

Arrefecimento com Bomba de Calor Geotérmica								
Mês	Necessidades Arrefecimento (KWh)	Energia Térmica Necessária para Funcionamento (KWh/mês)	Diferença	Naq (KWh)	Consumo Eléctrico (KWh)	Horas de Funcionamento	Energia Eléctrica Necessária (KWh/mês)	Factura (€/m ²)
Janeiro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fevereiro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Março	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Abril	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Maió	136,90	4152,30	36,90	100,00	27,29	22,70	619,48	0,03
Junho	153,70	7447,20	53,70	100,00	27,29	22,70	619,48	0,03
Julho	152,30	26376,50	52,30	100,00	27,29	22,70	619,48	0,03
Agosto	161,90	8741,10	61,90	100,00	27,29	22,70	619,48	0,03
Setembro	151,60	11491,20	51,60	100,00	27,29	22,70	619,48	0,03
Outubro	140,70	4053,60	40,70	100,00	27,29	22,70	619,48	0,03
Novembro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dezembro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	897,10	62261,90			163,74	136,20	3716,90	0,16

Tabela de cálculo referente ao consumo de energia elétrica necessária para arrefecimento e respetivo valor mensal a pagar pelo consumo da referida bomba (Autoria Própria, 2012).

À semelhança da tabela 29, a tabela 30, apresenta, para a bomba de calor (em arrefecimento), o cálculo mensal da energia consumida em KWh/mês bem como o valor

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

monetário a pagar pela mesma em cada mês num período de um ano. Estes valores são determinados pelos dados facultados pelo fabricante, projetista e fornecedor dos equipamentos instalados. Os dados anteriormente referidos, consumo elétrico dos equipamentos e as horas de funcionamento necessárias para satisfazer as necessidades energéticas em período de arrefecimento, também apresentados na tabela anterior, permitem o calcula a energia consumida bem como determinar o valor a pagar pela mesma.

Do mesmo modo que as tabelas 29 e 30, apresentam o cálculo monetário mensal necessário para o funcionamento das bombas de calor no sistema de Geotermia e Biotermia, a tabela 31 procura apresentar os mesmos dados referentes ao sistema Tradicional. Desta forma é possível verificar os valores mensais referentes aos custos previstos ter com gás e eletricidade para manter o funcionamento do sistema. Estes valores são determinados pelos dados facultados pelo fabricante, projetista e fornecedor dos equipamentos instalados.

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

Tabela 31. Dados referentes ao chiller¹⁴ e caldeira necessários no sistema Tradicional para aquecimento e arrefecimento.

Mês	Caldeira - Aquecimento			Chiller - Arrefecimento							
	Necessidades Aquecimento (KWh)	Necessidades Arrefecimento (KWh)	Energia Térmica Necessária para Funcionamento em Aquecimento (KWh/mês)	Energia Térmica Necessária para Funcionamento em Arrefecimento (KWh/mês)	Horas de Funcionamento	Consumo (KWh/mês)	Factura (€/m2)	Horas de Funcionamento	Consumo Eléctrico (KW)	Consumo Eléctrico (KWh/mês)	Factura (€/m2)
Janeiro	133,60	0,00	20432,30	0,00	168,23	22475,53	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00
Fevereiro	118,30	0,00	10155,70	0,00	94,43	11171,27	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00
Março	117,00	0,00	7763,80	0,00	72,99	8540,18	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00
Abril	116,60	0,00	13379,40	0,00	126,22	14717,34	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00
Maior	107,30	136,90	8622,30	4152,30	88,39	9484,53	0,13	30,33	51,70	1568,11	0,07
Junho	0,00	153,70	0,00	7447,20	0,00	0,00	0,00	48,45	58,04	2812,20	0,12
Julho	0,00	152,30	0,00	26376,50	0,00	0,00	0,00	173,19	57,51	9960,03	0,42
Agosto	0,00	161,90	0,00	8741,10	0,00	0,00	0,00	53,99	165,00	8908,47	0,37
Setembro	60,70	151,60	1832,90	11491,20	33,22	2016,19	0,03	75,80	161,00	12203,72	0,51
Outubro	86,40	140,70	1611,50	4053,60	20,52	1772,65	0,02	28,81	159,00	4580,83	0,19
Novembro	109,20	0,00	12555,10	0,00	126,47	13810,61	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00
Dezembro	133,70	0,00	19712,80	0,00	162,18	21684,08	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	982,80	897,10	96065,80	62261,90	892,66	105672,38	1,47	410,57	652,25	40033,35	1,67

Tabela de cálculo referente ao consumo de energia eléctrica necessária para aquecimento e arrefecimento e respetivo valor mensal a pagar pelo consumo dos referidos equipamentos (Autoria Própria, 2012).

¹⁴ Chiller: Equipamento de controlo de temperatura em aquecimento e arrefecimento

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

Seguidamente apresentam-se as tabelas 32, 33 e 34, para o sistema Tradicional e de Geotermia e Biotermia. Estas contêm respetivamente a comparação dos valores do investimento inicial, da estimativa de custo prevista para um período de 30 anos e a estimativa do custo de energia anual consumida. É possível desta forma comparar os custos apresentados para os dois sistemas e, a partir destes valores, determinar a viabilidade económica da implementação de cada sistema.

Tabela 32. Resumo dos custos da implementação dos sistemas.

Investimento Inicial	
<i>Descrição Sistema</i>	Valor (€/m ²)
Sistema Tradicional	156,98
Sistema Geotérmico e Biotérmico	187,46
Acrescimento no Investimento inicial	30,48

Tabela referente ao diferencial de investimento entre os dois sistemas em estudo (Autoria Própria, 2012).

Tabela 33. Resumo do custo de manutenção de acordo com indicações do fabricante.

Estimativa do custo de manutenção anual dos equipamentos considerando um fim de vida de 30 anos	
<i>Descrição Sistema</i>	Valor (€/m ²)
Sistema Tradicional	1,81
Sistema Geotérmico e Biotérmica	0,97
Poupança	0,84

Tabela referente ao custo anual da manutenção dos sistemas em estudo por m² (Autoria Própria, 2012).

Tabela 34. Resumo do custo da energia consumida em cada sistema.

Estimativa do custo da energia anual consumida por m²	
<i>Descrição Sistema</i>	Valor (€/m ²)
Sistema Tradicional	3,14
Sistema Geotérmico e Biotérmico	0,90
Poupança	2,24

Tabela referente ao consumo de energia dos sistemas em estudo por m².ano (Autoria Própria, 2012).

A tabela 35 apresenta o período de retorno do investimento inicialmente efetuado. Considerando o valor do investimento inicial, retira-se anualmente a poupança tida no valor da manutenção dos equipamentos e acessórios bem como, o valor da redução dos

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

custos necessários com a energia para manter o funcionamento do sistema. O período de retorno é obtido pelo número de anos necessários para que, ao valor inicial, retirados os valores das reduções se atinja o valor de 0,00€.

Tabela 35. Análise da amortização do investimento.

Amortização			
Ano	Investimento adicional por m2	Poupança anual por m2	Período de Retorno
Ano 1	30,48 €	3,08 €	27,40 €
Ano 2	27,40 €	3,08 €	24,33 €
Ano 3	24,33 €	3,08 €	21,25 €
Ano 4	21,25 €	3,08 €	18,18 €
Ano 5	18,18 €	3,08 €	15,10 €
Ano 6	15,10 €	3,08 €	12,03 €
Ano 7	12,03 €	3,08 €	8,95 €
Ano 8	8,95 €	3,08 €	5,87 €
Ano 9	5,87 €	3,08 €	2,80 €
Ano 10	2,80 €	3,08 €	-0,28 €

Tabela referente ao tempo de amortização do investimento necessário para a implementação do sistema de Geotermia e Biotermia (Autoria Própria, 2012).

A tabela seguinte apresenta o valor de poupança obtido num período de vida do sistema de Geotermia e Biotermia de cinquenta anos. Este valor é determinado desde o ano do início do funcionamento do sistema até ao ano considerado cinquenta (fim de vida do sistema). Desta forma e tendo em conta os dados anteriormente obtidos, pode considerar-se que o grau de economia decorre desde o décimo primeiro ano (11º ano) considerado o ano de equilíbrio (altura em que, ao valor inicial retirados os valores das reduções se atinge valor de 0,00€), até ao quinquagésimo ano (50º ano), ambos incluídos.

Tabela 36. Grau de economia com a implementação do sistema de Geotermia e Biotermia decorridos cinquenta anos.

Grau de Economia		
Ano	Poupança anual por m2	Valor ganho
Ano 11	3,08 €	3,08 €
Ano 12	3,08 €	6,16 €
Ano 13	3,08 €	9,24 €
Ano 14	3,08 €	12,32 €
Ano 15	3,08 €	15,40 €
Ano 16	3,08 €	18,48 €
Ano 17	3,08 €	21,56 €
Ano 18	3,08 €	24,64 €
Ano 19	3,08 €	27,72 €
Ano 20	3,08 €	30,80 €
Ano 21	3,08 €	33,88 €
Ano 22	3,08 €	36,96 €
Ano 23	3,08 €	40,04 €
Ano 24	3,08 €	43,12 €
Ano 25	3,08 €	46,20 €
Ano 26	3,08 €	49,28 €
Ano 27	3,08 €	52,36 €
Ano 28	3,08 €	55,44 €
Ano 29	3,08 €	58,52 €
Ano 30	3,08 €	61,60 €
Ano 31	3,08 €	64,68 €
Ano 32	3,08 €	67,76 €
Ano 33	3,08 €	70,84 €
Ano 34	3,08 €	73,92 €
Ano 35	3,08 €	77,00 €
Ano 36	3,08 €	80,08 €
Ano 37	3,08 €	83,16 €
Ano 38	3,08 €	86,24 €
Ano 39	3,08 €	89,32 €
Ano 40	3,08 €	92,40 €
Ano 41	3,08 €	95,48 €
Ano 42	3,08 €	98,56 €
Ano 43	3,08 €	101,64 €
Ano 44	3,08 €	104,72 €
Ano 45	3,08 €	107,80 €
Ano 46	3,08 €	110,88 €
Ano 47	3,08 €	113,96 €
Ano 48	3,08 €	117,04 €
Ano 49	3,08 €	120,12 €
Ano 50	3,08 €	123,20 €

Tabela referente valor monetário ganho com a implementação do sistema de Geotermia e Biotermia ao final de 50 anos (Autoria Própria, 2012).

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

4.3.2. Conclusões sobre o caso de estudo

O presente trabalho desenvolvido sobre o edifício do CICFANO, tem por base o estudo da viabilidade e retorno económico da implementação de um sistema de aquecimento / arrefecimento e tratamento de ar através da Geotermia e Biotermia, em substituição do sistema de tratamento de ar e aquecimento / arrefecimento convencional.

Para ser possível efetuar esta análise e estudo, foi necessário reunir os dados de cada um dos sistemas individualmente. Seguidamente determinar o custo de implementação de cada sistema, o custo de energia anual para o funcionamento correto de cada um dos sistemas e determinar também o custo de manutenção que cada um dos sistemas necessita anualmente para o seu correto funcionamento.

Tendo em conta que o edifício do CICFANO ainda não se encontra em atividade, não é possível determinar com exatidão os valores dos consumos dos equipamentos nem os custos necessários para a manutenção anual do sistema. Deste modo, e de acordo com os dados fornecidos pelos fabricantes e fornecedores, foi efetuada uma estimativa dos mesmos tendo em conta o que se prevê consumir e gastar na obtenção do conforto térmico pretendido.

Como no caso anterior, pretendeu-se que os cálculos contemplassem todos os meses de um ano e as estações (primavera, verão, outono e inverno) bem como as suas transições. Foi considerado o intervalo de tempo de um ano, em que o período de funcionamento do edifício decorrerá das oito horas da manhã às oito horas da tarde (8:00h às 20:00h) de cada dia.

O estudo efetuado para o CICFANO iniciou-se com a verificação de possíveis alterações das especialidades do mesmo. Verificado que a única alteração se prendia com a substituição do sistema em estudo, sem que as restantes especialidades fossem alteradas, procedeu-se à recolha dos dados dos projetos.

Assim, recolheram-se os valores dos custos de cada especialidade calculando-se o valor monetário de cada item, em relação ao valor total do projeto, com o objetivo de quantificar o peso monetário de cada especialidade relativamente ao projeto total e entre as restantes especialidades.

Tendo em conta que apenas a especialidade referente ao aquecimento / arrefecimento e tratamento de ar viria a ser alterada, procedeu-se ao isolamento e estudo individualizado da

mesma. Considerou-se, então, a especialidade AVAC e Gás relativamente ao inicialmente previsto e na especialidade de tratamento de ar e produção térmica do sistema a implementar no edifício.

Os valores globais para cada um dos sistemas representam o somatório de materiais, acessórios e equipamentos pelo que, seguidamente foi efetuada a separação entre os elementos das especialidades de cada sistema. Esta separação permitiu obter os custos das componentes que não consomem energia e os que consomem energia em cada uma das soluções. A obtenção dos valores atrás mencionados possibilitou a verificação das relações de proporcionalidade das respetivas componentes relativamente a cada sistema.

Com a separação dos elementos de cada sistema em componente de materiais e equipamentos, bem como, das características do conjunto de equipamentos de cada sistema obtidos através de dados fornecidos pelos fornecedores e fiscalização da decorrente obra, foi possível determinar as potências e consumos dos equipamentos que consomem energia. De acordo com o fornecedor dos equipamentos (CHAMA, Lda) bem como da empresa de fiscalização (VHM), os consumos dos equipamentos inicialmente previstos são similares e equivalentes aos consumos tidos com as bombas de circulação existentes no sistema de Geotermia e Biotermia. Desta forma, e tendo em consideração os dados fornecidos a possível diferença entre esses consumos deveria considerar-se desprezível.

Assim, e de acordo com os dados fornecidos dever-se-ia apenas ter em consideração os consumos do Chiller e da Caldeira no sistema Tradicional e das bombas de calor e arrefecimento no sistema de Geotermia e Biotermia. De acordo com o obtido através de fontes consideradas fidedignas, iniciou-se o estudo dos consumos dos respetivos equipamentos para satisfazer as necessidades de conforto térmico para a duração de tempo de um ano. Calculando o somatório dos vários consumos para cada um dos sistemas obteve-se o custo monetário necessário para o funcionamento de cada um dos sistemas durante o período estabelecido.

A acrescentar ainda ao valor monetário a despendido por ano no funcionamento de cada sistema, teve-se ainda em consideração o custo anual necessário para a manutenção dos respetivos equipamentos, valor fornecido pela entidade instaladora e fornecedora (CHAMA, Lda).

Obtidos e determinados os custos iniciais, os necessários a despendido com energia para funcionamento dos sistemas e os de manutenção, foi possível determinar o tempo de

4. Enquadramento Teórico do Caso de Estudo

retorno e o acréscimo de custo tido com a implementação do sistema de Geotermia e Biotermia relativamente ao que se teria com a implementação do sistema Tradicional.

Deste modo foi possível determinar a previsão temporal, a partir da qual há poupança monetária após o investimento inicial, ou seja, momento a partir do qual a poupança tida com o custo de energia e manutenção igualam a diferença de custo entre a implementação dos sistemas em estudo. Após atingido este ponto de equilíbrio considera-se o sistema pago e todos os custos de consumo e manutenção seguintes apresentar-se-ão inferiores aos que se teriam com a implementação do sistema Tradicional.

Perante os dados e valores obtidos, é possível ainda determinar o valor poupado durante os cinquenta primeiros anos de funcionamento do sistema de Geotermia e Biotermia. Trata-se de um valor obtido a partir do somatório da poupança anual, desde o ano de equilíbrio até ao ano de funcionamento cinquenta. Deste modo, considera-se o valor anual somado desde o décimo ano (10º ano) até ao quinquagésimo ano (50º ano).

5. CONCLUSÕES

A limitação de obtenção de dados, devido ao atraso não previsto no funcionamento dos edifícios em estudo, não irá proporcionar uma análise mais completa de dados que corroborem na prática o que foi previsto em projetos alternativos para a climatização ativa dos edifícios que servem de base de estudo deste trabalho e, que são pioneiros no nosso país e no caso da solução da Biotermia, dos poucos casos a nível mundial.

No entanto, e apesar dos obstáculos acima referidos, com o desenvolvimento do estudo aqui apresentado foi possível encontrar indicadores positivos relativamente aos pontos em discussão.

Assim, a importância da aplicação de energias renováveis, tendo em conta o panorama nacional de Portugal, ficou patente no estudo realizado no início deste trabalho onde também se enquadrou a nível legal esta necessidade.

O potencial da GBE e da BAR como energias renováveis ficou patente nos casos de *benchmarking* onde é possível verificar as vantagens destes novos métodos de obtenção de energia, uma vez que a energia térmica existente nos sistemas de GBE e de BAR está disponível em todo o mundo e embora o clima e as necessidades de climatização dos edifícios sejam diferentes em cada parte do globo, a sustentabilidade energética é temática de interesse universal e todas as tecnologias assentes na utilização de energias renováveis representam uma mais-valia e, ainda mais, quando os seus princípios são também eles próprios universais, ou seja, existe constância de temperaturas quer no solo quer nas águas residuais durante todo o ano.

Este estudo, é uma primeira abordagem temática sobre os custos e benefícios económicos destas soluções em edifícios escolares em Portugal, podendo ser um pequeno contributo para o debate e reconhecimento da competitividade a nível financeiro e de satisfação das necessidades dos edifícios públicos.

A implementação destas novas soluções energéticas vai no sentido de possibilitar a diminuição do custo energético nacional, diminuir o custo do conforto e aumentar o bem-estar dos utentes de edifícios públicos e do melhoramento da qualidade construtiva deste tipo de edificação. A utilização deste tipo de sistemas, combate as atrocidades atualmente realizadas na utilização abusiva e incoerente de soluções de climatização, que não só

5. Conclusões

implicam enorme custos de investimento, como atropelaram a sustentabilidade dos edifícios. Os sistemas tradicionais acabam por ser poluidores, de dispendiosa manutenção, conservação e com enorme custo de exploração, desta forma a Geotermia e Biotermia, demonstram ter potencial para alterar este cenário.

Não tendo sido possível no caso de estudo do edifício da ESSUA efetuar um comparativo válido entre os dois sistemas que se pretendiam estudar, por alteração do projeto de arquitetura com introdução de disposições construtivas energeticamente passivas que alteraram significativamente as necessidades do edifício, optou-se por efetuar o custo de implementação do sistema de Geotermia e uma previsão do consumo dos equipamentos instalados durante um ano.

Deste modo, foi possível verificar que o custo de implementação do sistema é de $139,15\text{€}/\text{m}^2$ e que, deste custo $110,78\text{€}/\text{m}^2$ são referentes ao fornecimento e instalação de acessórios e $28,37\text{€}/\text{m}^2$ são referentes ao fornecimento e aplicação de equipamentos que necessitarão de energia para o seu funcionamento. Relativamente aos consumos esperados, e tendo em conta que se trata de uma estimativa, traduzem-se no valor de $1,66\text{€}/\text{m}^2$.

À semelhança de exemplos da aplicação do mesmo tipo de sistema de Geotermia em outros locais no estrangeiro, que se encontram em pleno funcionamento, prevê-se que, também no caso do edifício ESSUA, o valor anual a pagar pela energia necessária para o sistema seja muito menor porque, também se prevê que, a quantidade de energia necessária para o seu funcionamento seja igualmente menor.

Analisando os dados obtidos no estudo do edifício do CICFANO podemos concluir que, apesar do custo inicial da implementação do sistema de Geotermia e Biotermia em comparação com o sistema Tradicional de AVAC, ser superior em $30,48\text{€}/\text{m}^2$, obtêm-se resultados positivos a curto prazo.

É possível verificar que a diferença de investimento entre os $187,46\text{€}/\text{m}^2$ do sistema de Geotermia e o custo de $156,98\text{€}/\text{m}^2$ do sistema Tradicional, leva a uma redução do custo anual necessário com energia no montante de $2,24\text{€}/\text{m}^2$.

O valor de redução anual é determinado pela diferença entre o custo de funcionamento de $3,14\text{€}/\text{m}^2$ do caso do sistema Tradicional e o de $0,90\text{€}/\text{m}^2$ no sistema conjunto baseado em energia renovável. Deve ainda ser considerada a poupança no custo de manutenção dos sistemas de $0,84\text{€}/\text{m}^2$, calculado através da diferença entre $1,81\text{€}/\text{m}^2$ do sistema Tradicional e $0,97\text{€}/\text{m}^2$ do sistema de Geotermia.

Somados os custos de cada sistema e determinado o tempo de recuperação do investimento efetuado, obtém-se o equilíbrio financeiro ao décimo ano de exploração, o que neste caso é maior do que o normalmente indicado para outros países, que se situam normalmente no sexto e sétimo anos (6º e 7º anos). No entanto esta diferença deve-se às condições climáticas que são bastante diferentes das do nosso país que, apresenta necessidades de aquecimento menores mas onde as necessidades de arrefecimento são substancialmente maiores.

Comparando o número de anos necessários para recuperação do investimento feito, com os dados existentes e referentes a sistemas similares já implementados, considera-se enquadrado o tempo de retorno do investimento efetuado na implementação do sistema de Geotermia e Biotermia com o estudo de casos de *benchmarking* analisados durante a realização deste trabalho. Estes sistemas começam a ser uma aposta comercialmente corrente mas corajosa, pois é sabido do pudor e algum receio em se arriscar os dinheiros públicos em soluções inovadoras, mesmo que o objetivo seja a poupança, o conforto e o bem-estar dos utentes.

Considera-se o estudo aqui presente uma alavanca para futuros trabalhos e investigações, bem como, alvo de um complemento com novos dados obtidos dos edifícios quase em início de utilização uma vez que, num futuro muito próximo, já será possível obter os dados reais dos consumos de eletricidade associados aos sistemas de GBE e BAR implementados nos edifícios da ESSUA e CICFANO e aferir com maior precisão as conclusões aqui apresentadas.

Das conclusões possíveis para o edifício do CICFANO onde se poderia fazer mais corretamente a comparação de sistemas Tradicional e com a utilização de recursos renováveis, permite depreender que analisando os dois casos de estudo apresentados neste trabalho, por similaridade entre os sistemas aplicados, ambientes em que se inserem, bem como da geologia presente na sua implantação, por paralelismo, pode também considerar-se que o sistema de Geotermia aplicado na ESSUA é compensatório a curto espaço de tempo à semelhança do sistema aplicado no CICFANO.

A ausência de uma *análise de sensibilidade* que se previa fazer no início deste trabalho vem empobrecer as conclusões do mesmo. Esta ausência deve-se como já referido, à falta de dados reais da exploração dos edifícios em estudo.

5. Conclusões

Assim é possível sustentar a afirmação de que será bastante vantajosa a utilização deste tipo de sistemas baseados em energias renováveis com fonte local, como são a Geotermia e a Biotermia de águas residuais, no contexto dos edifícios públicos escolares.

Associadas às evidentes vantagens ambientais, biológicas, de saúde pública, de conforto térmico, de bem-estar dos utentes, de controlo de poluição e ainda sua contribuição para que Portugal atinja as metas referidas nas diretivas europeias de sustentabilidade e eficiência energética. Pode ainda concluir-se que os valores obtidos, apontam para que o investimento na utilização destes sistemas seja economicamente recomendável e rentável.

Esta conclusão baseia-se em perceções tidas ao longo do trabalho onde se verifica que o investimento nestas soluções que, embora não sejam amplamente divulgadas nem validadas, apresenta indícios de viabilidade e vantagens na busca pela sustentabilidade económica e ambiental.

Para terminar é de salientar a coragem da iniciativa da Universidade de Aveiro na aposta por uma solução energética inovadora nos seus próprios edifícios e que é sinal de vitalidade, confiança e interesse em conseguir através da investigação aplicada encontrar novos meios de auxiliar na reconstrução económica do país.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baek N.C.; Shin U.C.; Yoon J.H., “A study on the design and analysis of a heat pump heating system using wastewater as a heat source”, Associate Editor Joseph Khedari, Available online 11 September 2004

Berntsson, T., "Heat sources — technology, economy and environment", International Journal of Refrigeration, 2002

Benli, H. D., Aydın, "Evaluation of ground-source heat pump combined latent heat storage system performance in greenhouse heating." Energy and Buildings, 2009

Braga, N., “O Perigo dos Campos de Baixa Frequência”, 2012

Comissão Mundial do Ambiente e do Desenvolvimento (CMAD), “O Nosso Futuro Comum”, Meriberica/Liber, 1991

Chinery, G., “Policy, Recommendations for the HERS Community to Consider regarding HERS point credit for Waste Water Heat Recovery Devices”. Estados Unidos da América, 2004

Csandl, P., “Integrated Resource Recovery Case Study: Okanagan College Wastewater Heat Recovery”, British Columbia, 2004

Custódio, G.; Gonçalo, M., “Eficiência Energética em Edifícios Escolares”; Instituto Superior Técnico (IST), 2011

Carvalho, P., “ Metodologias de simulação para certificação energética de um edifício escolar”, 2010

6. Referências Bibliográficas

Correia, A.G.; Sociedade Portuguesa de Geotermia; Congresso Nacional de Geotecnia, “Geotecnia e desenvolvimento sustentável / XII Congresso Nacional de Geotecnia”, Almedina, 2010

Duarte, M.; José, A., “Medidas de Utilização Racional de Energia em Edifícios Escolares do 1.º Ciclo do Ensino Básico visando melhorar a Eficiência Energética”, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL), 2010

Decreto Lei n.º 78/2006, de 4 de Abril – “Certificação: Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios”

Decreto Lei n.º 79/2006, de 4 de Abril “Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios”

Decreto Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril “Características de Comportamento Térmico dos Edifícios”

Eicker, U., “Low Energy Cooling for Sustainable Buildings”, Stuttgart, Germany, John Wiley and Sons, Ltd, 2009

Esen, H. I.; Mehmet, E., "Techno economic appraisal of a ground source heat pump system for a heating season in eastern Turkey." Energy Conversion and Management, 2006

Galvan, D.; Kranz, J. L.; Steffen, V.; Hasan, S. D. M., “ Avaliação dos parâmetros operacionais da fermentação em estado sólido relativos à transferência de calor”, 2008

Gil, J., “Análise e Previsão da Evolução do Custo da Eletricidade em Portugal” Instituto superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal, 2010

Henriques, A. G., “Aplicação das conclusões da Cimeira Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável, 2002”, apresentação de Políticas do Ambiente 2006/2007.

6. Referências Bibliográficas

Houillon, G. J. O., "Life cycle assessment of processes for the treatment of wastewater urban sludge: energy and global warming analysis", *Journal of Cleaner Production*, 2005

Inalli, M. E., Hikmet, "Experimental thermal performance evaluation of a horizontal ground-source heat pump system." *Applied Thermal Engineering*, 2004

Jesus, C., "Impacto Macroeconómico do Sector das Energias Renováveis em Portugal", Julho 2011;

Jornal da Ciência e Empreendedorismo, edição de 22 de Novembro de 2011

Kim, J., "A simultaneous optimization approach for the design of wastewater and heat exchange networks based on cost estimation", *Journal of Cleaner Production*, 2009

Mariño J.P.; Madero M.; Gustafsson N., "Instalaciones en viviendas unifamiliares con geotermia en España. Instalación con climatización de calor, frío activo/pasivo, ACS e intercambio con perforaciones y piscina", *Girod Geotermia*, Madrid, Espanha, 2009

Mascarenhas, J., "Sistemas de Construção", *Livros Horizonte*, 2001

Samagaio, A., "Tendências Recentes na Indústria da Construção Civil", apresentado em 19 de Junho de 2008, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2008.

Schmid F., "Sewage Water: Interesting Heat Source for Heat Pumps and Chillers", *Swiss Energy Agency for Infrastructure*, Zürich, Switzerland 2009

Shannon, M., "Energy recovery from waste water", *ARPA-E Pre-Summit Workshop*, Estados Unidos da América, 2010

Tillman, A.-M. "Significance of decision-making for LCA methodology." *Environmental Impact Assessment Review*, 2000

6. Referências Bibliográficas

UNESCO, “Practices and experiences of water and wastewater technology”, Muscat, Sultanate of Oman, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), 2004

Vasiliev, L. L., “State of art on heat pipe technology in former Soviet Union”, Applied Thermal Engineering, 1998

Vasiliev, L. L. "Heat pipes in modern heat exchangers." Applied Thermal Engineering 2005

Vasiliev, L. L. V. J.; Leonard L., "The sorption heat pipe - a new device for thermal control and active cooling." Superlattices and Microstructures, 2004

Volpe, P., “Estudo da fermentação alcoólica de soluções diluídas de diferentes açúcares utilizando microcalorimetria de fluxo”, Instituto de Química – UNICAMP, 8/4/96

Wang, L., "Emergy evaluation of combined heat and power plant eco-industrial park (CHP plant EIP)”, Resources, Conservation and Recycling, 2006

Smith, P., “Sustainability at the Cutting Edge”, Oxford, 2006

Sousa, R.M.A., “Estudo da eficiência energética e gestão de energia em edifícios escolares”, 2011

Kinouchi, T.; Yagi H.; Miyamoto, M., “Increase in stream temperature related to anthropogenic heat input from urban wastewater”, Department of Environment System Management, Fukushima University, Japan, 2006

Websites consultados:

www.un.org

www.iclei.org

www.agenda21local.info/

www.ecoreporter.abae.pt

www.deco.proteste.pt

www.adene.pt

www.ren.pt

www.eur-lex.europa.eu

www.dre.pt

www.pofc.qren.pt

www.eneres.es

http://ciencias.esec-sampaio.net/index.php?option=com_content&task=view&id=34&Itemid=61

[Http://clubeeuropeuesfafe.eu/drupal/sites/default/files/Ferramenta de poupança de energia.pdf](http://clubeeuropeuesfafe.eu/drupal/sites/default/files/Ferramenta%20de%20poupan%C3%A7a%20de%20energia.pdf)

<http://dre.pt/pdf1sdip/2010/12/25300/0609306098.pdf>

6. Referências Bibliográficas

<http://economiaportuguesa.blogspot.com/2010/01/dependencia-energetica-de-portugal-e-os.html>

http://e-geo.ineti.pt/edicoes_online/diversos/energias_renov/texto2.htm

<http://enalternativas.no.sapo.pt>

<http://estudonline.tripod.com/temperat.htm>

http://jpn.icicom.up.pt/2011/04/11/portugueses_usam_cada_vez_mais_as_energias_renovaveis.html

http://lge.deec.uc.pt/pessoas/amartins/Inv_e_Des.htm<http://www.ames.pt/site/pagina.asp?n>

<http://sniamb.apambiente.pt/portals/Indicadores/FichaIndicador.aspx?IndID=19>

http://www.adene.pt/pt-pt/Publicacoes/Documents/guia_eficiencia_energetica.pdf

http://www.aguaquentesolar.com/publicacoes/16/FORUM_Relatorio-Sintese.pdf

http://www.aguaquentesolar.com/publicacoes/16/FORUM_Relatorio-Sintese.pdf

<http://www.anossaescola.com/cr/testes/ivani/solo.htm>

<http://www.bdigital.ufp.pt/dspace/bitstream/10284/1006/3/14949.pdf>

<http://www.ceeeta.pt/energia/files/09/07-Edificios.pdf>

<http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/InformacaoExploracao/Paginas/EstatisticaMensual.aspx>

6. Referências Bibliográficas

<http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/InformacaoExploracao/Paginas/EstatisticaMensual.aspx>

<http://www.chama.com.pt/energia/images/OLDbrochurageotermia.pdf>

<http://www.construir.pt/2010/01/06/universidade-de-aveiro-investe-9-me-em-programa-de-eficincia-energtica/>

http://www.dgge.pt/aaaDefault.aspx?f=1&back=1&codigono=77387764AAAAAAAAAAAAAome=reduzir_electrica§ion=19

<http://www.ebanataw.com.br/roberto/energia/ener7.htm>

http://www.eneres.es/uploads/pdf/infraestructuras_industria.pdf

http://www.eneres.es/uploads/pdf/infraestructuras_trafico.pdf

http://www.eneres.es/uploads/pdf/Manuel_Silvela_web.pdf

<http://www.energiasealternativas.com/energia-geotermica.html>

<http://www.exertec.pt/pt/go/produtos/bombas-de-calor>

http://www.geografia.fflch.usp.br/graduacao/apoio/Apoio/Apoio_Deborah/2s_2011/FLG_1254-Pedologia_aula_10.pdf

http://www.girodgeotermia.com/index.php?option=com_content&view=article&id=191:i-congresodeenergiageotermica&catid=62:articulos

<http://www.gstriatum.com/pt/energia-geotermica-na-espanha/>

<http://www.gudenergy.pt/php/geotermia.php>

6. Referências Bibliográficas

<http://www.institutosacarneiro.pt/?idc=501&idi=1427>

<http://www.pger-ck.com/pt/13-analise-de-viabilidade-economica-sensibilidade-e-risco>

http://www.planotecnologico.pt/document/Doc_10.pdf

<http://www.portal-energia.com/como-funcionam-as-bombas-calor-geotermico/>

<http://www.scielo.br/pdf/qn/v20n5/4894.pdf>

http://www.soliclimate.com/pt/energia_geotermica.html

<http://sites.google.com/site/geologiaebiologia/s%C3%A9timo-ano/estrutura-interna-da-terra>

<http://www.gudenergy.pt/php/geotermia.php>

<http://www.iapmei.pt/iapmei-bmkindex.php>

<http://www.projectoreadi.com/pt/seminarios/energia-e-sustentabilidade-em-edificios-publicos-e-de-servicos-braga>

<http://www.ufpel.edu.br/faem/agrometeorologia/Tsolo.pdf>

<http://www2.ufp.pt/~jguerra/PDF/Fundacoes/Execucao%20de%20Estacas.pdf>

http://www.ufscar.br/cobeqic07/pdf/poster_iii/piii46.pdf

https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/1050083/1/Dissertacao_Mauro_Custodio_58295.pdf

<http://www.maotdr.gov.pt>

<http://www.ordemeconomistas.pt/xeo/attachfileu.jsp>

6. Referências Bibliográficas

www.advantageaustria.org

www.enercret.com

www.alternativenergie.net

www.geothermie.ch

www.consumer.es

www.islandia.com

www.ua.pt

www.islandia.com

www.paginas.fe.up.pt

www.repositorium.sdum.uminho.pt

www.labvirtual.eq.uc.pt

www.uni.no.sapo.pt

www.geotermiadeportugal.pt

www.novaenergia.pt

www.portugal.gov.pt

www.ochsner.pt

6. Referências Bibliográficas

www.aquesol.com

www.enat.pt

www.airpac.eu

www.energia.gr

www.ecen.com

www.eda.pt

www.investmentosnapratica.com

www.poliempreende.estga.ua.pt

www.iapmei.pt

www.investidor.pt

www.weg.net

www.abacusproperty.pt

www.efeverde.com

www.climatizacao.pt;

ec.europa.eu

www.renewables-made-in-germany.com;

6. Referências Bibliográficas

www.al-invest4.eu;

www.energias-renovaveis-geotermia.pt

www.ruc.udc.es

www1.ci.uc.pt