



Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Civil
2012

**Jorge Augusto
Laranjeira Catarino**

A energia térmica de águas residuais na climatização de edifícios



**Jorge Augusto
Laranjeira Catarino**

A energia térmica de águas residuais na climatização de edifícios

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizado sob a orientação científica do Dr. Eng.º José Claudino Cardoso, Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

O júri

Presidente

Professor Doutor Aníbal Guimarães da Costa

Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

Engenheiro Tiago Luiz Afonso

Diretor de Unidades da Vhm – Coordenação de Gestão de Projetos

Professor Doutor José Claudino de Pinho Cardoso

Professor Associado da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

O presente trabalho só foi possível com os apoios humanos e materiais concedidos por várias pessoas e entidades, que foram essenciais para a sua realização. Gostaria assim de expressar o meu profundo e sincero agradecimento a todos aqueles que, de forma mais ou menos direta, me ajudaram ao longo desta dissertação.

Ao Professor José Claudino Cardoso, meu orientador, pela moral concedida, pelo empenho e frontalidade, não só nesta dissertação como no meu percurso académico. Um homem de valores como hoje poucos existem.

Ao Professor José Marques Lapa, meu co-orientador, pela dedicação, pelo empenho e pela amizade. Um homem de um conhecimento e experiência sem comparação. Um homem de princípios e valores pelos quais todos deveriam reger a sua vida. Foi para mim um mestre ao longo da minha vida académica.

Aos meus camaradas de tese, Rita Neves, Ricardo Lucas e Luís Cunha. Pela equipa encorajadora que formamos e pela amizade que desenvolvemos.

Ao Engenheiro António Figueiredo pela amizade e colaboração.

À AdRA – Águas da Região de Aveiro, nas pessoas do Eng. Alberto Roque e Eng. Rui Ferreira, pelo apoio prestado em toda a informação pretendida. Uma parceria exemplar e um exemplo de dinâmica entre Universidades e Empresas.

À minha namorada, Mafalda Pereira, por simplesmente ser quem é. Por ser a minha outra metade.

Aos meus pais, Mário e Anabela Catarino. Qualquer palavra que aqui escrevesse para vos agradecer e demonstrar a vossa importância pecaria por defeito.

Ao Edgar Pinto que é para mim como um irmão.

Ao Fernando Brajal e Ricardo Ventura, companheiros de dias e noites de trabalho, pela vossa amizade.

A todos, Muito Obrigado.

Palavras-chave

Biotermia, energia térmica, águas residuais, coletores, sustentabilidade, permutadores de calor, estruturas termoativas

Resumo

O esforço europeu na redução do consumo energético é um dos principais objetivos num futuro próximo. Portugal, como país membro da união europeia, não poderá abstrair-se deste propósito. Com este princípio, no nosso país foram adotadas medidas de forma a cumprir estes objetivos, que estão descritas no documento “Estratégia Nacional para a Energia – ENE2020”.

A presente dissertação descreve e tenta enquadrar uma nova tecnologia, de elevado potencial, que pode proporcionar o cumprimento destas metas. Esta tecnologia consiste na extração de energia calorífica das águas residuais que circulam nos coletores de saneamento.

Inicialmente, nesta dissertação, foi efetuada uma análise do edificado em Portugal e dos hábitos de consumo energético dos portugueses. Fundamental, foi também dar a conhecer a tecnologia em si, explicando no que consiste, quais as suas vertentes e potencialidades.

Devido à vertente pioneira desta tecnologia em Portugal, tentou-se perceber a potencialidade dos nossos coletores. Foi definida uma zona da cidade, foram feitos inquéritos aos habitantes e foram analisadas as temperaturas nos coletores dessa zona, ao longo de um dia.

Mas esta dissertação deu já um passo em frente ao que já se estudou noutros países. Tentou-se perceber não só as temperaturas das águas residuais como também do ar interior das condutas e assim, perceber se este recurso é proveitoso. No final, os resultados superaram todas as expectativas, e demonstrou-se que tanto a temperatura das águas residuais como as do ar interior dos coletores são altas e constantes ao longo do dia.

Keywords

Biothermal energy, thermal energy, wastewater, sewer, sustainability, heat exchangers, thermo-active structures

Abstract

The European effort in reducing energy consumption is one of the main goals for the near future. Portugal, as a member of the European Union, mustn't ignore this purpose. In our country, and following this line, some measures were put in action in order to meet these goals, which can be found in the National Strategy for Energy, "Estratégia Nacional para a Energia - ENE2020."

This work describes a new technology of great potential, and tries to set its roots so that those established goals can be met. This technology consists of the extraction of thermal energy from the wastewater that runs on public sewers.

Initially, a study regarding the typical buildings of Portugal and the Portuguese energy consumption habits was conducted. Also, the technology on itself was explored in terms of what it entailed and its ramifications and potential.

Due to the fact that it's a pioneer technology in Portugal, there was the need to understand the potential of the sewers. After an area of the city of Aveiro had been established, inquiries to the inhabitants on their water and energy consumption habits and values were made, and the temperature of the sewers of that area was measured for a day.

Even though it may not seem much, a big step has been taken from what has been studied in other countries. Not only was there an attempt to understand the thermal behavior of the wastewater but also the temperature of the sewers' inner air and, that way, understand if this is a beneficial resource.

In the end, the results exceed all expectations, and it was shown that both the wastewater and the sewers' inner air temperatures are high and steady throughout the day.

Índice

1. Introdução	1
1.1. Estado atual do consumo energético do país no setor doméstico	2
1.1.1. Caracterização do parque habitacional	3
1.1.2. Caracterização do consumo energético	8
1.1.3. Caracterização da energia por tipo de utilização	11
1.2. Considerações Gerais e Enquadramento	15
1.3. Origem e Evolução do Conceito	16
1.4. Objetivos	17
2. Biotermia	19
2.1. Princípios da Biotermia e Conceitos Básicos	19
2.2. Fatores que Influenciam a Solução	24
2.3. Exemplos de Base já Executados	27
2.3.1. Caso de Oslo, Noruega	27
2.3.2. Caso de Glarus, Suíça	28
2.4. Bombas de Calor	28
3. Levantamento da zona piloto forca-vouga	31
3.1. Caracterização dos consumos energéticos e de água no bairro da Forca-Vouga	33
3.1.1. Enquadramento dos inquéritos no bairro da Forca-Vouga	34
3.1.2. Caracterização do consumo de água no bairro da Forca-Vouga	36
3.1.3. Caracterização dos consumos elétricos no bairro da Forca-Vouga	41
4. Ensaio Térmico em Condução no Bairro da Forca-Vouga	47
4.1. Caracterização dos coletores e câmaras de visita no bairro da Forca-Vouga	47
4.2. Caracterização dos ensaios	49
4.3. Resultados dos ensaios térmicos	52
5. Discussão de Resultados	63
6. Departamento de Nanotecnologia (CICFANO) – Pioneiro na Península Ibérica	69
7. Conclusão	81
7.1. Objetivos Futuros da Dissertação	82
7.2. Perspetivas Futuras	84
8. Bibliografia	85
ANEXO A	91

Índice de Figuras

Figura 1 - Repartição do consumo de energia por sector. _____	2
Figura 2 - Consumo energético no sector doméstico por tipo de fonte. _____	3
Figura 3 - Caracterização do parque habitacional por ano de construção. _____	4
Figura 4 - Caracterização dos alojamentos por tipologias de áreas urbanas. _____	5
Figura 5 - Condições de habitabilidade do alojamentos - rácios de águas canalizadas. _____	6
Figura 6 - Rácio de alojamentos com isolamento em paredes exteriores. _____	7
Figura 7 - Rácio de alojamentos com isolamento em coberturas. _____	8
Figura 8 - Rácios de consumo e despesa nos alojamentos. _____	9
Figura 9 - Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de fonte. _____	10
Figura 10 - Distribuição da despesa com energia no alojamento por tipo de fonte. _____	10
Figura 11 - Alojamentos que consomem energia por tipo de fonte. _____	11
Figura 12 - Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de utilização. _____	12
Figura 13 - Distribuição do consumo de energia para Aquecimento do Ambiente por tipo de fonte. _____	13
Figura 14 - Distribuição da despesa com energia para Aquecimento do ambiente por tipo de fonte _____	14
Figura 15 - Rácio de consumo de Energias Renováveis e Fósseis. _____	15
Figura 16 - Exemplo de um circuito (primário + secundário) (adaptado). [13] _____	20
Figura 17 - Possibilidades de recolha de energia proveniente das águas residuais. [11] _____	20
Figura 18 - Exemplo de permutador de energia no interior do edifício. [14] _____	21
Figura 19 - Coletor sob pressão com permutador. _____	22
Figura 20 - Tricotomia do planeamento do projeto. _____	26
Figura 21 - Diagrama das entidades que deverão fazer parte do projeto. _____	26
Figura 22 - Esquema de funcionamento de uma bomba de calor. [17] _____	29
Figura 23 - Localização do bairro da Forca-Vouga, Aveiro (Google, 2012). _____	32
Figura 24 - Divisão do bairro da Forca-Vouga por tipo de edifício (Google, 2012). _____	33
Figura 25 - Rácio de moradias e apartamentos no espaço amostral das habitações inquiridas. _____	35
Figura 26 - Rácio de habitantes inquiridos entre moradias e apartamentos. _____	35
Figura 27 - Valores médios dos consumos de água nas habitações. _____	36
Figura 28 - Valor médio do consumo da águas no comércio. _____	37
Figura 29 - Média dos consumos ao longo do ano por tipo de unidade. _____	38
Figura 30 - Evolução anual da média de consumos ao longo do ano. _____	38
Figura 31 - Percentagem de pessoas que usa eletrodomésticos que contribuem para a rede de saneamento. _____	39
Figura 32 - Distribuição horária do uso das instalações sanitárias nas habitações. _____	40
Figura 33 - Média dos consumos energéticos no ano de 2011. _____	41
Figura 34 - Comparação do consumo energético em moradias e apartamentos no ano de 2011. _____	42
Figura 35 - Evolução anual do consumo médio energético nos vários sectores no ano de 2011. _____	42
Figura 36 - Aparelhos usados nos sectores do comércio e habitacional para climatização do ambiente. _____	43
Figura 37 - Distribuição horária do uso de aparelhos de climatização no comércio e nas habitações. _____	45
Figura 38 - Rácios do uso dos vários tipos de aparelhos para o aquecimento de águas nas habitações. _____	46
Figura 39 - Planta dos coletores e das câmaras de visita do bairro da Forca-Vouga. Identificação dos locais onde foram realizados os ensaios. _____	48
Figura 40 - Câmara Termográfica (Testo 875). _____	50
Figura 41 - Exemplo de uma das fotografias térmicas tiradas de dentro de uma câmara de visita. _____	50
Figura 42 - Colocação dos termopares na câmara de visita. _____	51

Figura 43 - Intervalos horários dos registos de temperatura. A vermelho os picos esperados e a azul os horários de vazio esperados. _____	52
Figura 44 - Temperaturas médias do efluente e do ar interior do coletor no dia 3 de Outubro de 2012. _____	58
Figura 45 - Variação diária da temperatura do efluente nos vários locais vs. Temperatura exterior. _____	59
Figura 46 - Variação diária da temperatura do ar interior dos coletores nos vários locais vs. temperatura exterior. _____	59
Figura 47 - Variação diária da temperatura do efluente e do ar interior da conduta no local nº1. _____	60
Figura 48 - Variação diária da temperatura do efluente e do ar interior da conduta no local nº2. _____	60
Figura 49 - Variação diária da temperatura do efluente e do ar interior da conduta no local nº3. _____	61
Figura 50 - Evolução diária da média das temperaturas dos três locais vs. utilização das instalações sanitárias. _____	64
Figura 51 - Evolução diária da média das temperaturas dos três locais vs. Utilização de aparelhos de climatização. _____	65
Figura 52 - Temperaturas mínimas, médias e máximas ao longo do dia, do efluente e do ar interior dos coletores. _____	67
Figura 53 - Localização do Permutador em relação ao edifício do CICFANO. _____	69
Figura 54 - Conduta original em fibrocimento, que liga uma estação elevatória à ETAR da cidade de Aveiro. _____	70
Figura 55 - Planta esquemática do permutador de calor. _____	71
Figura 56 - Planta esquemática de pormenor do coletor térmico. _____	72
Figura 57 - Desenhos esquemáticos em perfil e corte transversal do permutador. _____	73
Figura 58 - Alguns dos módulos do permutador. _____	74
Figura 59 - Pormenor das ligações entre os módulos _____	74
Figura 60 - Zona de derivação entre a conduta que substitui a existente e o permutador, onde é construída a câmara de manobra e operação. A azul, as válvulas de corte. _____	75
Figura 61 - Câmara de manobra e operação _____	75
Figura 62 - Planta da ligação do permutador à bomba de calor. _____	76
Figura 63 - Tubos em polietileno que ligam o permutador à bomba de calor. _____	76
Figura 64 - Zona do permutador que se liga aos tubos de polietileno que conduzem o líquido à bomba de calor. _____	77

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Caracterização dos alojamentos (quadro resumo). _____	5
Tabela 2 - Resultados dos ensaios térmicos no bairro da Forca-Vouga. _____	57
Tabela 3 - Valores médios da temperatura no efluente e no ar interior do coletor por local. _	58
Tabela 4 - Valores máximos e mínimos, gerais e por locais, das temperaturas do efluente e do ar interior do coletor. _____	58
Tabela 5 - Valores da temperatura obtidos na conduta original ao longo do ano. _____	78
Tabela 6 - Valores de caudais medidos entre Agosto de 2010 e Março de 2011. _____	79
Tabela 7 - Influência do Permutador na temperatura do fluido. _____	79

1. INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica, social, industrial e cultural tem conhecido avanços extraordinários nas últimas décadas. A democratização da tecnologia, a multiplicidade cultural, a emancipação social e a informatização da indústria levam a um aumento do nível de vida, da variedade de oferta e da facilidade de acesso a bens e serviços. Contudo, a fatura energética proveniente de todo o desenvolvimento em volta da sociedade é cada vez mais elevada, aumentando drasticamente os custos e a degradação ambiental.

Portugal, como membro da União Europeia, irá adotar até 2020 uma vasta gama de medidas que visam aumentar a quantidade de energia proveniente de fontes renováveis e reduzir o consumo energético e as emissões de CO₂ para a atmosfera. As diretivas europeias dão elevada importância à eficiência energética em edifícios, caminhando na direção de os tornar autossustentáveis. Esta crescente e significativa importância advém do facto de 40% do consumo energético no conjunto dos países membros da União Europeia ser para alimentar estes mesmos edifícios, e que tem verificado um aumento na ordem dos 2% anuais contribuindo para um aumento de 3% no consumo energético total dos países membros. Ainda segundo dados da União Europeia, deste consumo efetuado pelos edifícios, cerca de metade, 50% desse consumo, é para climatização (aquecimento/arrefecimento do ambiente interior).

Em Portugal, as linhas orientadoras da estratégia nacional de redução do consumo energético estão definidas e descritas na “Estratégia Nacional para a Energia – ENE2020” [1], de que se destacam:

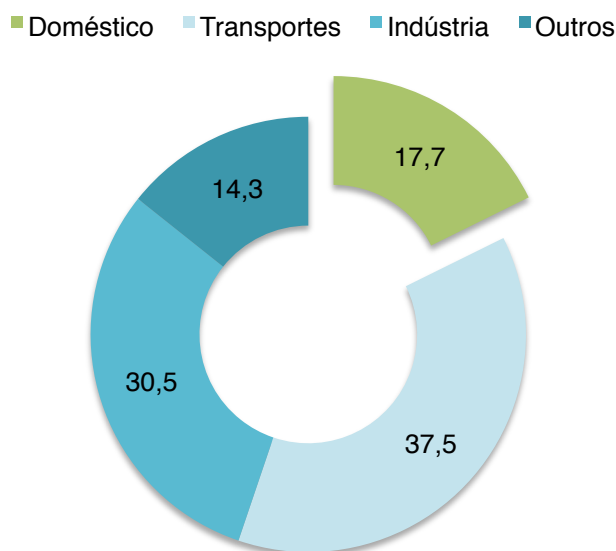
- Reduzir a dependência energética do País face ao exterior para 74% em 2020, produzindo, nesta data, a partir de recursos endógenos, o equivalente a 60 milhões de barris anuais de petróleo(...);
- Garantir o cumprimento dos compromissos assumidos por Portugal (...), permitindo que em 2020, 60% da eletricidade produzida e 31% do

consumo de energia final tenham origem em fontes renováveis e uma redução do 20% do consumo de energia final (...);

- Reduzir em 25% o saldo importador energético com a energia produzida a partir de fontes endógenas (...);

1.1. Estado atual do consumo energético do país no setor doméstico

O consumo doméstico dos variados tipos de fontes de energia tem vindo a aumentar o seu peso no consumo final total de energia em Portugal, nos últimos 10 anos. Os últimos dados, referentes ao ano de 2009, indicam que o peso deste consumo doméstico no total da energia consumida no nosso país ascende a 17,7%, sendo o terceiro maior sector em consumo, ficando apenas atrás dos transportes e da Indústria (Figura 1).[2]



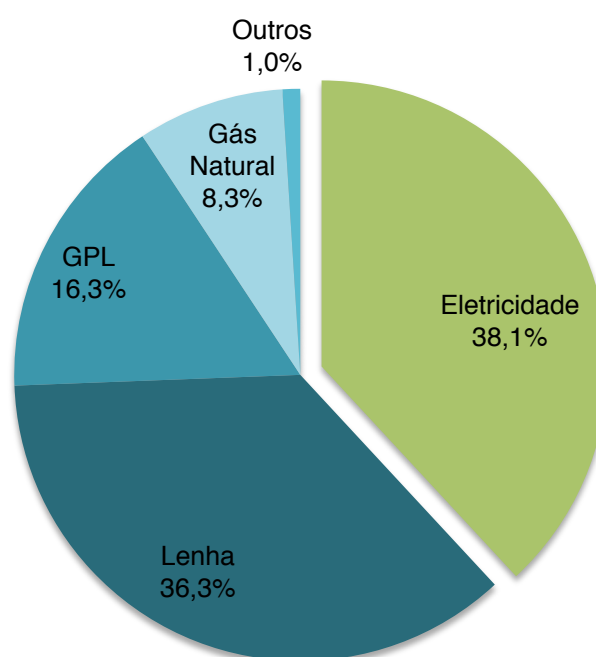
Fonte: INE/DGEG - Inquérito ao consumo de energia no Sector Doméstico (2010)

Figura 1 - Repartição do consumo de energia por sector.

Contudo, a leitura do gráfico anteriormente mostrado deverá ser cuidadosa, atendendo ao facto de o sector dos Transportes e da Indústria não fazer um

uso tão significativo da eletricidade como fonte energética, como faz o sector doméstico, onde muitas vezes é a fonte exclusiva de energia. Além disso, o consumo doméstico descrito não inclui o consumo em combustíveis para veículos particulares.

No que diz respeito ao tipo de fonte usada para obtenção de energia no sector doméstico, a mais usada é a energia elétrica. A ela cabe uma quota de 38,1% da energia consumida numa habitação (Figura 2).[2]



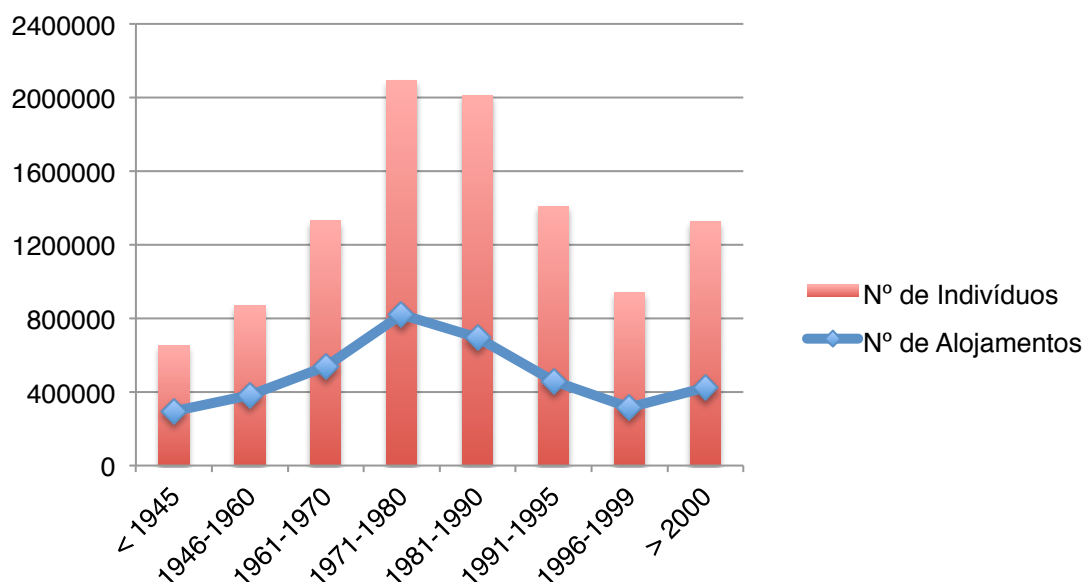
Fonte: INE/DGEG - Inquérito ao consumo de energia no Sector Doméstico (2010)

Figura 2 - Consumo energético no sector doméstico por tipo de fonte.

1.1.1. Caracterização do parque habitacional

Para um melhor entendimento dos consumos médios registados nas famílias, é importante compreender o parque habitacional português. Desta forma, enquadra-se da melhor maneira os consumos elétricos em Portugal com a realidade do nosso país.

Os dados aqui apresentados baseiam-se unicamente nos alojamentos familiares de residência principal, englobando áreas urbanas e rurais, mas ficando assim de fora habitações secundárias, casas de férias, casas desabitadas, etc. [2]



Fonte: INE/DGEG - Inquérito ao consumo de energia no Sector Doméstico (2010)

Figura 3 - Caracterização do parque habitacional por ano de construção.

Do gráfico da Figura 3, verifica-se que apenas 7,5% dos alojamentos são anteriores a 1946 e 10,8% após o ano 2000. O crescimento do nº de indivíduos em alojamentos acompanha a tendência do nº de alojamentos.

Contudo, para uma análise do consumo energético, é preciso ter em atenção que as diretivas relativas à eficiência energética são recentes. A idade dos alojamentos é um factor negativo para o consumo energético pois estes apresentam perdas superiores às construções contemporâneas.

Outro fator importante na quantificação da energia gasta por alojamento é a sua área. Em Portugal, de acordo com os dados do INE, a área total dos alojamentos é de 419.240.807 m² no ano de 2009. Isto equivale a uma média de 107 m²/alojamento.

Outro dado de relevo é a ocupação do espaço pelos indivíduos. No nosso país, há cerca de 2,7 indivíduos/alojamento.

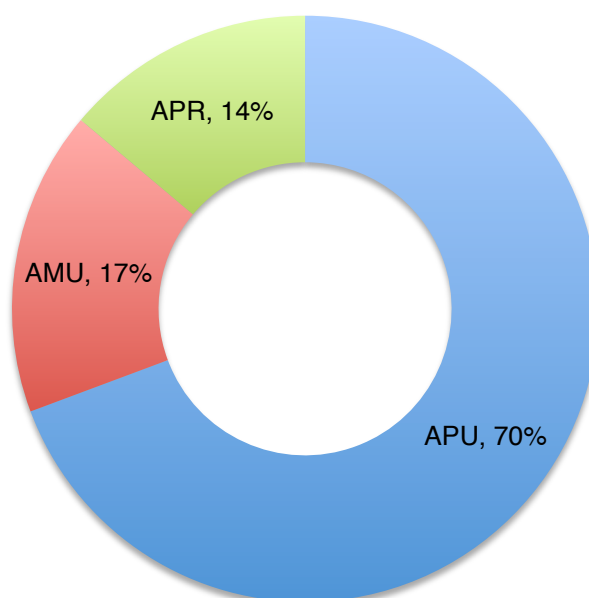
A Tabela 1 mostra um resumo dos dados anteriormente quantificados:

Tabela 1 - Caracterização dos alojamentos (quadro resumo).

	Nº de Alojamentos	Nº de Indivíduos	Ocup. Média (ind/aloj)	Área Total (m ²)	Área Média (m ² /aloj)
Portugal	3 932 010	10 637 713	2,7	419 240 807	107

Fonte: INE/DGEG - Inquérito ao consumo de energia no Sector Doméstico (2010)

Numa avaliação por tipologia das áreas urbanas, 70% dos alojamentos inserem-se em Área Predominantemente Urbana (APU), 17% em Área Mediamente Urbana (AMU) e 14% em Área Predominantemente Rural (APR) (Figura 4).[2]



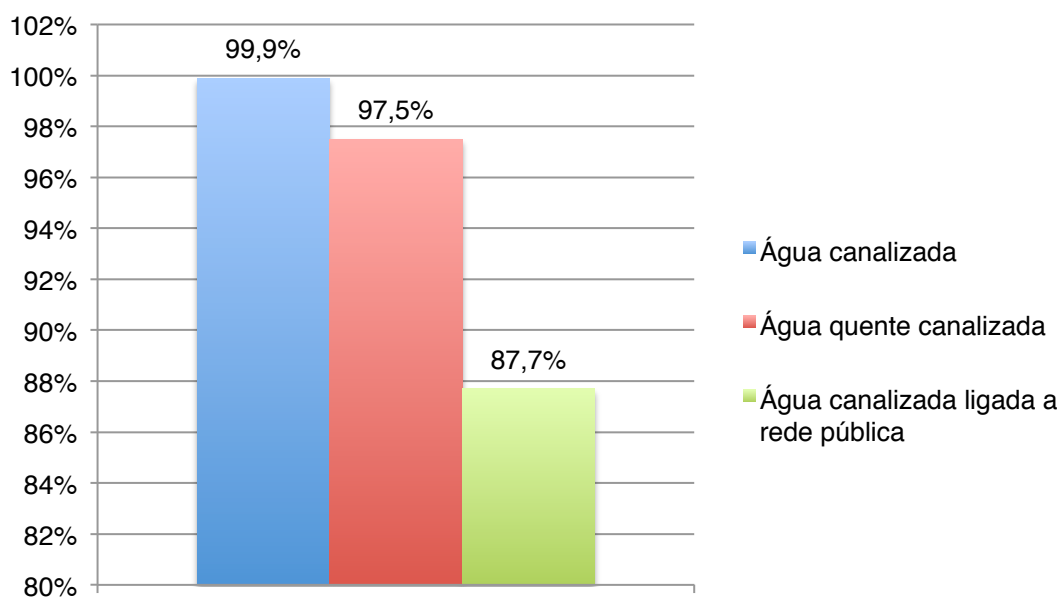
Fonte: INE/DGEG - Inquérito ao consumo de energia no Sector Doméstico (2010)

Figura 4 - Caracterização dos alojamentos por tipologias de áreas urbanas.

Dos alojamentos representados na amostra descrita, é importante saber quais as condições básicas de habitabilidade existentes. Condições como a existência de eletricidade com ligação à rede pública, água canalizada (com ligação à rede pública), água quente canalizada e isolamentos.

A quase totalidade dos alojamentos já possui uma ligação elétrica à rede pública. Em número, são 3.926.201 alojamentos ligados, o que equivale a 99,9% de todo o parque habitacional.

No que refere ao abastecimento do alojamento por água canalizada, este é encontrado em 3.909.825 alojamentos, o que equivale a 99,4% do total. Destes, 3.428.951 são abastecidos com água canalizada ligada à rede pública (87,7%) e 3.812.882 possuem águas quentes canalizadas (97,5%). De salientar que os rácios de águas quentes canalizadas e de água canalizada ligada à rede pública são obtidos com base no número de alojamentos com canalização.[2]

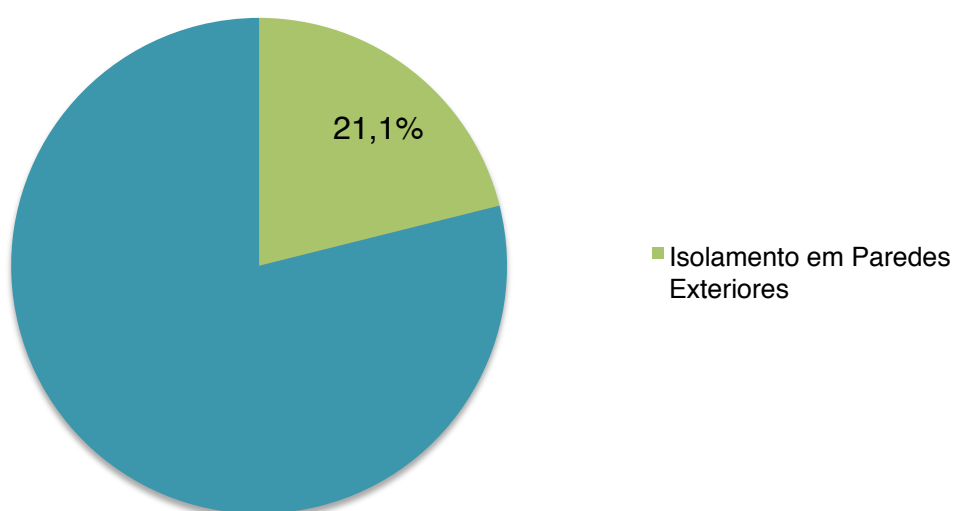


Fonte: INE/DGEG - Inquérito ao consumo de energia no Sector Doméstico (2010)

Figura 5 - Condições de habitabilidade do alojamentos - rácios de águas canalizadas.

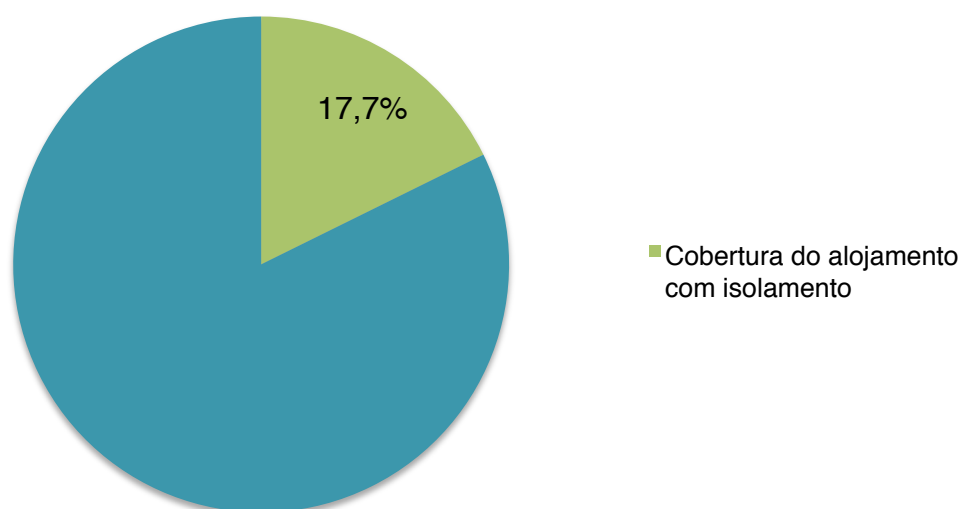
De entre os factores de habitabilidade considerados, o mais recente no panorama da construção é a inclusão de isolamentos em paredes e coberturas.

Devido a esta sua juventude de aplicação, menos de $\frac{1}{4}$ do parque habitacional possui isolamento de raiz na sua construção. Em números mais concretos, são 828.494 alojamentos (21,1%) que possuem paredes exteriores com isolamento e 434.099 alojamentos (17,1%) com isolamento na sua cobertura. [2]



Fonte: INE/DGEG - Inquérito ao consumo de energia no Sector Doméstico (2010)

Figura 6 - Rácio de alojamentos com isolamento em paredes exteriores.



Fonte: INE/DGEG - Inquérito ao consumo de energia no Sector Doméstico (2010)

Figura 7 - Rácio de alojamentos com isolamento em coberturas.

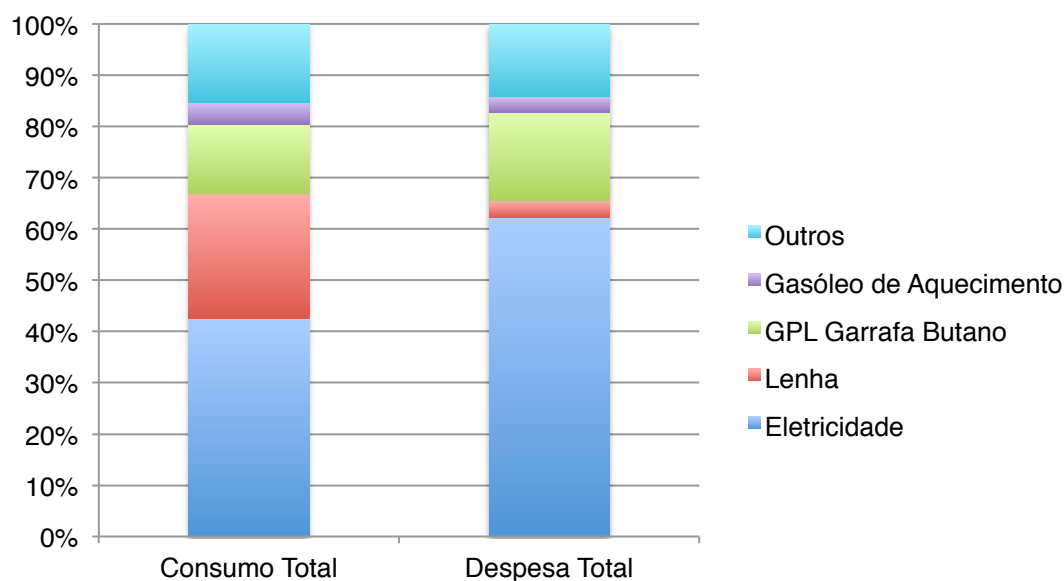
1.1.2. Caracterização do consumo energético

Os mais recentes dados estatísticos [2] mostram que, em Portugal, a eletricidade é a principal fonte energética para uso doméstico. É um recurso presente em 99,9% dos alojamentos do país. No total, foram consumidos 14.442 milhões de *kWh* em 2009, o que corresponde a 1,2 milhões de *tep* e a uma despesa global de 2 mil milhões de euros. Estes dados mostram ainda que, em média, um alojamento gasta cerca de 523€/ano em eletricidade.

No que refere às fontes energéticas, a eletricidade não é a única com carácter relevante nos consumos dos alojamentos.

O GPL Garrafa Butano é usado em 56,1% dos alojamentos, contribuindo para um custo total ao país de 571 milhões de euros anuais. É a segunda fonte mais usada em termos de predominância. Mas se o factor a ter em conta é o teor energético, a lenha ocupa a segunda posição (a eletricidade ocupa a primeira) com um consumo de 706 mil *tep*. Mas a despesa do país com esta fonte de energia é menor em comparação com o GPL Garrafa Butano, ficando-se pelos 114 milhões de euros anuais.

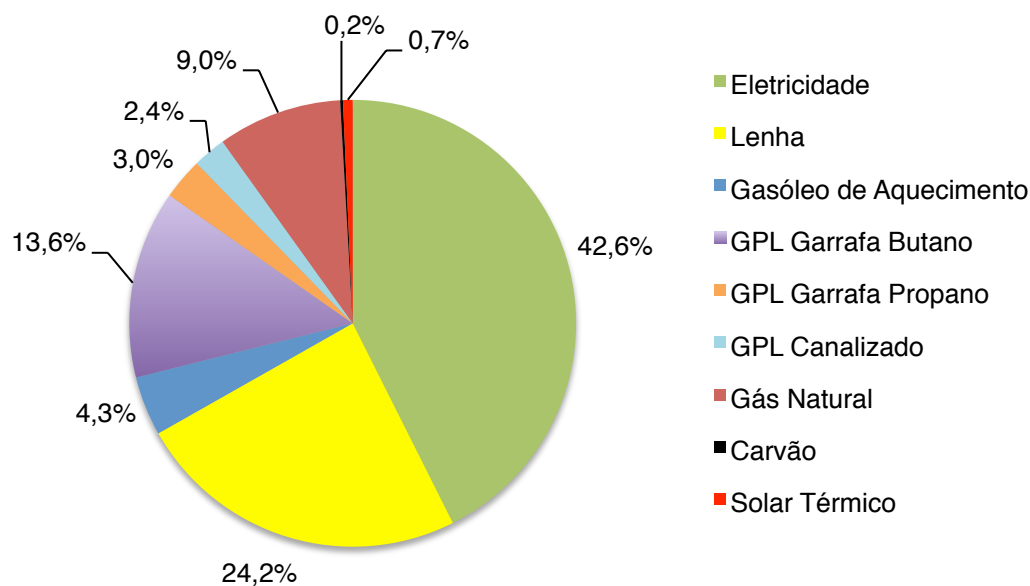
Por sua vez, o Gasóleo de Aquecimento aparece em 3,6% dos alojamentos. Apesar da baixa percentagem de predominância, esta fonte acarreta um elevado custo para os utilizadores. No ano de 2010, foram gastos 125 mil *tep*, que representam uma despesa média de 765€/ano para o consumidor. É de ressaltar que, para um consumo energético de 1.242 mil *tep*, a eletricidade apenas acarretava um custo médio de 523€/ano.



Fonte: INE/DGEG - Inquérito ao consumo de energia no Sector Doméstico (2010)

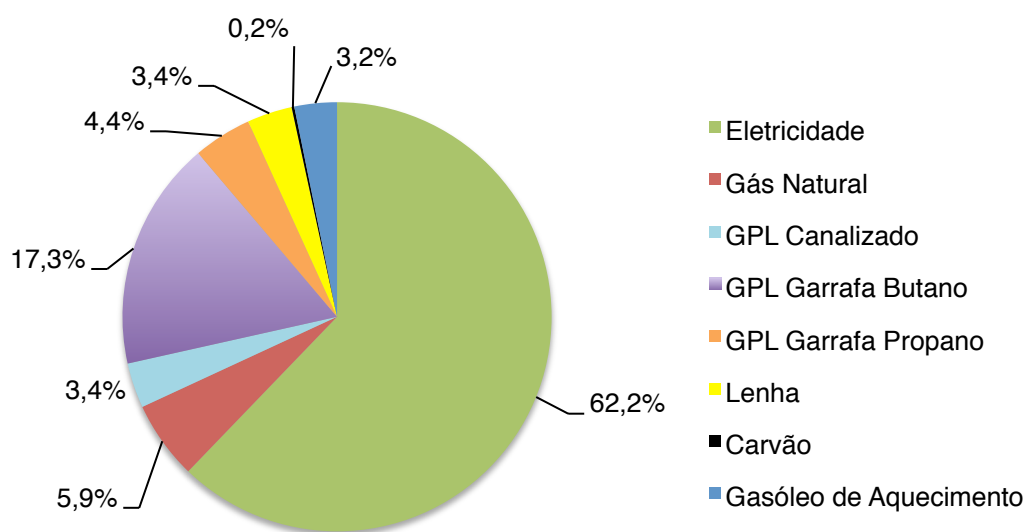
Figura 8 - Rácios de consumo e despesa nos alojamentos.

As Figuras 9 e 10 detalham de forma mais eficaz as percentagens de consumo e despesa com os vários tipos de fontes energéticas por alojamento.



Fonte: INE/DGEG - Inquérito ao consumo de energia no Sector Doméstico (2010)

Figura 9 - Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de fonte.

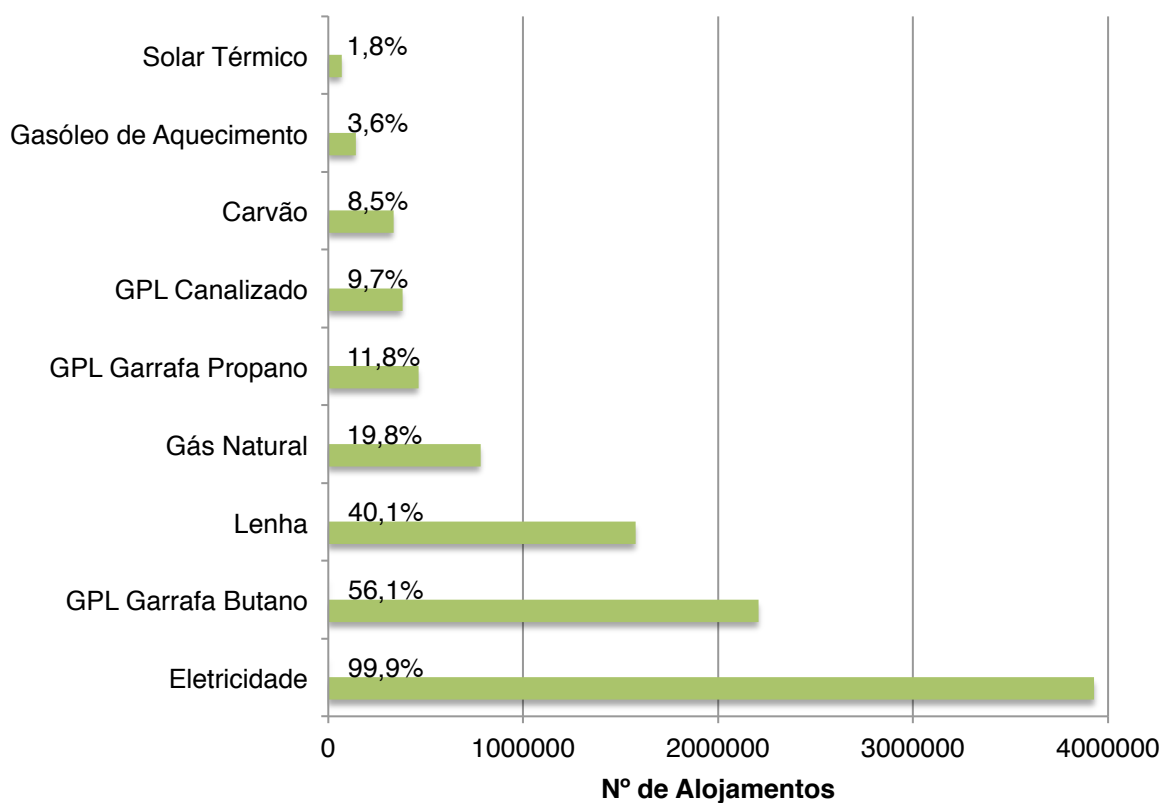


Fonte: INE/DGEG - Inquérito ao consumo de energia no Sector Doméstico (2010)

Figura 10 - Distribuição da despesa com energia no alojamento por tipo de fonte.

No total, Portugal gasta 3,3 mil milhões de euros por ano na energia para os alojamentos.

No total da factura energética das famílias, a eletricidade é a que arrecada a maior fatia. Este não é um factor estranho tendo em conta que é o tipo de fonte presente na quase totalidade dos alojamentos portugueses.



Fonte: INE/DGEG - Inquérito ao consumo de energia no Sector Doméstico (2010)

Figura 11 - Alojamentos que consomem energia por tipo de fonte.

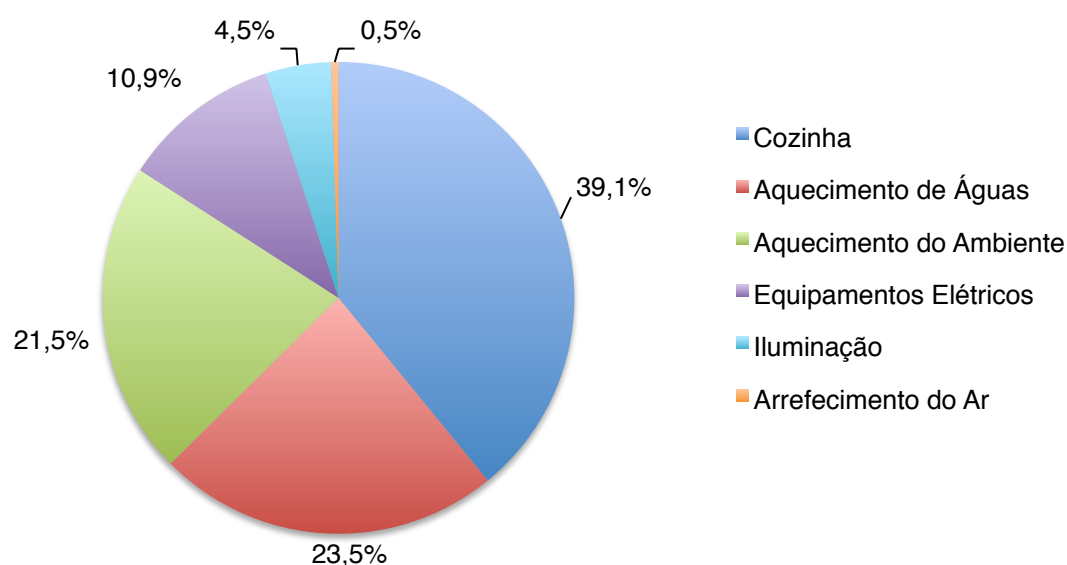
1.1.3. Caracterização da energia por tipo de utilização

Para uma análise do consumo e despesa com energia por tipo de utilização nos alojamentos em Portugal [2], é necessário dividir estes parâmetros por grupos principais. Desta forma, serão 6 os principais grupos que caracterizam o consumo e despesa com energia no sector doméstico:

- Aquecimento do ambiente

- Arrefecimento do ambiente
- Aquecimento de águas
- Cozinha¹
- Equipamentos elétricos²
- Iluminação

Os valores de 2010 indicam que, em Portugal, é a Cozinha o principal contribuinte para o consumo doméstico de energia com cerca de 39,1% do total. Logo de seguida, foram o Aquecimento de águas e o Aquecimento do ambiente, com 23,5% e 21,5%, respetivamente, as maiores fatias no consumo energético.



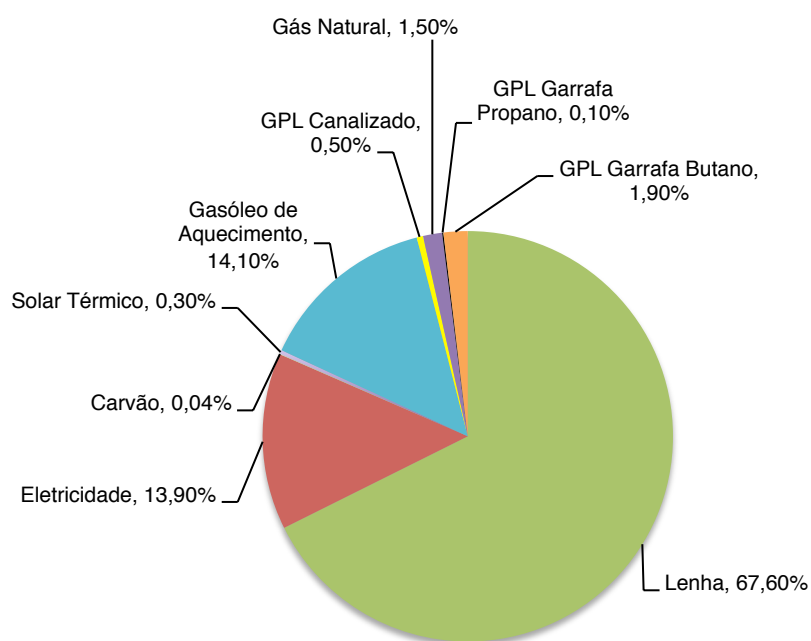
Fonte: INE/DGEG - Inquérito ao consumo de energia no Sector Doméstico (2010)

Figura 12 - Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de utilização.

¹ Inclui: Fogão com forno, Placa, Forno independente, Fogareiro, Lareira, Microondas, Exaustor/extrator, Frigorífico (com e sem congelador), Combinado, Arca congeladora, Máquina de lavar loiça, Máquina de lavar roupa, Máquina de secar roupa, Máquina de lavar e secar roupa.

² Inclui: Aspirador, Aspiração central, Ferro de engomar, Máquina de engomar, Desumificador, Televisão, Rádio, aparelhagem, Leitor de DVD, Computador, Impressora.

Focando o uso de energia para o aquecimento do ambiente, o valor mais relevante neste estudo, denota-se que este é maioritariamente obtido pelo uso de lenha como tipo de fonte, com 67,6%. Ressalva-se que este elevado uso da Lenha como fonte energética para aquecimento do ambiente é inflacionada pelas zonas rurais do país. Nos aglomerados urbanos este tipo de fonte não é tão comum, devido ao acesso à mesma e ao valor acrescido das habitações que possuam lareiras ou outros elementos que façam uso dela. Na segunda posição está o Gasóleo de Aquecimento com 14,1%. Como já demonstrado, este tipo de fonte é de elevados custos, não se tornando rentável como outros tipos de fonte. A seguir ao Gasóleo de Aquecimento vem a eletricidade com 13,9% do total de consumo.

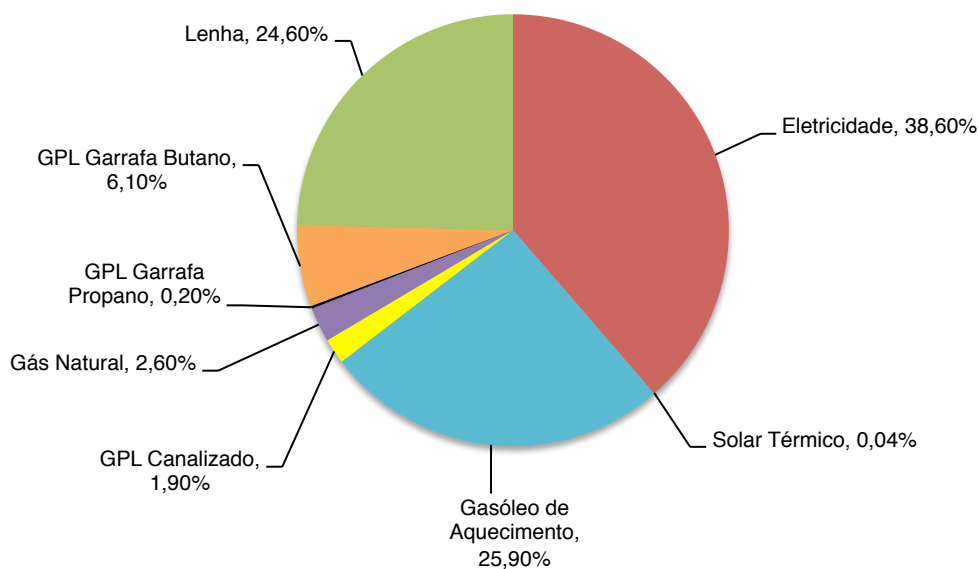


Fonte: INE/DGEG - Inquérito ao consumo de energia no Sector Doméstico (2010)

Figura 13 - Distribuição do consumo de energia para Aquecimento do Ambiente por tipo de fonte.

Relativamente aos gastos com os vários tipos de fonte energética, a eletricidade é a que mais pesa no final da factura, arrecadando 38,6% do

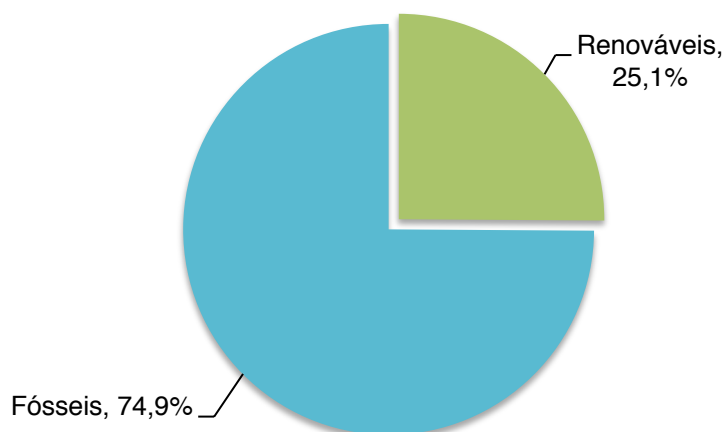
total, seguida pelo Gasóleo de Aquecimento e pela Lenha, com 25,9% e 24,6% respetivamente.



Fonte: INE/DGEG - Inquérito ao consumo de energia no Sector Doméstico (2010)

Figura 14 - Distribuição da despesa com energia para Aquecimento do ambiente por tipo de fonte

De todos os tipos de fonte de energia que são consumidos nos alojamentos em Portugal, apenas $\frac{1}{4}$ provêm de fontes de energia renováveis. Todo o restante resulta de combustíveis fósseis.



Fonte: INE/DGEG - Inquérito ao consumo de energia no Sector Doméstico (2010)

Figura 15 - Rácio de consumo de Energias Renováveis e Fósseis.

1.2. Considerações Gerais e Enquadramento

Com base nos objetivos do país, numa aposta inteligente e de futuro em energias renováveis, deve-se incentivar a investigação e desenvolver soluções para tornar o edificado cada vez mais autossustentável energeticamente.

Os efluentes urbanos, muitas vezes com uma conotação nefasta pela sua natureza, podem ser uma importante fonte de energia a explorar.

A tecnologia de obtenção de energia dos efluentes urbanos é recente, baseando-se nos princípios dos sistemas geotérmicos de baixa entalpia, e possui um elevado potencial e uma larga margem de desenvolvimento. A sua utilização em Portugal é nula e a Universidade de Aveiro será pioneira no estudo desta solução de extração energética para climatização de edifícios, não só em Portugal como na Península Ibérica. Contudo, nomeadamente na Suíça e Áustria, já existem várias aplicações e estudos publicados dentro desta área e também algumas experiências piloto, em países Asiáticos, como China [3], [4] e [5] e Coreia do Sul [6] com mais ênfase no aquecimento de águas.

Dada a ainda reduzida investigação, divulgação e publicações neste domínio do conhecimento, não existe uma terminologia definida internacionalmente para esta fonte de energia. Será aqui designada por Biotermia de Águas Residuais [7], pela comparação com o já bem estabelecido termo “geotermia”.

1.3. Origem e Evolução do Conceito

São necessárias novas perceções, infraestruturas e processos de projeto para que se possa integrar tecnologias sustentáveis que retirem proveito energético de águas residuais. [8] Associado a esta necessidade, os elevados custos de tratamento de águas residuais, agravados nos últimos anos devido à escassez crescente de algumas formas de energia (gás, petróleo, etc.) e do aumento da procura, principalmente por parte dos países emergentes, elevam a necessidade de conservar e praticar uma gestão adequada da energia acumulada que é por norma desperdiçada. [9]

Foi com este intuito que se começou a pensar numa forma totalmente nova e sustentável de se obter proveito deste recurso, numa visão mais direcionada à engenharia civil, para projetar a um nível local para atingir um objectivo global. [8]

Ainda sem terminologia técnica definida internacionalmente, a designação de Biotermia parece ser aqui apropriada pois utilizando energia essencialmente derivada de produtos biológicos, é também baseada nos princípios dos sistemas geotérmicos de baixa entalpia. Estes princípios derivam da utilização direta do calor para aquecimento de edifícios, através de permutadores e bombas de calor. [10]

Apesar de inovadora em Portugal e na Península Ibérica, é uma tecnologia já aplicada em alguns países e com sucesso promissor. Na Suíça, a primeira implementação no terreno desta tecnologia data de há cerca de 20 anos. [11]

Mas outros países, noutros continentes, usam também esta solução energética, como é o caso da Coreia do Sul, [6], mas mais numa vertente de reaproveitamento para aquecimento das águas para fins termais. Também na

China [4], nos EUA [8], Irão [9] e Canadá [12] há estudos no sentido do reaproveitamento energético das águas residuais.

De forma simples, a Biotermia consiste num processo ativo de obtenção de energia dos efluentes com a finalidade de troca de temperaturas do ambiente interior dos edifícios, arrefecendo ou aquecendo, mantendo uma temperatura constante ao longo do ano com custos energéticos e emissões poluentes diminutas. Com base num estudo realizado no Japão, o recurso a esta fonte energética limpa, em detrimento das tecnologias usuais de aquecimento/refrigeração do ambiente, permite obter uma redução do consumo energético de 34%, da emissão de dióxido de Carbono (CO_2) de 68% e do Óxido de Nitrogénio (NO_x) de 75%. [6]

1.4. Objetivos

É objetivo desta dissertação dar início à compreensão de toda uma nova tecnologia, com suporte para o futuro, no que toca ao desenvolvimento desta solução para implementação em edifícios sustentáveis energeticamente.

Pretende-se também compreender todo o conceito em volta da Biotermia, em áreas multidisciplinares, para desta forma encontrar ideias inovadoras com o intuito de serem incluídas na otimização de soluções construtivas.

É fundamental, para tudo isto, compreender também os fenómenos de evolução de temperaturas dentro e fora de coletores de águas residuais numa variação ao longo do dia, numa fase inicial.

Para que seja possível compreender todos estes comportamentos térmicos e todos os fenómenos que possam fazer variar este mesmo comportamento é crucial executar algumas etapas.

Inicialmente, encontrar uma área de habitações e comércio, que não seja influenciada por águas residuais, nos seus coletores, provenientes de outros locais da cidade e que não tenha o auxílio de bombas para o escoamento das mesmas.

Após a definição da área, estudar o comportamento dos residentes e comerciantes da área, de forma a compreender os seus hábitos no que refere ao uso de águas e consumos energéticos para climatização do ambiente, ao longo do dia.

Como já referido, recolher as temperaturas nos coletores. Comparar os dados térmicos assim obtidos com os hábitos da população, com factores exteriores às condutas e com outros fenómenos que possam influenciar a evolução térmica diária.

2. BIOTERMIA

2.1. Princípios da Biotermia e Conceitos Básicos

A Biotermia é um sistema de permuta de energia calorífica entre os resíduos provenientes dos coletores/estações de tratamento de águas residuais e um sistema de tubagens que transportam um líquido capaz de absorver essa energia, conduzindo-a por esse meio até ao interior do edifício.

A tecnologia usada é interpretada como simples e comprovada. [11]

Como já referido, a Biotermia tanto pode ser usada para o aquecimento como para o arrefecimento do ambiente. Similarmente à Geotermia, o sistema de extração e distribuição da energia calorífica divide-se em duas partes: um circuito primário, de onde se extrai a energia das águas residuais, composto pela tubagem que transporta essas mesmas águas e um sistema de tubagens paralela que absorverá e transportará o líquido condutor. Este encontra-se ligado a um circuito secundário que faz a distribuição desse líquido condutor pelo edifício, através da ativação térmica da própria estrutura. O circuito secundário, para obter um melhor rendimento e conseguir manter as temperaturas obtidas pelo circuito primário, atua em conjunto com sistemas de PCM's (materiais de mudança de fase). Numa explicação sucinta, os materiais de mudança de fase têm a característica de reter a energia calorífica, libertando-a gradualmente. A grande vantagem desta associação de tecnologias é a estabilidade térmica do ambiente interior do edifício. Para o aproveitamento energético, utilizam-se bombas de calor na transição dos circuitos que podem ser acionadas para a alteração da temperatura do líquido, na parte secundária do sistema. [13]

A propulsão do líquido é obtida ou reforçada por bombas circuladoras.

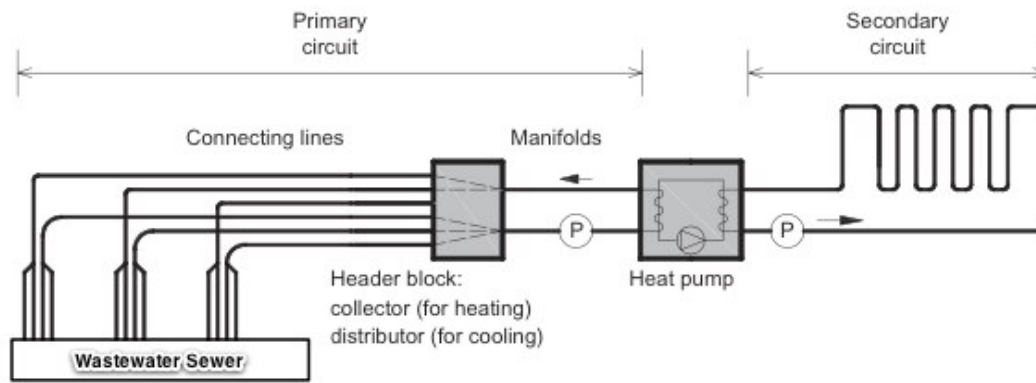


Figura 16 - Exemplo de um circuito (primário + secundário) (adaptado). [13]

Podemos dividir o uso da Biotermia em edifícios em 3 categorias, dependendo do local de onde a energia é extraída [11]:

- a) Energia extraída no interior do edifício;
- b) Energia extraída no exterior do edifício (esgotos);
- c) Energia recuperada após as estações de tratamento das águas residuais.

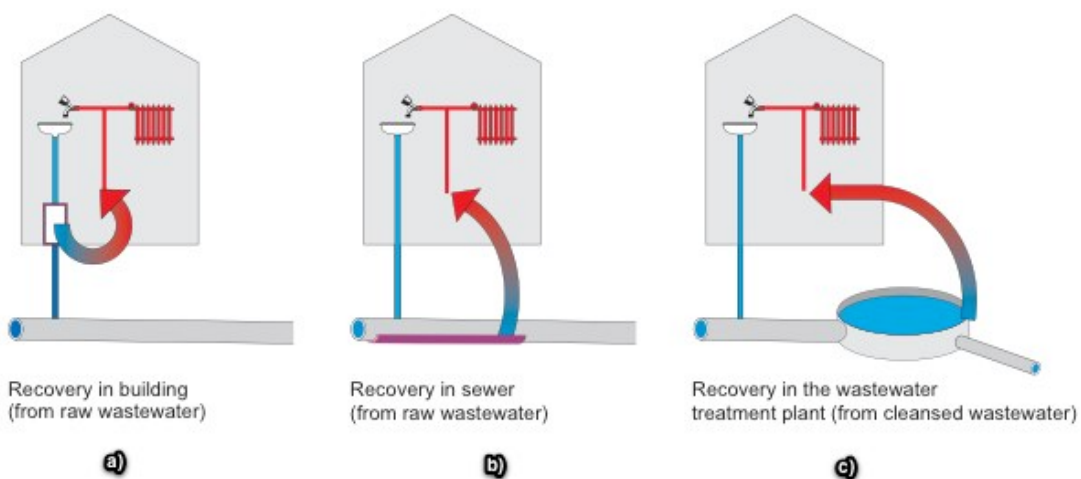


Figura 17 - Possibilidades de recolha de energia proveniente das águas residuais. [11]

No primeiro caso, em que a energia é extraída dentro do edifício, este recurso energético deriva predominantemente do reaproveitamento de águas já aquecidas, ou seja, a extração da energia térmica de águas a temperaturas superiores, como o caso de águas provenientes de banheiras/chuveiros, pias lava-louça, máquinas de lavar roupa, etc. O princípio é simples. Ao fazer-se circular a água fria em contra-fluxo com a água já quente proveniente de fontes como as que foram referidas antes, fazendo circular o tubo de entrada de água fria em espiral pelo tubo de drenagem das águas residuais quentes, estas vão efetuar a permuta de temperaturas, pré-aquecendo as águas frias que vão no sentido do interior do edifício, podendo ser usadas para aquecimento do ambiente ou no uso corrente de água, pois trata-se de água potável. [14]

Contudo, como o fluxo de água quente não é constante ao longo do tempo, é usual o recurso a acumuladores de energia. Desta forma, é possível recolher a energia das águas residuais e esta ser libertada aos poucos nas horas de “vazio” de fluxo. [11]

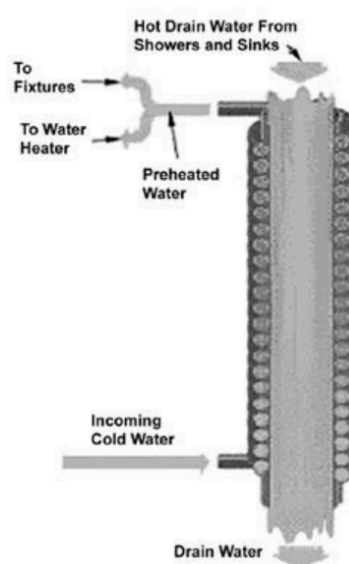


Figura 18 - Exemplo de permutador de energia no interior do edifício. [14]

Este mesmo princípio foi usado no estudo publicado por Baek. [6] Este estudo consistiu na recolha da energia das águas residuais provenientes de um hotel, com serviços termais de sauna e spa, para aquecimento das águas do próprio hotel. Quando o consumo de água quente do hotel era baixo ou nulo, este armazenava a água pré-aquecida num reservatório para, desta forma, ficar disponível a qualquer momento. Como resultado final, este sistema fornecia 90% das necessidades anuais de água quente instantânea e 100% das necessidades de água quente necessárias, com exceção dos fins-de-semana na época de inverno. [6]

Quanto ao segundo caso, é dada como pré-condição essencial e evidente, conhecer a disponibilidade do coletor, perante as autoridades responsáveis, por se tratar de um coletor público. [11]

Neste método de extração de energia proveniente dos coletores públicos, são descritas duas possibilidades: uma primeira em que é instalado o coletor de calor no leito do tubo de saneamento e uma segunda que consiste na colocação do coletor de calor no exterior com instalação de uma bomba e filtro. Na primeira possibilidade, são colocados os tubos em aço-inoxidável para recolha da energia no leito dos coletores de esgotos. Estes tubos em aço-inoxidável são ligados em paralelo ou em série com o coletor público, e levados num circuito intermédio até à bomba de calor. [11]



Figura 19 - Coletor sob pressão com permutador.

Na segunda possibilidade, com uma abordagem diferente da primeira, as águas residuais são bombeadas por uma abertura na base do coletor de esgoto, levam um pré-tratamento através da obrigação de passagem por um filtro, e são conduzidas por meio de um circuito intermédio até ao coletor de energia ou, em alguns casos, ao evaporador da bomba de calor.

A terceira opção é essencialmente igual ao segundo caso mas a energia é recolhida à saída da estação de tratamento de águas residuais, onde existe a vantagem de haver um potencial de energia mais elevado. [11]

É ainda importante definir a forma como se efetuam as permutas térmicas do ponto de vista da termodinâmica. Similarmente à Geotermia, o mecanismo de transferência de calor pode ser resultado dos seguintes tipos de permuta energética [13]:

- a) Condução;
- b) Convecção;
- c) Radiação;
- d) Processos de vaporização e condensação;
- e) Trocas iónicas.

A forma predominante de permutas térmicas ocorre por condução e secundariamente por convecção. É importante, por isso, entender esses dois fenómenos. [13]

O efeito de condução térmica ocorre por ação da colisão entre electrões livres, iões, átomos e moléculas, propagando a energia térmica pelos materiais. A energia cinética média de um material é maior quanto maior for a sua temperatura. Desta forma, os átomos do material com maior temperatura (maior energia cinética média) transferem energia para o material com temperatura mais baixa por meio dessas colisões de partículas. É comum

referir-se que o calor flui do material mais quente para o material mais frio.[15]

Por sua vez, o fenómeno de convecção ocorre quando um fluido mais quente provoca o movimento de um fluido mais frio e vice-versa. [15]

2.2. Fatores que Influenciam a Solução

Como qualquer solução de eficiência energética, a Biotermia apresenta alguns factores que podem influenciar a sua aplicabilidade. Os factores logísticos, de materiais e de aplicação existem mas poderão ser contornados com investigação ou através do recurso a tecnologia similar já existente, como o caso da Geotermia. Ainda assim, é importante enumerar os factores que podem limitar o uso desta tecnologia.

No caso da energia extraída dentro do edifício, são apontadas algumas perdas energéticas em vários componentes do sistema, como nas extremidades do tubo de aquecimento, na diminuição da pressão do caudal no tubo e perdas no contacto com resíduos acumulados. [3] No processo de montagem, os permutadores de energia só deverão ser colocados por operários especializados e os aparelhos a usar deverão ser desenhados por técnicos qualificados, desta forma evitando possíveis contágios. [11]

Na situação da extração da energia pelo exterior do edifício, nos coletores públicos de saneamento, apenas poderá ser usada esta fonte com as devidas autorizações das entidades responsáveis pelo saneamento e dos responsáveis pela estação de tratamento de águas residuais (ETAR) na qual o efluente do coletor irá desaguar. Este facto advém da necessidade de não baixar em demasia a temperatura dos resíduos transportados no coletor, pois a eficiência do tratamento biológico (nitrificação) das águas residuais está dependente da temperatura a que estas águas se encontram. [11] Tendo como exemplo a situação praticada na Suíça, não é permitido o uso da Biotermia em locais onde haja a possibilidade da temperatura das águas residuais baixar dos 10°C. [11]

Apesar da limitação descrita no parágrafo anterior, comum a ambas as soluções descritas em “2.1 Princípios da Biotermia e Conceitos Básicos”, cada uma das hipóteses de extração de energia apresenta as suas vantagens. O sistema de recolha no leito do coletor de saneamento possui a vantagem de necessitar de menos energia auxiliar no processo e de poderem ser colocados os tubos pré-fabricados com os permutadores de temperatura logo na construção ou substituição de troços de saneamento. [11] É acrescentado ainda, no que refere ao projeto e *design* do material, que este deve respeitar alguns parâmetros [11]:

- Diâmetro do coletor > 800 mm;
- Caudal durante a época seca > 30 l/s;
- Superfície de contacto das águas residuais com o leito do coletor deve ser no mínimo de 0,8 m²/m durante a época seca.

A vantagem do segundo sistema, que consiste no desvio das águas residuais por uma bomba até ao permutador de temperatura, é o facto de este ter uma vertente técnica mais flexível. A secção dos coletores não é relevante, podendo-se recorrer a produtos *standard*. É ainda referido que a área de superfície ativa e a potência do permutador de calor não são limitados pela secção do coletor.

A última solução é descrita como a mais rentável de todas. O problema dessa solução provém da localização habitual das ETARs. De facto, estas não se encontram próximas de habitações e o transporte da energia pode não ser rentável devido às perdas no caminho. [11]

Apesar das desvantagens apontadas, estas poderão não ser os principais fatores impeditivos da implementação frequente desta tecnologia.

Os sistemas de abastecimento e drenagem de águas, como em muitas outras áreas, são normalmente projetados com base na tricotomia:

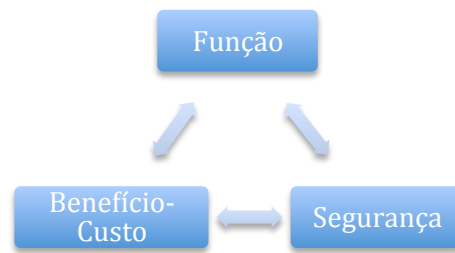


Figura 20 - Tricotomia do planeamento do projeto.

No entanto, alguns outros fatores poderiam ser incluídos na análise do projeto. No processo de desenvolvimento, a população deveria ser incluída como fator de decisão, pois a sua não inclusão pode significar um impedimento ao progresso, dificultando o alcance de soluções de sustentabilidade. A não consulta do conjunto social traz impactos na adoção e desenvolvimento de energias sustentáveis, prolongando os problemas ambientais e ecológicos a nível global. Conclui-se ainda que o problema primário não está na disponibilidade tecnológica mas na ausência de um projeto que envolva o fator sócio-tecnológico e de uma metodologia de projeto que permita desenvolver a solução mais sustentável num contexto geográfico e cultural. [8] Em suma, deverão ser parte integrante e ativa do projeto as seguintes entidades:



Figura 21 - Diagrama das entidades que deverão fazer parte do projeto.

Para que tal possa ocorrer, todas as partes interessadas terão de ser pró-ativas.

Só através do envolvimento interessado de todas estas entidades é possível chegar a uma solução eficaz, sustentável e económica.

2.3. Exemplos de Base já Executados

Nos pontos seguintes serão mostrados alguns exemplos de aplicação desta tecnologia já executados.

2.3.1. Caso de Oslo, Noruega

Um dos projetos já em funcionamento de um sistema de recolha de energia situa-se na capital da Noruega, Oslo. Nesta cidade, todo um quarteirão é abastecido de energia calorífica proveniente de um sistema de permuta de coletores públicos da zona. Esta tecnologia foi aplicada há mais de 20 anos e abastece escritórios, escolas, instalações desportivas e edifícios de habitação. No planeamento da zona, foram avaliadas várias propostas energéticas de diversas fontes com o intuito de se reduzirem os custos energéticos. A solução mais viável foi o recurso às águas residuais como fonte energética. O sistema aplicado consistiu na colocação de 4 tubos de permuta térmica capazes de abastecer todos os edifícios do quarteirão. Esta opção levou a que não fosse necessário qualquer tipo de ar-condicionado (coletivo ou individual) tanto para aquecimento como para arrefecimento do ambiente interno dos edifícios. Os investimentos e custos de manutenção foram baixos. A energia é fornecida por 3 centrais. A base central, munida de duas bombas de calor/máquinas de refrigeração, encontra-se numas instalações subterrâneas próximas e diretamente ligadas aos coletores de drenagem. Estas duas bombas de calor possuem cada uma 6.5MW de potência (4.5MW na refrigeração), e fornecem cerca de 80% da energia necessária. Todo o sistema conta ainda com 3 bombas de calor auxiliar,

alimentadas a combustível fóssil, e uma máquina de refrigeração convencional, que só entram em funcionamento em situações de picos mínimos de águas residuais que não cumpram os requisitos base de extração de energia.[11]

2.3.2. Caso de Glarus, Suíça

Outro projeto de aplicação da tecnologia de permuta de energia tem como exemplo de estudo um lar de idosos em Glarus (Suíça).

O lar de idosos é composto por 100 camas e foi equipado, em 2004, com uma central de recolha de energia das águas residuais aí produzidas. O permutador foi instalado num coletor exterior enterrado. A finalidade da recolha de energia é o seu uso no aquecimento de águas. A bomba de calor, com uma potência de 30kW, atinge um coeficiente de performance estimado de 3.8. Sendo águas de um lar de idosos, era previsto um elevado grau de contaminação nas águas residuais. Contudo, a bomba de calor funcionou sem problemas até à data. É de salientar que, até à data, não foi necessária qualquer intervenção de limpeza no permutador.

2.4. Bombas de Calor

Os princípios da bomba de calor foram iniciados por William Thomson (Lord Kelvin) em 1852, tendo esta sido aplicada, há menos de 30 anos, no aproveitamento do calor geotérmico. O conceito é exposto por Wylen como contrário ao de uma bomba de refrigeração, pela sua natureza. [16] Estas aumentam a sua eficiência ao conduzirem o fluxo de partículas de uma zona fria para outra que se pretende aquecer usando o mínimo de energia para tal, conseguindo-se o contrário da segunda lei da termodinâmica, que nos diz que *“o calor flui espontaneamente dos corpos a temperatura mais elevada para os corpos a temperatura mais baixa, mas não ao contrário”*. [15]

Schmid indica no seu exemplo de instalação de Oslo, que as bombas de calor apenas serão acionadas em picos mínimos de fluxo de águas residuais que, por consequência, coincidem com as alturas de menores temperaturas extraídas. [11]

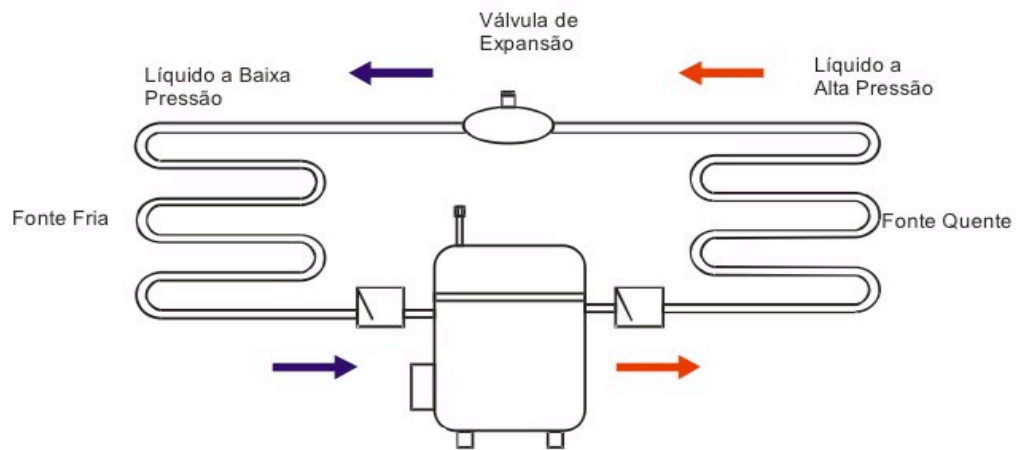


Figura 22 - Esquema de funcionamento de uma bomba de calor. [17]

3. LEVANTAMENTO DA ZONA PILOTO FORCA-VOUGA

De acordo com os objetivos iniciais desta dissertação, foi necessária a definição de uma zona que permitisse estudar os consumos energéticos e de águas, as necessidades de climatização dos edifícios e os dados que dela se poderia obter, no que respeita às temperaturas disponíveis nas condutas de saneamento.

Para tal, é necessário estipular alguns requisitos obrigatórios. Esses requisitos compreendem:

- Zona mista de habitação e comércio
- Rede de saneamento fechada dentro da zona e apenas com uma única ligação à rede principal da cidade que obrigue todo o material escoado a passar num ponto
- Escoamento por ação gravítica, sem recurso a bombas elevatórias e que não se encontrem sob pressão

Analisando os pontos anteriores na sua importância, a zona mista confere uma análise melhorada nos consumos do sector doméstico e no sector comercial, permitindo uma comparação entre ambos e uma compreensão do que se pode obter deles. Quanto ao segundo ponto dos requisitos, a obrigatoriedade da passagem de todo o saneamento num ponto permite a recolha de informação da totalidade de material escoado de toda a zona. No que concerne ao circuito fechado da zona, este não permite a influência de terceiros, ou seja, de águas residuais provenientes de outras zonas externas, das quais não existisse informação. Por último, a ausência de bombas auxiliares ao escoamento, ou que colocassem as condutas sob pressão, permite a recolha de dados no pior cenário, visto que a existência de bombas elevatórias ou de condutas sob pressão poderia fazer aumentar as temperaturas das águas residuais e no próprio interior da conduta. Esta não é

uma situação desfavorável a esta tecnologia, mas o objetivo é analisar para o pior cenário. Se se verificar positivo neste cenário mais desfavorável, é esperado que os resultados sejam ainda melhores para uma zona que faça uso de bombas elevatórias ou condutas sob pressão.

Depois de todos os requisitos cruciais definidos, e em parceria com a AdRA, foi escolhido o bairro da Forca-Vouga, na freguesia da Vera-Cruz, na cidade de Aveiro.

O bairro da Forca-Vouga situa-se na zona Este da cidade de Aveiro e tem cerca de 100.000 m². De acordo com o último censo (censos 2011), o bairro possui aproximadamente 700 habitantes.



Figura 23 - Localização do bairro da Forca-Vouga, Aveiro (Google, 2012).

Na sua caracterização, o bairro é provido de comércio local e habitação, sendo esta ultima composta por moradias e blocos de apartamentos.



Figura 24 - Divisão do bairro da Forca-Vouga por tipo de edifício (Google, 2012).

3.1. Caracterização dos consumos energéticos e de água no bairro da Forca-Vouga

Após a identificação do bairro da Forca-Vouga como modelo de estudo, é importante perceber o comportamento dos habitantes do bairro no que se refere ao consumo energético e de águas nas suas habitações ou comércio. Para tal, foram elaborados dois inquéritos, um direcionado ao comércio e outro às habitações (moradias/apartamentos). O “Anexo A” contém os dois inquéritos feitos, bem como a folha explicativa fornecida a todos os inquiridos.

3.1.1. Enquadramento dos inquéritos no bairro da Forca-Vouga

Como foi referido, os inquéritos no bairro da Forca-Vouga foram direccionados ao sector habitacional e ao sector comercial do bairro.

A aceitação por parte do sector comercial foi menos acolhedora, contudo, estima-se que está representado cerca de 10% da totalidade do bairro. O comércio presente é de pequena dimensão, tradicionalmente denominado de comércio local. Para conseguir comprovar e ter uma noção mais exata da dimensão dos estabelecimentos comerciais, é perguntado nos inquéritos qual a área destes, obtendo um valor médio de 102m², e qual o número de funcionários, tendo obtido, em média, 3 funcionários por estabelecimento. Nem todos possuem instalações sanitárias abertas ao público. Os estabelecimentos possuem, em média, 1,4 instalações sanitárias, sendo que apenas 0,8 estão abertas ao público (valor médio).

Neste sector, surgiu um problema comum a quase todos os inquiridos. Grande parte deles entrega as facturas aos respectivos contabilistas, impossibilitando a leitura dos consumos efectuados no ano de 2011 e assim ter uma melhor noção da evolução anual dos gastos eléctricos e de águas.

Os inquéritos do sector habitacional sofreram uma receptividade mais ativa e interessada. Englobaram uma amostra de 75 indivíduos o que representa 10,7% dos 700 habitantes, estimados de acordo com o censo 2011.

Das habitações que aceitaram fazer parte deste inquérito, 2/3 são moradias (14 moradias em 21 habitações) e apenas 1/3 são pertencentes a apartamentos (7 apartamentos em 21 habitações).

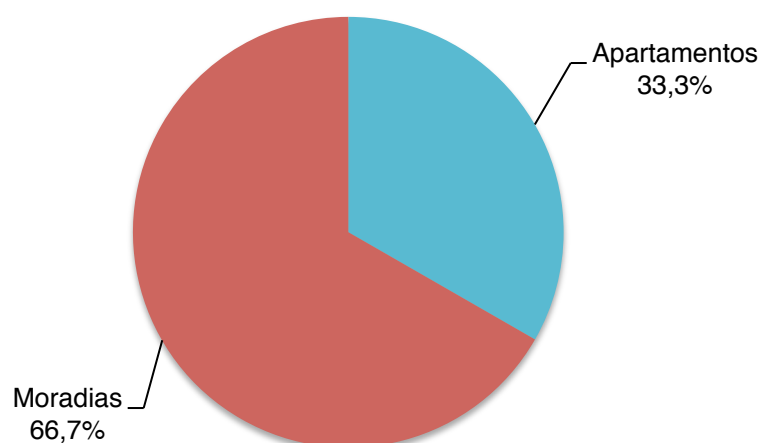


Figura 25 - Rácio de moradias e apartamentos no espaço amostral das habitações inquiridas.

Em média, os prédios da zona da Forca têm 5 pisos (incluindo R/C) sendo que 42,9% deles possuem algum tipo de pequeno comércio no piso térreo (ou espaço preparado para tal). Outro dado relevante é a predominância de 2,7 apartamentos por piso, em média.

Quanto à distribuição do total de indivíduos inquiridos (75 habitantes), 23 são moradores em apartamentos e 52 em moradias.

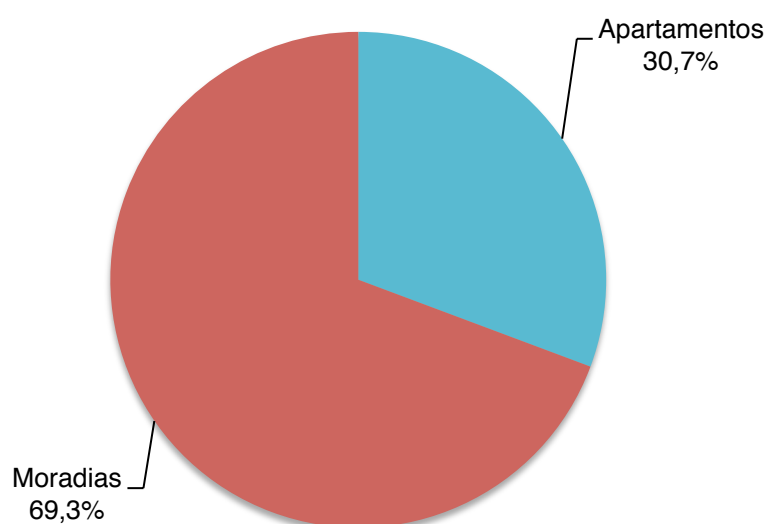


Figura 26 - Rácio de habitantes inquiridos entre moradias e apartamentos.

3.1.2. Caracterização do consumo de água no bairro da Forca-Vouga

Todos os dados recolhidos têm por base a crença numa boa leitura das faturas de água dos habitantes/comerciantes que preencheram os inquéritos. Contudo, das 21 habitações que aceitaram o preenchimento do inquérito, duas dessas habitações não forneceram qualquer dado relativo ao consumo de águas e foram rejeitados os valores fornecidos por uma das habitações inquiridas devido aos valores indicados serem irreais. No sector comercial, muito devido ao problema acima assinalado da entrega das facturas aos respectivos contabilistas, 20% dos comerciantes inquiridos não entregou qualquer dado sobre os seus consumos de água.

Então, de todos os dados considerados válidos, foi possível obter uma média de consumos no bairro da Forca-Vouga de $28,3\text{m}^3/\text{mês}$ de água. Mas os valores médios consumidos por moradias e apartamentos são, pela sua natureza, diferentes. As necessidades de consumos de água em moradias são usualmente maiores e os dados comprovam isso.

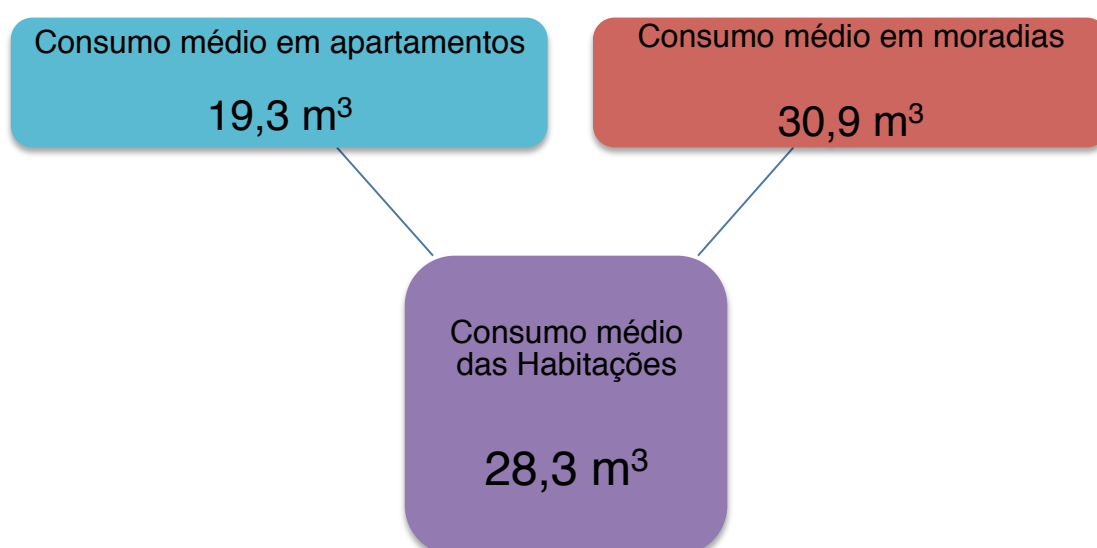


Figura 27 - Valores médios dos consumos de água nas habitações.

O sector comercial apresenta um valor médio inferior ao das habitações.

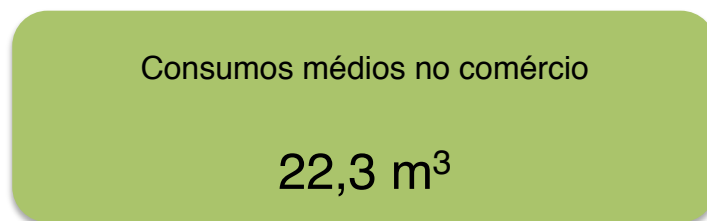


Figura 28 - Valor médio do consumo da águas no comércio.

Mas para melhor perceber os gastos ao longo do ano pelos habitantes e comerciantes do bairro, foi pedido o fornecimento dos dados de consumo de 4 meses (Março, Junho, Setembro e Dezembro) respeitantes ao ano de 2011.

Contudo, os dados retirados dos consumos em apartamentos, nos meses acima indicados, podem estar inflacionados. Isto deve-se ao facto de todos terem respondido ao consumo médio anual mas apenas 1 apartamento ter discriminado os consumos nos meses pedidos.

O sector do comércio apresentou o mesmo problema já referido. Apenas estão disponíveis os dados relativos aos meses indicados de 40% dos estabelecimentos inquiridos.

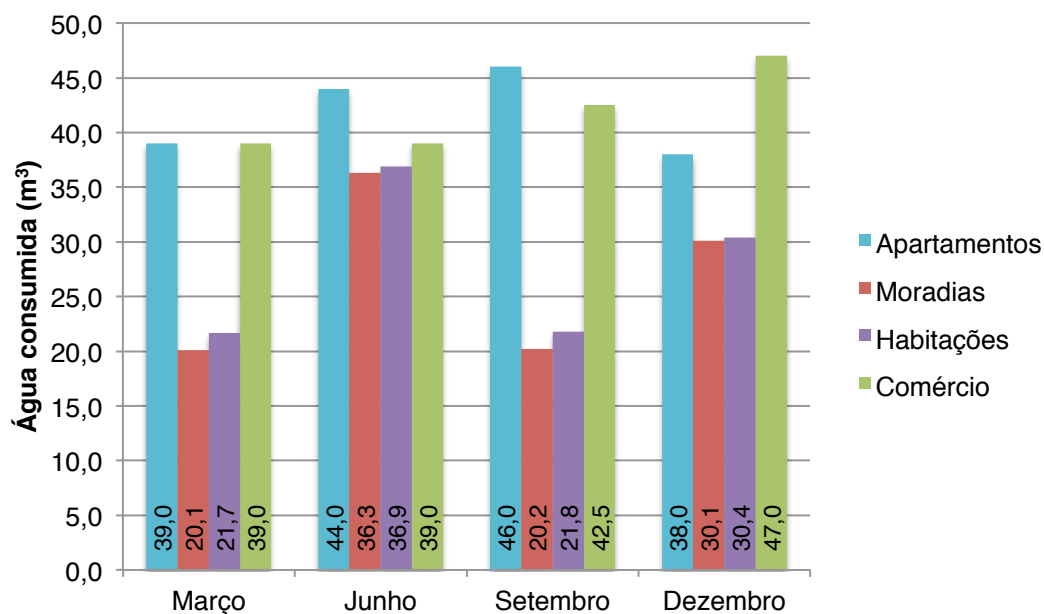


Figura 29 - Média dos consumos ao longo do ano por tipo de unidade.

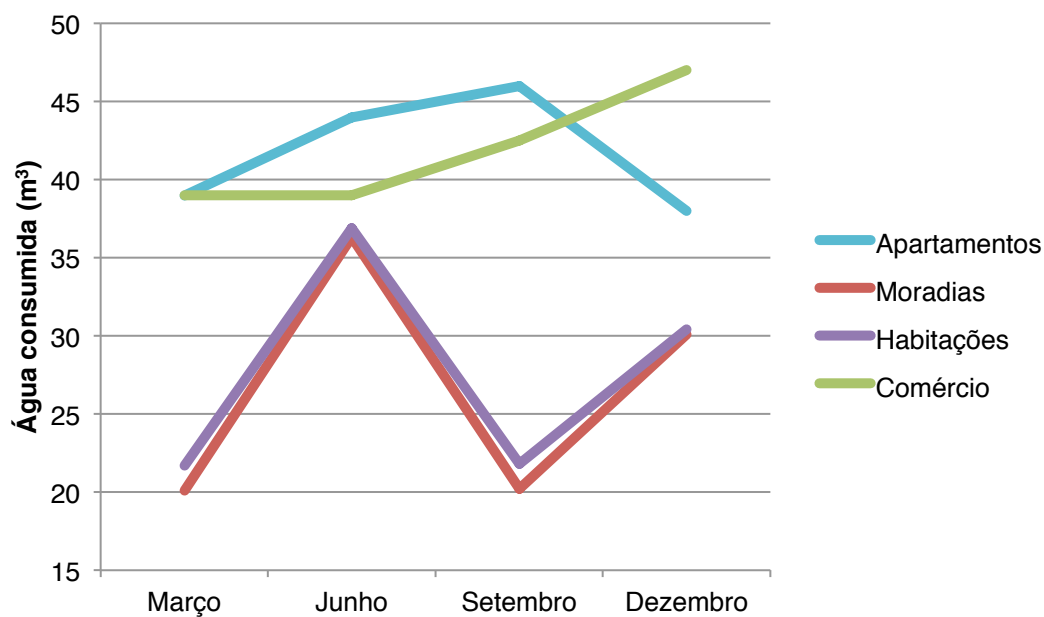


Figura 30 - Evolução anual da média de consumos ao longo do ano.

Outra questão presente nos inquéritos do sector habitacional, perguntava se faziam consumo de água em quantidade significativa (+ de 2m³/mês) para regas, lavagens ou outros fins que não conduzam água para a rede de

saneamento. Nesta situação, 23,8% dos inquiridos referiu que sim, sendo que 100% dos que referiram que faziam este tipo de uso de água são habitantes em moradias.

Foi também perguntado que tipo de electrodomésticos possuíam que pudessem contribuir para a rede de saneamento.

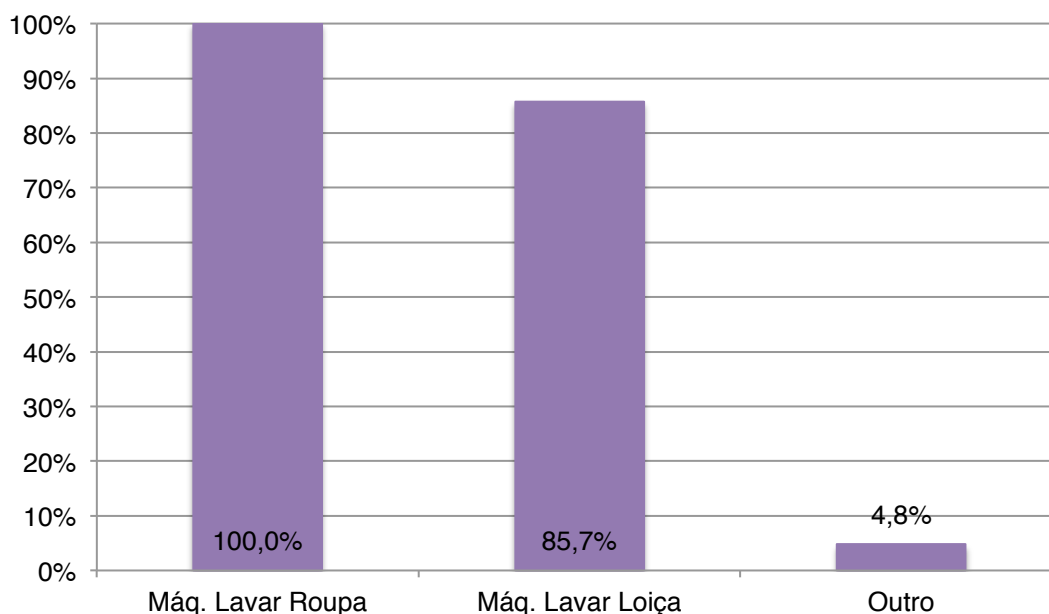


Figura 31 - Percentagem de pessoas que usa eletrodomésticos que contribuem para a rede de saneamento.

Por observação do gráfico da Figura 31, o uso da máquina de lavar roupa é já imprescindível para os habitantes do bairro da Forca-Vouga.

O mesmo não se poderá dizer do uso da máquina de lavar loiça. A esmagadora maioria das habitações possui este eletrodoméstico, mas existem ainda 14,3% que não a possuem. Numa análise mais profunda, 92,9% das moradias e 71,4% dos apartamentos possuem este aparelho.

Há ainda o facto de 4,8% dos inquiridos (todos eles habitantes em moradias) afirmarem ter outros aparelhos que contribuem para a rede de saneamento, nomeadamente, tanques de lavagem de roupa.

Também se procurou saber o número de instalações sanitárias que existiam nas habitações. Em média, cada habitação possui 3,2 instalações sanitárias. Por lógica, as moradias tendem a ter um maior número de instalações sanitárias e os números confirmam. As moradias apresentam 3,9 instalações sanitárias em média, enquanto os apartamentos apenas 1,9. Mas interessava saber a que horas, na maioria das vezes, faziam uso destas instalações. O período de tempo em que os inquiridos afirmam usar mais as instalações sanitárias é no período da noite (52,4%), compreendido entre as 21 horas e as 24 horas, sendo um contributo de 33,3% das moradias e 19,0% dos apartamentos.

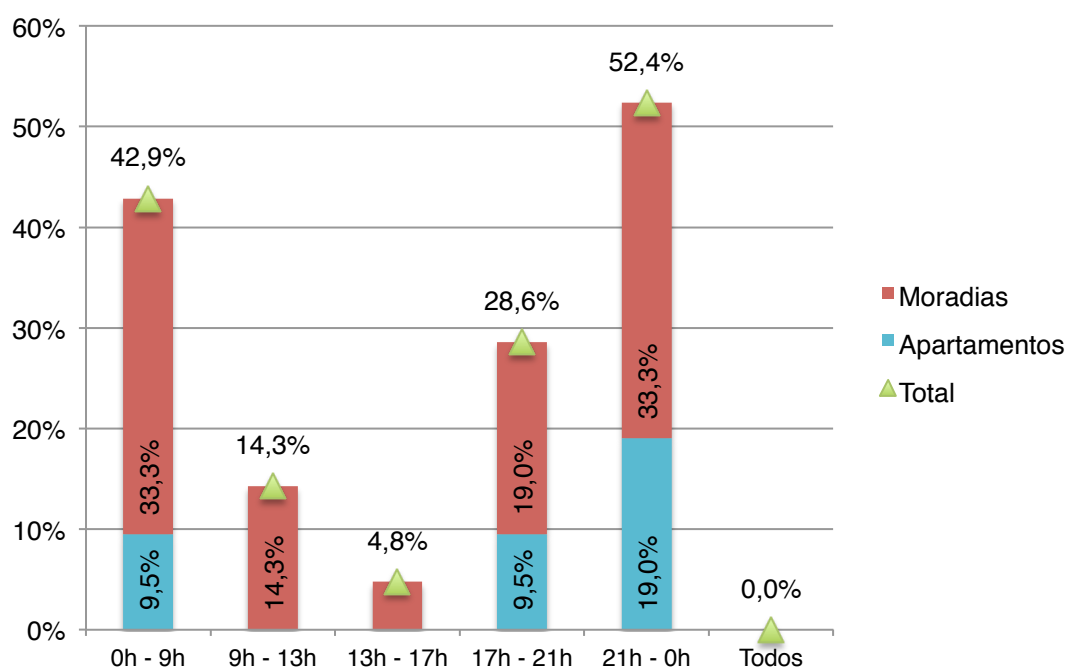


Figura 32 - Distribuição horária do uso das instalações sanitárias nas habitações.

A escolha dos períodos em que se faz um uso mais frequente das instalações sanitárias poderia ser múltipla, ou seja, cada habitação poderia ter escolhido dois intervalos de tempo ou mais e até mesmo a escolha de todos os intervalos horários.

3.1.3. Caracterização dos consumos elétricos no bairro da Forca-Vouga

Para perceber a real necessidade de aquecimento nas habitações e comércios do bairro da Forca-Vouga, foi também questionado aos inquiridos os seus consumos energéticos e que diversificação de aparelhos usam no dia a dia para as suas necessidades caloríficas.

De acordo com os dados, em média, as habitações do bairro da Forca-Vouga consomem 387,7 kWh enquanto o sector comercial faz uso de 965 kWh.

Ao fazer uma análise mensal para os meses de Março, Junho, Setembro e Dezembro, tal como no capítulo “3.1.2 - Caracterização do consumo de água no bairro da Forca-Vouga”, no ano de 2011, obtêm-se os seguintes dados:

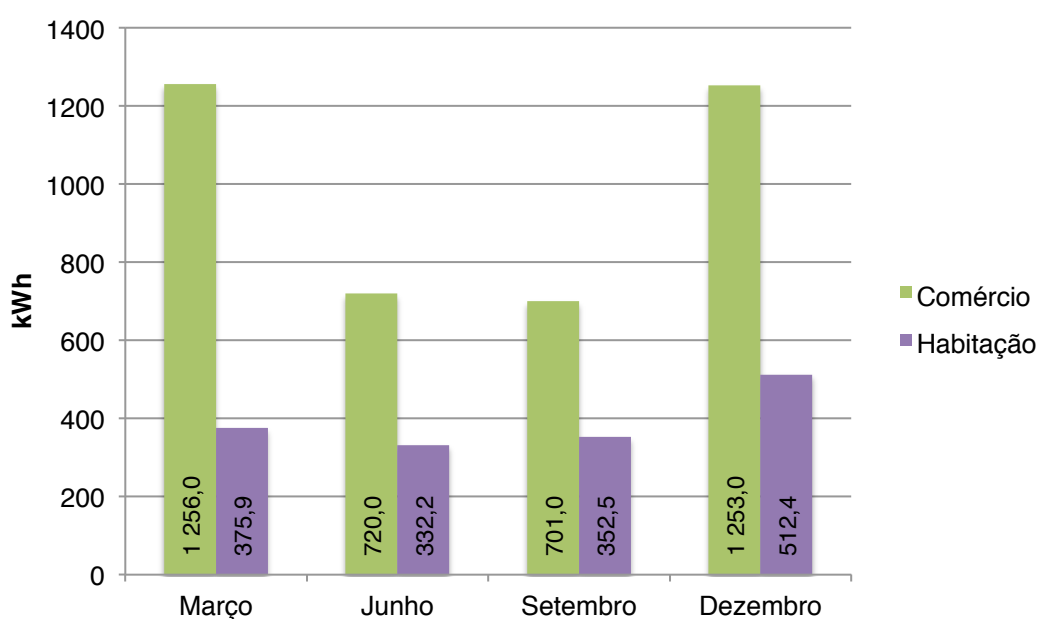


Figura 33 - Média dos consumos energéticos no ano de 2011.

Indo em pormenor ao sector habitacional do bairro, verifica-se um maior consumo ao nível das moradias com uma média mensal de 434,9 kWh, enquanto nos apartamentos, a média fica em 309,0 kWh.

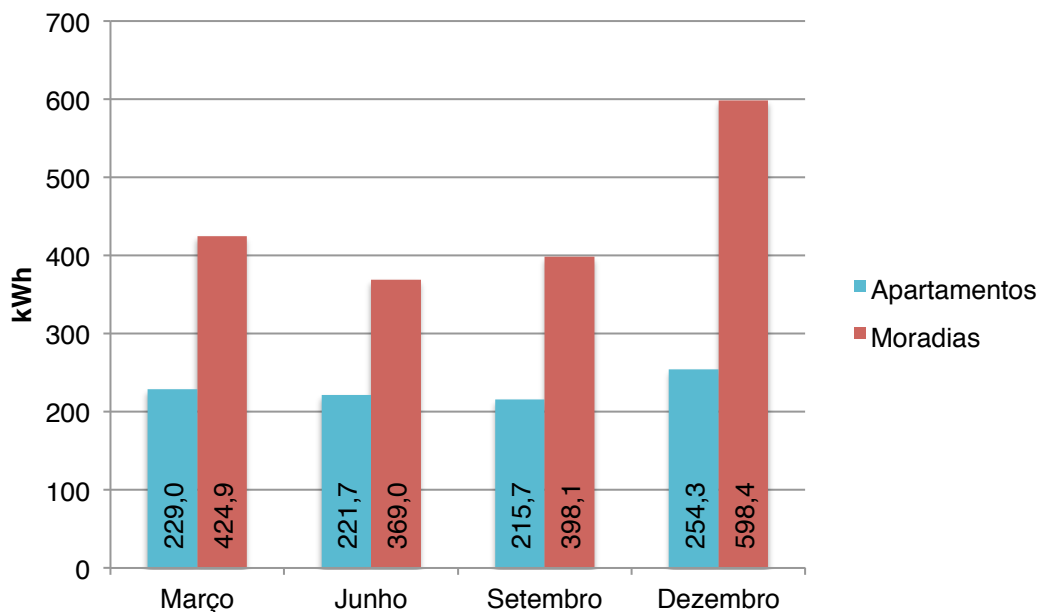


Figura 34 - Comparação do consumo energético em moradias e apartamentos no ano de 2011.

A Figura 35 descreve-nos a evolução anual dos consumos médios energéticos nos vários sectores.

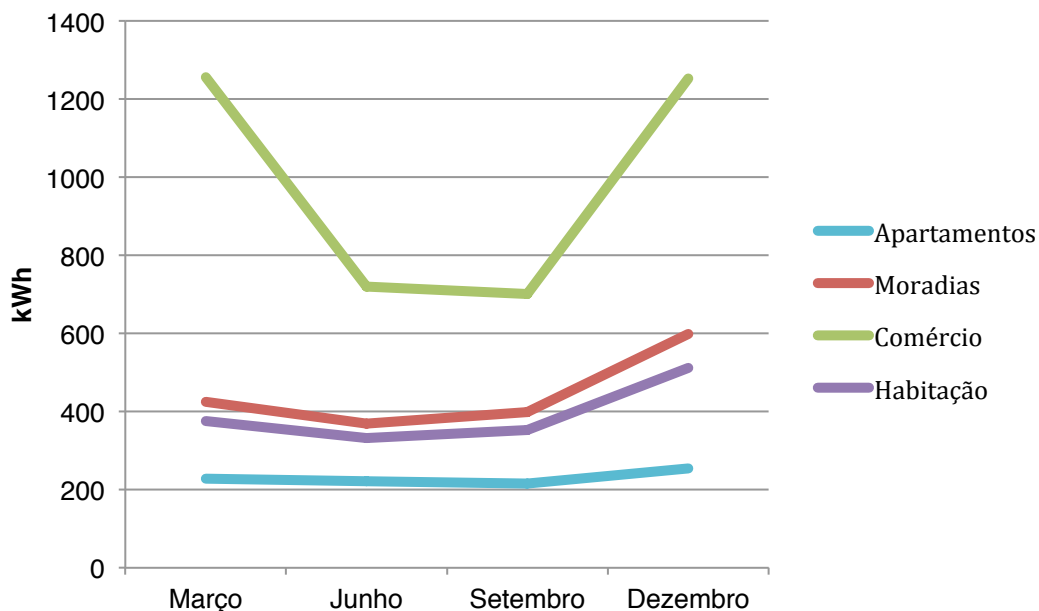


Figura 35 - Evolução anual do consumo médio energético nos vários sectores no ano de 2011.

Sendo o objetivo da Biotermia a obtenção de uma fonte de climatização de baixos consumos energéticos, era importante compreender de que forma os habitantes do bairro consumiam energia com o intuito de climatizar o ambiente interior das suas habitações ou comércio.

Foi então questionado que tipo de aparelhos usualmente usavam para climatizar o ambiente.

No sector do comércio, devido à natureza dos mesmos, muitos abdicavam do uso deste tipo de aparelhos apesar de eles estarem disponíveis para tal. Casos como padarias ou lavandarias, devido à maquinaria presente para a laboração dos seus produtos, já obtinham temperaturas ambiente no interior dos seus estabelecimentos suficientes para que não fosse necessário o recurso a aparelhos de climatização.

Já no sector doméstico, os inquéritos mostram que o recurso a aparelhos de climatização é frequente, sendo até por vezes constante ao longo de um dia inteiro.

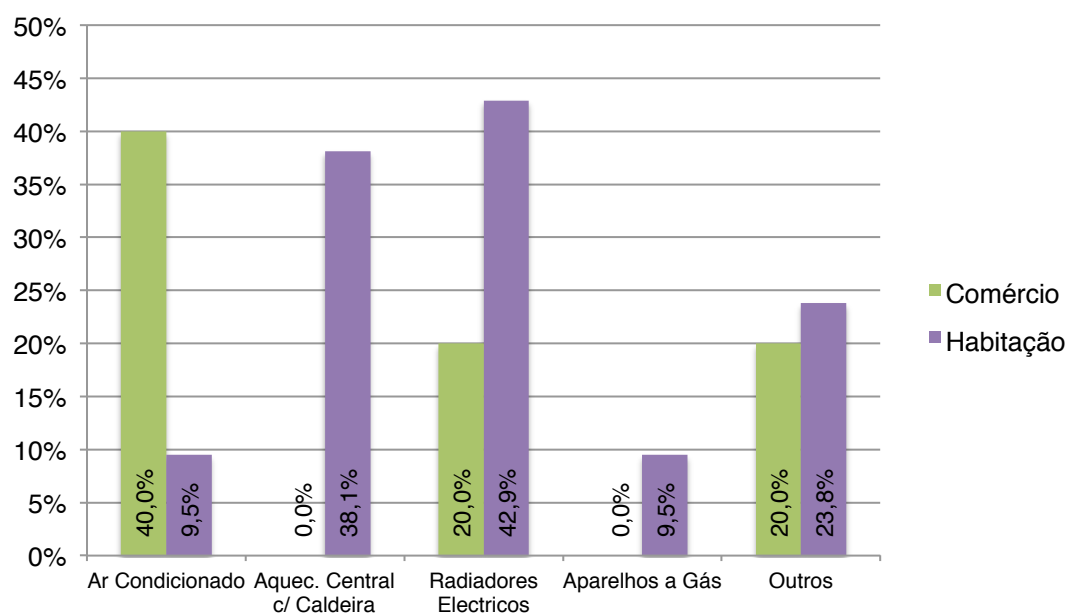


Figura 36 - Aparelhos usados nos sectores do comércio e habitacional para climatização do ambiente.

Como se pode observar no gráfico da Figura 36, o sector comercial dá primazia ao uso do ar condicionado para os seus espaços enquanto o sector doméstico prefere o recurso a radiadores elétricos. A todos os que responderam “Outros”, procurou-se saber a que aparelhos se referiam. No sector comercial, todos os inquiridos que responderam outros referiam-se às máquinas que usam para a laboração do seu negócio. O sector habitacional, quando se refere a “Outros” nos aparelhos de climatização, refere essencialmente a Lareira a lenha, sendo que 75% dos que afirmam o seu uso são residentes em moradias. De salientar que apenas um inquirido do sector doméstico respondeu não fazer uso de qualquer aparelho de climatização. No lado comercial, os que afirmaram não possuir qualquer aparelho de climatização (40%), possuem um negócio na área da atividade física ou numa área que recorre a máquinas que libertam calor durante o seu funcionamento.

Da mesma forma que é importante conhecer os horários em que fazem um maior uso da águas, é também crucial saber os horários em que, usualmente, fazem uso dos aparelhos de climatização.

No sector comercial, e como esperado, a predominância do uso dos aparelhos de climatização é no habitual horário de funcionamento do estabelecimento. Assim, é nos intervalos horários das 9h-13h, 13h-17h e 17h-21h que se faz um maior uso, estando os três intervalos com uma taxa de 80% em cada. No sector doméstico, também como esperado, o maior uso dos aparelhos situa-se no horário noturno, sendo o intervalo das 21h-24h o mais respondido, com uma taxa de 81%. É ainda de destacar o facto de 9,5% dos inquiridos do sector doméstico fazerem uso dos aparelhos de climatização durante todos os períodos do dia, ou seja, da 0h-24h.

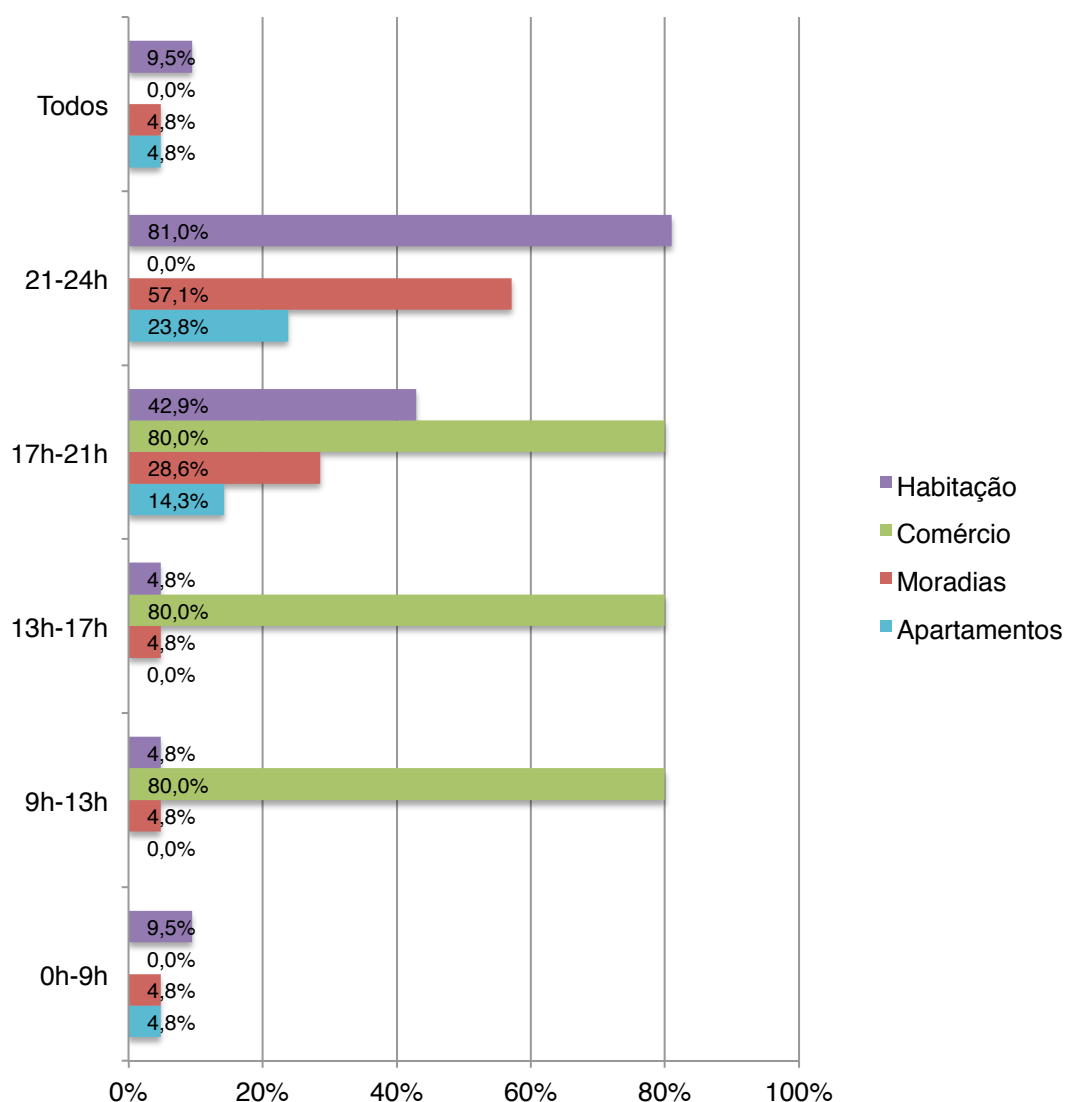


Figura 37 - Distribuição horária do uso de aparelhos de climatização no comércio e nas habitações.

Como a Biotermia depende da energia calorífica no interior das condutas de saneamento, e tem como principal objectivo a poupança de energia, é também importante conhecer de que forma os habitantes do bairro da Forca-Vouga fazem o aquecimento das águas nas suas habitações. Segundo os dados estatísticos há duas formas predominantes de aquecimento das águas nas habitações. Os aparelhos de aquecimento central com caldeira e os esquentadores a gás são os mais usados, com 42,9% e 61,9%, respetivamente. Outro pormenor é a baixa taxa de uso de energias

renováveis para este fim. Apenas 9,5% faz uso de painéis solares com o fim de aquecimento das águas.

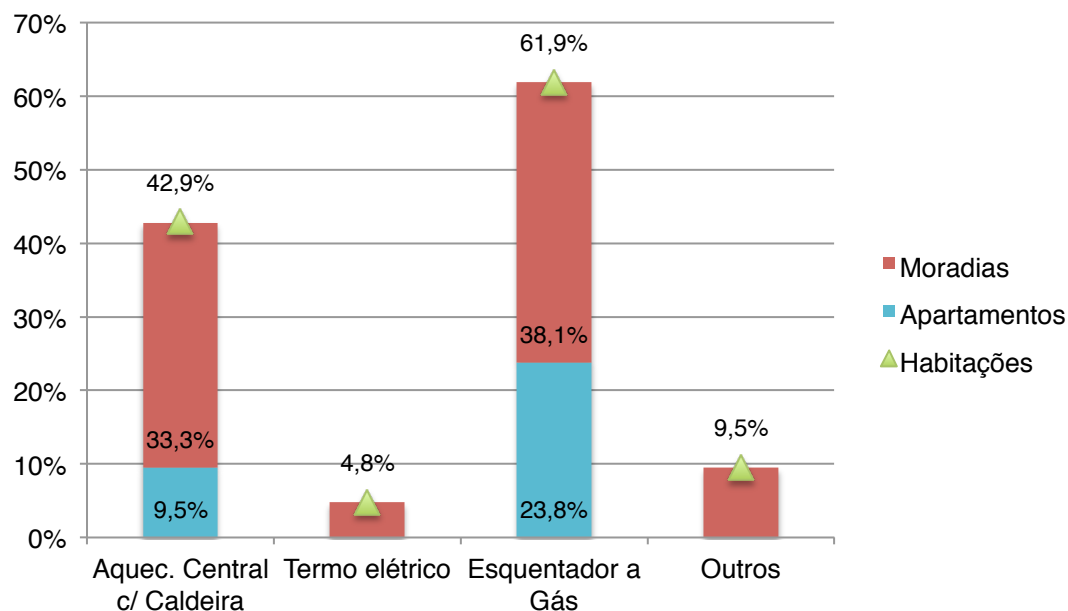


Figura 38 - Rácios do uso dos vários tipos de aparelhos para o aquecimento de águas nas habitações.

4. ENSAIOS TÉRMICOS EM CONDUTAS NO BAIRRO DA FORCA-VOUGA

No início desta dissertação, e depois de analisadas todas as hipóteses já existentes e descritas no sub-capítulo “2.3 Princípios da Biotermia e Conceitos Básicos”, foi procurada qual a solução em Biotermia que melhor poderia servir os objetivos nacionais de poupança energética mas também a que melhor se adaptaria à realidade do país. Por outro lado, era ideia criar algo por onde houvesse hipótese de inovar, explorar e desenvolver, tirando partido do que já existia, minimizando a intervenção e o impacto causado mas obtendo resultados similares ou melhores em relação às soluções existentes. No atual panorama nacional, e com o conhecimento que prévio dos vários estudos já desenvolvidos, a extração da energia térmica do interior do coletores é que dá mais garantias de sucesso para os objetivos pretendidos. Desta forma, poderia-se explorar não só a temperatura das águas residuais, mas também do ar no interior da conduita. As vantagens seriam enormes, pois não careceria da substituição total da conduita mas apenas da criação de um mecanismo que fosse possível associar à existente. Desta forma, estudou-se as condutas no bairro da Forca-Vouga nestas duas vertentes, temperatura do líquido e temperatura do ar no interior do coletor.

4.1. Caracterização dos coletores e câmaras de visita no bairro da Forca-Vouga

Os colectores do bairro da Forca-Vouga são inteiramente constituídos por Policloreto de Vinilo (apenas 3, de intervenções mais recentes, são feitos em Policloreto de Vinilo Corrogado), com diâmetros que variam entre 200 ou 315 mm de diâmetro.



Figura 39 - Planta dos coletores e das câmaras de visita do bairro da Forca-Vouga. Identificação dos locais onde foram realizados os ensaios.

No total, os coletores perfazem um comprimento de 1910 m. Este comprimento equivale à soma de todos os coletores até ao ponto de ensaio nº1 (ponto mais a jusante da rede de coletores e imediatamente antes da ligação com um coletor principal que conduz as águas residuais à Estação Elevatória mais próxima).

Na Figura 39, relativa ao mapa dos coletores e câmaras de visita do bairro da Forca-Vouga, estão assinaladas as câmaras de visita onde foram realizados os ensaios térmicos. São numerados de 1 a 3, tendo sido a sua escolha ponderada e não aleatória. Fator comum a todos os pontos foi o facto de interferir o mínimo possível com o trânsito, pois existem muitas ruas de sentido único e um hospital particular no bairro.

O ponto nº1 localiza-se mais a jusante da rede de coletores do bairro e coincide com a última câmara de visita antes da mistura com as águas residuais provenientes de outros pontos da cidade. Para as temperaturas neste ponto contribuem a totalidade dos coletores do bairro, ou seja, um total de 1910m. A dimensão do coletor neste ponto é de 315mm de diâmetro, tanto

a jusante como a montante da câmara de visita. Possui uma profundidade de 1,73m, desde a cota do terreno (igual à cota da tampa).

Quanto ao ponto nº2, este coincide com o final da zona onde foi possível recolher o maior número de dados estatísticos. Desta forma, será possível uma comparação mais exata entre os dados térmicos recolhidos e os hábitos de consumo de água e eletricidade da população. Os coletores a montante e a jusante são de 200mm de diâmetro e a câmara tem uma profundidade de 2,38m. Para este ponto, contribui um total de 524m de coletores.

O último ponto, o ponto nº3, é a primeira câmara de visita imediatamente a seguir à zona de maior concentração de comércio. Assim, obter-se-ão dados de forma a haver uma noção de quanto contribui o comércio para a subida ou descida de temperaturas dentro do coletor. Esta câmara de visita é uma união de 3 coletores a montante e 1 a jusante. Os coletores a montante têm a dimensão de 315mm de diâmetro em dois deles e 200mm no outro, sendo o coletor a jusante também de 200mm de diâmetro. A câmara de visita tem uma profundidade de 1,80m. No total, contribuem para esta câmara um total de 1725m de comprimento de coletores.

4.2. Caracterização dos ensaios

Com o objetivo de obter as temperaturas no interior dos coletores, foram idealizados dois tipos de ensaios. Um primeiro método com recurso a uma câmara termográfica e um segundo método com o uso de termopares.

O recurso à câmara termográfica foi o método mais rápido e eficiente encontrado. A facilidade de uso, a fiabilidade de resultados e a baixa necessidade de logística tornaram o seu recurso mais vantajoso.



Figura 40 - Câmara Termográfica (Testo 875).

O método consiste em apontar a câmara para os locais onde se pretende medir a temperatura, obtendo os dados térmicos e uma fotografia termográfica (em infravermelhos) com o gradiente de temperaturas do local solicitado.

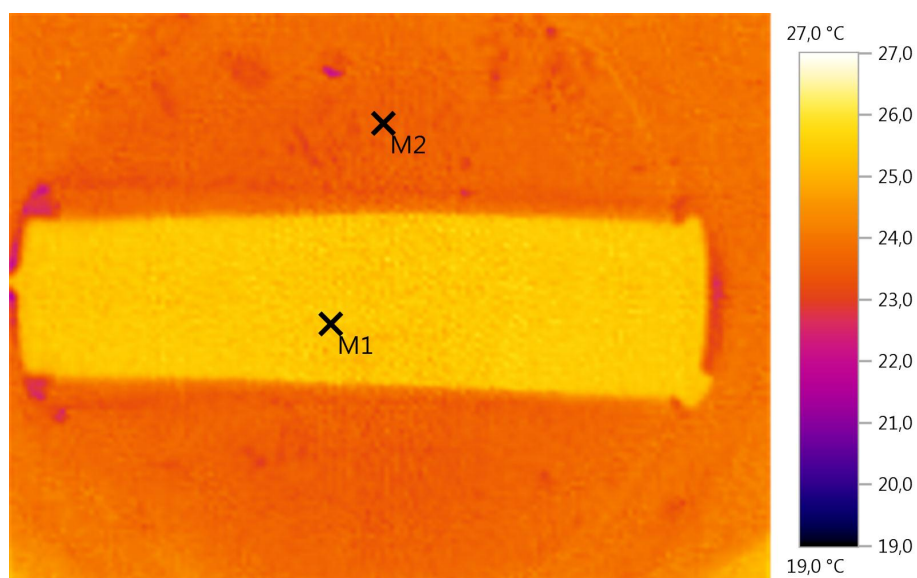


Figura 41 - Exemplo de uma das fotografias térmicas tiradas de dentro de uma câmara de visita.

O segundo método consiste na colocação de termopares dentro da câmara de visita, espaçados 30cm uns dos outros, sendo que o termopar da extremidade fica mergulhado no líquido.



Figura 42 - Colocação dos termopares na câmara de visita.

Devido à sua complexidade logística, o tempo de demora dos termopares em estabilizar a temperatura e o risco sanitário inerente ao trabalho com águas residuais, foi abandonado este método. Para montar todo o sistema de recolha de informação, deixar estabilizar os registos dos termopares e desinfetar todo o material no final do ensaio, era necessário cerca de 1 hora. Esta demora inviabilizava a recolha de informação nos três locais estipulados num curto espaço de tempo.

Contudo, foram realizados dois ensaios de forma a obter um modelo de comparação de resultados com os registados através da câmara termográfica.

Outro fator importante que foi tido em conta nos ensaios realizados, foi os horários em que eles foram realizados. Sabendo, dos inquéritos realizados e descritos no “Capítulo 3 – Levantamento da Zona Piloto Força-Vouga”, as horas de maior e menor consumo de aparelhos com finalidade de

climatização do ambiente e os horários preferenciais de uso de águas que contribuem para o aumento de caudal das águas residuais nos coletores, estipulou-se que os ensaios deveriam incidir nos momentos de pico e de vazio mas, ao mesmo tempo, dessem uma noção da variação diária de temperaturas dentro dos coletores. Através destes princípios definiu-se como de especial interesse o registo das temperaturas, nos 3 locais definidos, nos seguintes horários:



Figura 43 - Intervalos horários dos registos de temperatura. A vermelho os picos esperados e a azul os horários de vazio esperados.

4.3. Resultados dos ensaios térmicos

Neste ponto, serão expostos os resultados dos ensaios térmicos realizados no dia 3 de Outubro de 2012, obtidos por meio da câmara termográfica e um ensaio válido com os termopares.

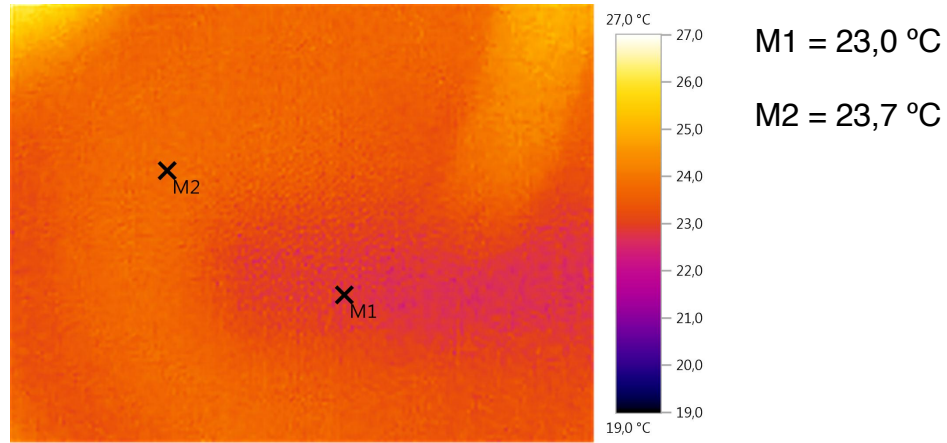
Nos ensaios com câmara termográfica, além do registo da temperatura, o equipamento é passível de registo de imagem. Registaram-se assim os ensaios feitos nos 3 locais sendo possível observar a dispersão cromática correspondente às várias temperaturas das câmaras de visita no momento do ensaio.

As imagens de infravermelhos, onde se possibilita a visualização do gradiente de temperatura possuem uma identificação com as siglas M1 e M2. Estas siglas representam a medição da temperatura do efluente (M1) e do ar interior do coletor (M2).

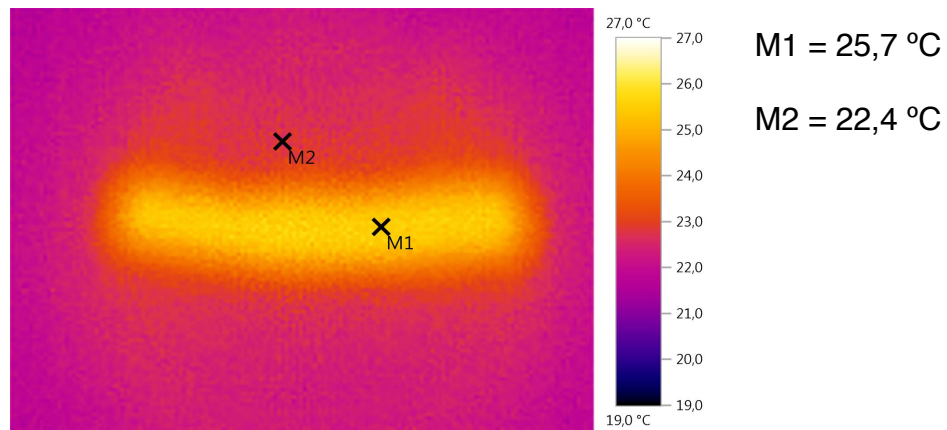
Infelizmente, um erro de software, alheio ao nosso manuseamento, impossibilitou o registo de imagem nos ensaios das 7h e das 9h. Contudo, os valores das temperaturas não ficaram comprometidos, pois o aparelho possibilita o registo manual dos mesmos.

Ensaio: 13h

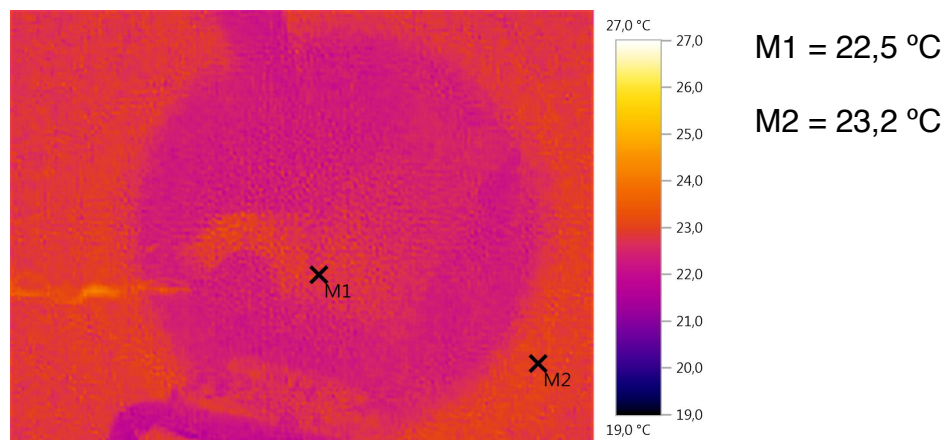
Local nº1



Local nº2

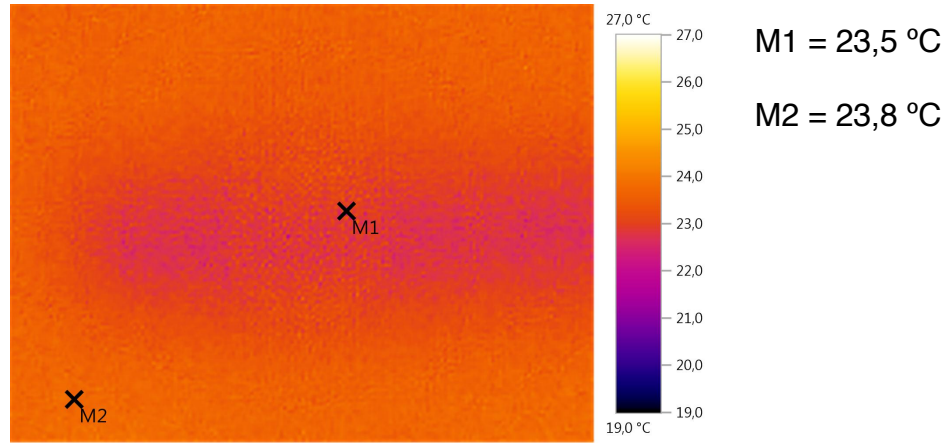


Local nº3

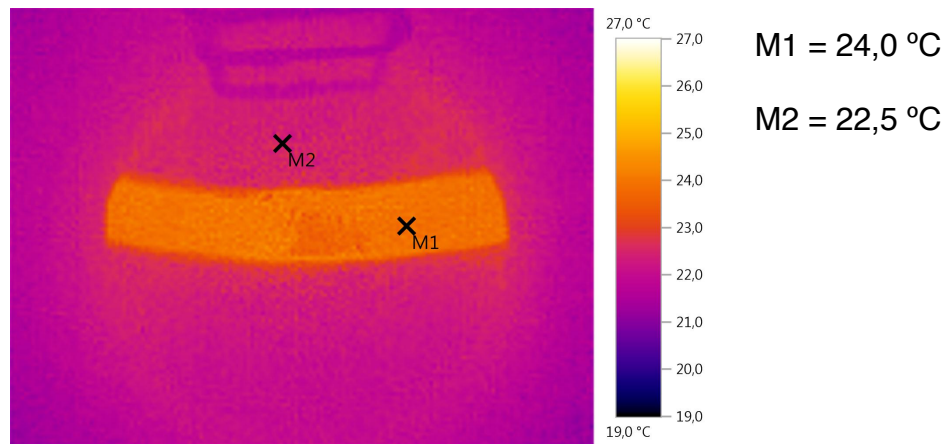


Ensaio: 17h

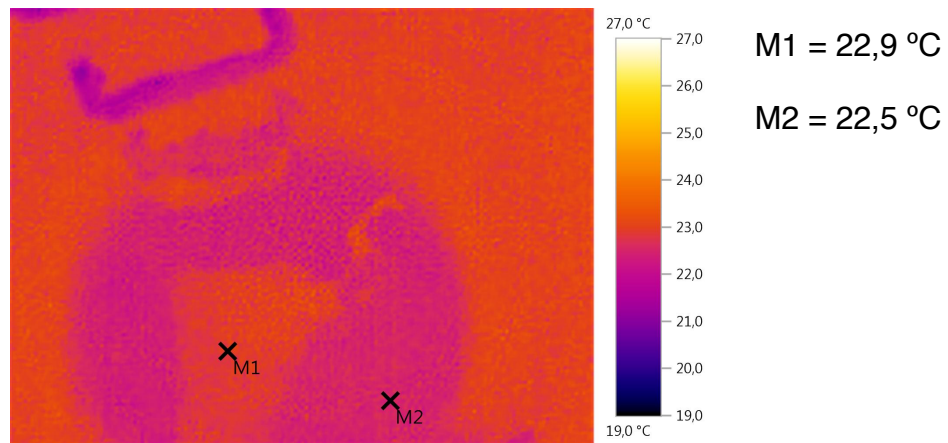
Local nº1



Local nº2

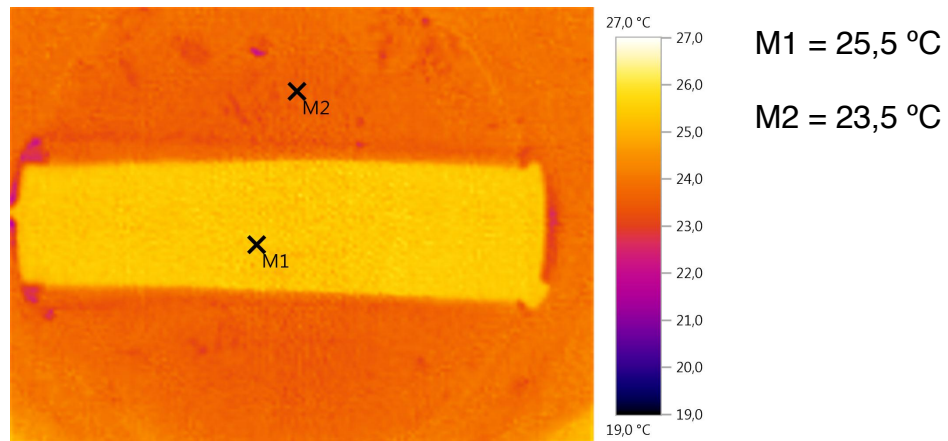


Local nº3

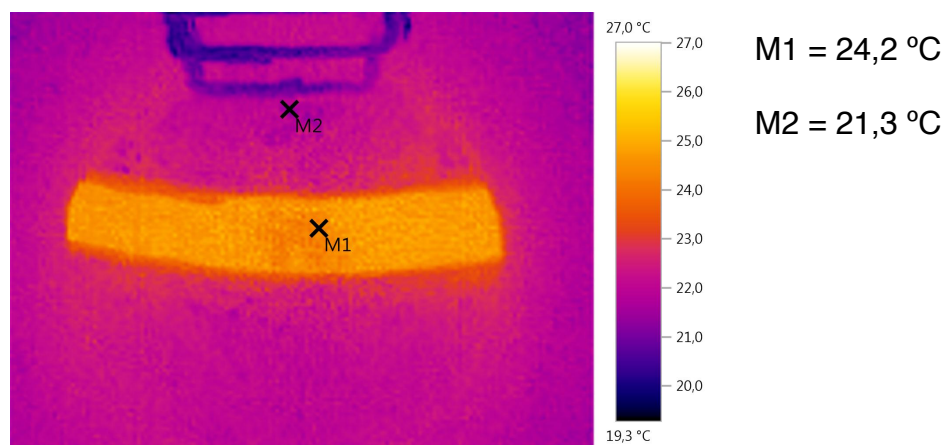


Ensaio: 21h

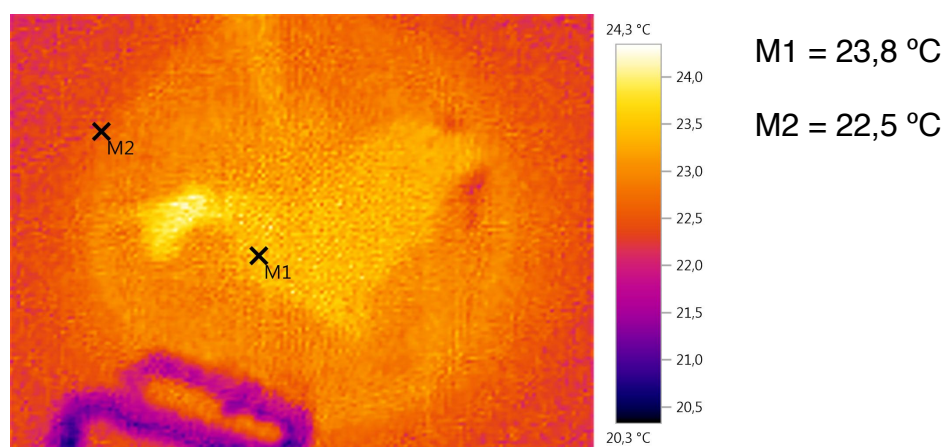
Local nº1



Local nº2

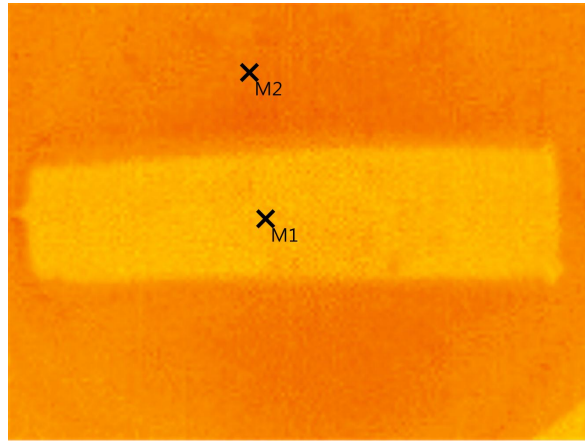


Local nº3



Ensaio: 23h

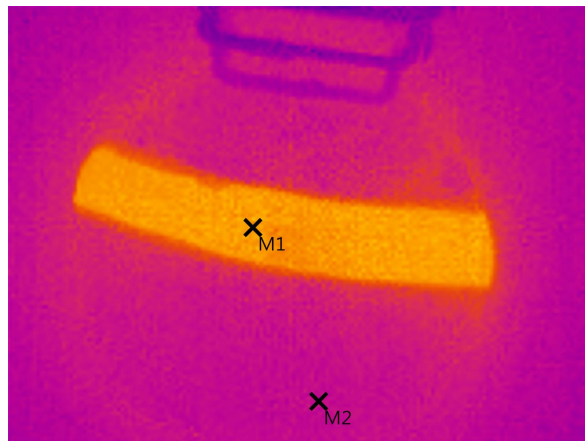
Local nº1



M1 = 24,8 °C

M2 = 23,6 °C

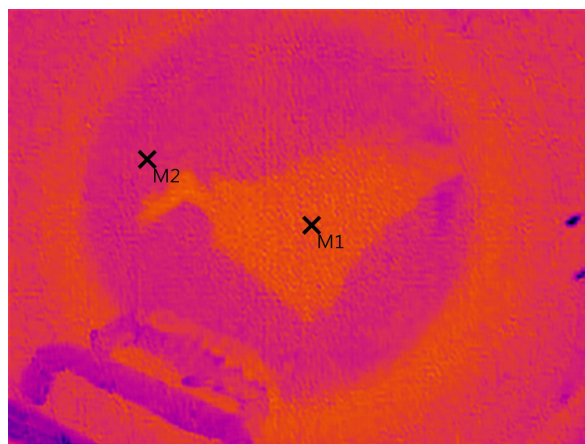
Local nº2



M1 = 24,7 °C

M2 = 21,8 °C

Local nº3



M1 = 23,0 °C

M2 = 22,3 °C

A Tabela 2 mostra os resultados obtidos de acordo com os intervalos de tempo considerados.

Tabela 2 - Resultados dos ensaios térmicos no bairro da Forca-Vouga.

Localização	Hora	H:M	Câmara Termográfica (°C)			Ar Exterior (Média) (°C)	Termopares (°C) (Média)	
			Efluente	Ar Interior	Ar Exterior		Efluente	Ar Interior
1	7	08:15	25,0	23,6	13,6	13,5		
2	7	07:33	22,2	20,2	13,5			
3	7	07:53	25,4	21,6	13,5			
1	9	09:15	25,4	23,1	16,0	15,4		
2	9	08:54	23,2	21,1	14,6			
3	9	09:05	24,0	22,5	15,5			
1	13	13:34	23,0	23,7	20,9	20,8	24,0	25,8
2	13	13:55	25,7	22,4	20,9			
3	13	14:28	22,5	23,2	20,7		22,7	22,7
1	17	16:51	24,3	24,2	19,5	19,4		
2	17	17:10	24,0	22,5	19,4			
3	17	17:22	22,9	22,4	19,2			
1	21	21:04	25,5	23,5	16,8	16,8		
2	21	21:31	24,2	21,3	16,6			
3	21	20:52	23,8	22,5	16,9			
1	23	23:04	24,8	23,6	15,5	15,6		
2	23	22:47	24,7	21,8	15,6			
3	23	22:52	23,0	22,3	15,6			

Nos ensaios com termopares, apenas o ensaio realizado no local nº3 às 14:28 é válido. No ensaio no local nº1 às 13:34, os valores estão inflacionados devido ao contacto com a barra metálica inicialmente usada para prender os termopares. A barra é visível na fotografia da Figura 42. No ensaio no local nº3 às 14:28, a barra foi removida para que a temperatura da mesma não interferisse com os resultados.

Um dado importante a reter é o facto de, no local nº1 às 9:15, o caudal ser substancialmente superior ao caudal registado no mesmo local às 8:15. Contudo, as temperaturas do efluente e do ar interior são muito semelhantes, sendo até a temperatura do ar interior inferior na situação de maior caudal.

Da Tabela 2, é possível retirar que a média diária de temperatura do efluente é de 24,1°C e a do ar interior do coletor é de 22,5°C.



Figura 44 - Temperaturas médias do efluente e do ar interior do coletor no dia 3 de Outubro de 2012.

Analisando zona a zona, os valores médios obtidos são:

Tabela 3 - Valores médios da temperatura no efluente e no ar interior do coletor por local.

Local	Média por zona (°C)	
	Efluente	Ar Interior
1	24,9	23,6
2	24,1	21,6
3	23,4	22,5

Os valores máximos e mínimos, gerais e por local de ensaio são:

Tabela 4 - Valores máximos e mínimos, gerais e por locais, das temperaturas do efluente e do ar interior do coletor.

	Máximos (°C)		Mínimos (°C)		
	Efluente	Ar Interior		Efluente	Ar Interior
Geral	25,7	24,2	Geral	22,2	20,2
Locais			Locais		
1	25,5	24,2	1	23,0	23,1
2	25,7	22,5	2	22,2	20,2
3	25,4	23,2	3	22,5	21,6

Para melhor compreender a evolução das temperaturas ao longo do dia, dependendo do elemento em estudo e/ou do local onde se realizaram os ensaios, foram elaborados gráficos que comparam os diferentes resultados obtidos para as várias horas do dia que foram estipuladas.

Os primeiros dois gráficos comparam as temperaturas dum mesmo elemento (efluente ou ar interior do coletor) ao longo do intervalo de tempo considerado.

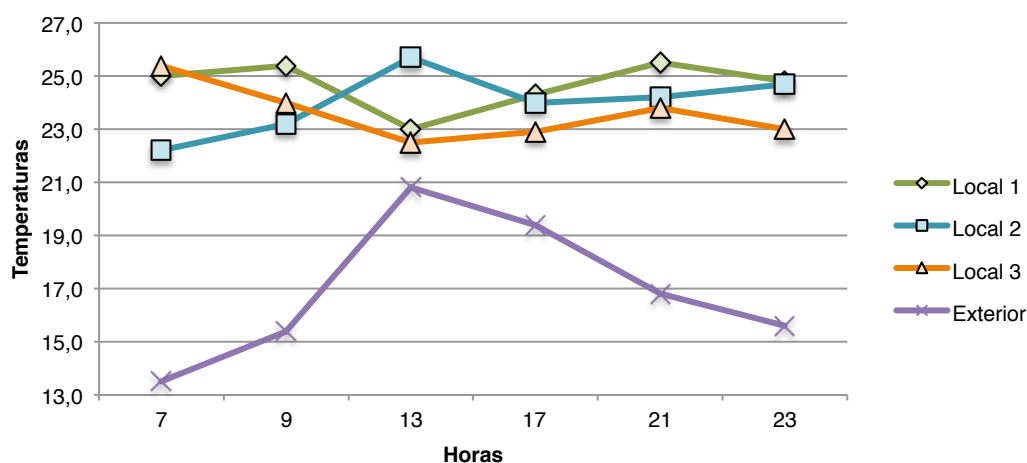


Figura 45 - Variação diária da temperatura do efluente nos vários locais vs. Temperatura exterior.

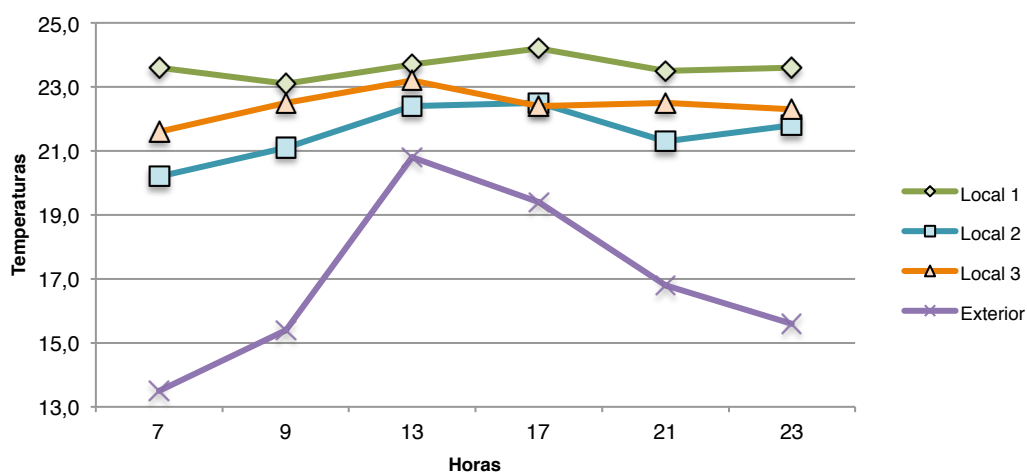


Figura 46 - Variação diária da temperatura do ar interior dos coletores nos vários locais vs. temperatura exterior.

Os três gráficos seguintes, dão-nos uma comparação entre a temperatura do efluente e do ar interior do coletor em cada local ao longo do intervalo de tempo estipulado.

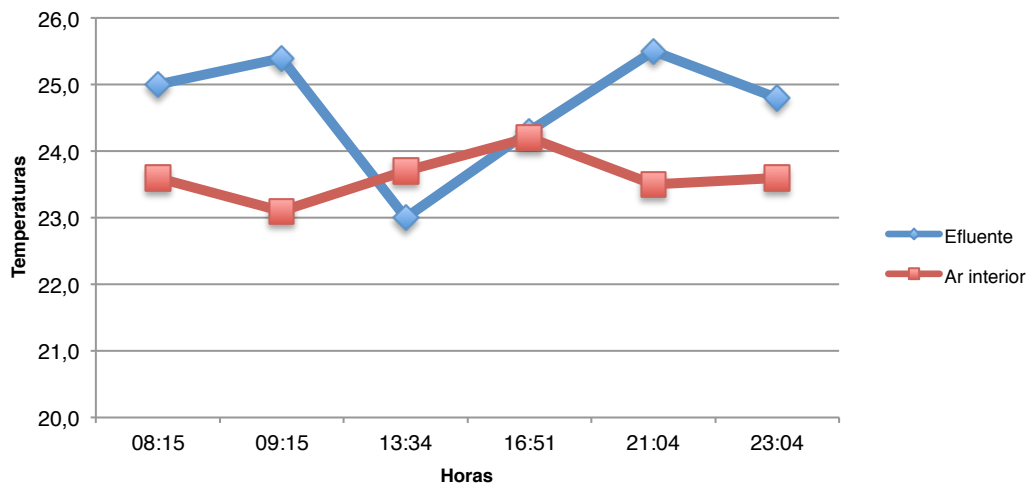


Figura 47 - Variação diária da temperatura do efluente e do ar interior da conduta no local nº1.

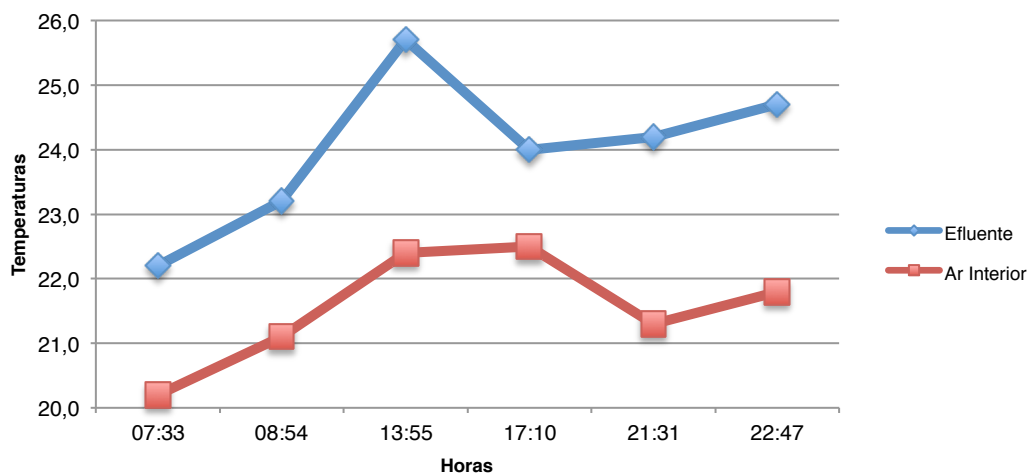


Figura 48 - Variação diária da temperatura do efluente e do ar interior da conduta no local nº2.

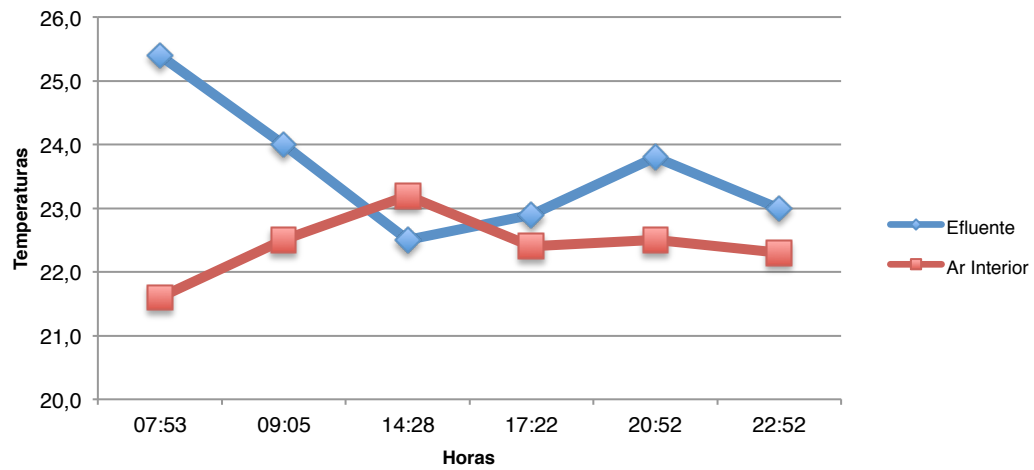


Figura 49 - Variação diária da temperatura do efluente e do ar interior da conduta no local nº3.

5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Depois de todos os resultados obtidos, adquiridos por meio dos inquéritos, dos ensaios de campo e das parcerias estabelecidas com empresas, é importante comparar os resultados das várias fontes. Perceber se a adaptabilidade do sistema de Biotermia ao quotidiano português produz resultados significativos.

O primeiro dado significativo, retirado dos inquéritos aos habitantes do bairro da Forca-Vouga, é o elevado consumo diário de água. O sector habitacional usa 28,3m³ em média por mês e o sector do comércio 22,3m³. No sector do comércio este valor poderá não surpreender, dada a natureza dos estabelecimentos existentes. Por um lado existem lojas em que o baixo consumo é previsível, como é o caso de quiosques ou imobiliárias, por outro lado há comércios em que o consumo se verifica mais elevado, como nos casos de lavandarias ou padarias/pastelarias. Mas no que toca ao sector habitacional, consumos médios de água por mês, em média, na ordem dos 30m³ poderá ser considerado elevado, mesmo quando o agregado familiar é constituído por 3 ou 4 pessoas. Um dado que poderá justificar estes consumos será o nível de vida dos habitantes do bairro. Apesar de não ser pedido nos inquéritos que se especifique qual os vencimentos ou a situação laboral em que se encontram, a observação local permite concluir que a maioria dos habitantes, principalmente das moradias, situa-se numa classe média. Contudo, estes valores poderão jogar a favor da tecnologia da Biotermia.

Ao comparar os intervalos horários em que os habitantes indicam como aqueles em que maior uso fazem das instalações sanitárias na sua habitação com as temperaturas obtidas no interior dos coletores ao longo do dia, poder-se-ia presumir que as temperaturas iriam acompanhar o maior caudal nos coletores, ou seja, nas horas em que se faz um maior uso das instalações sanitárias com utilização de água quente.

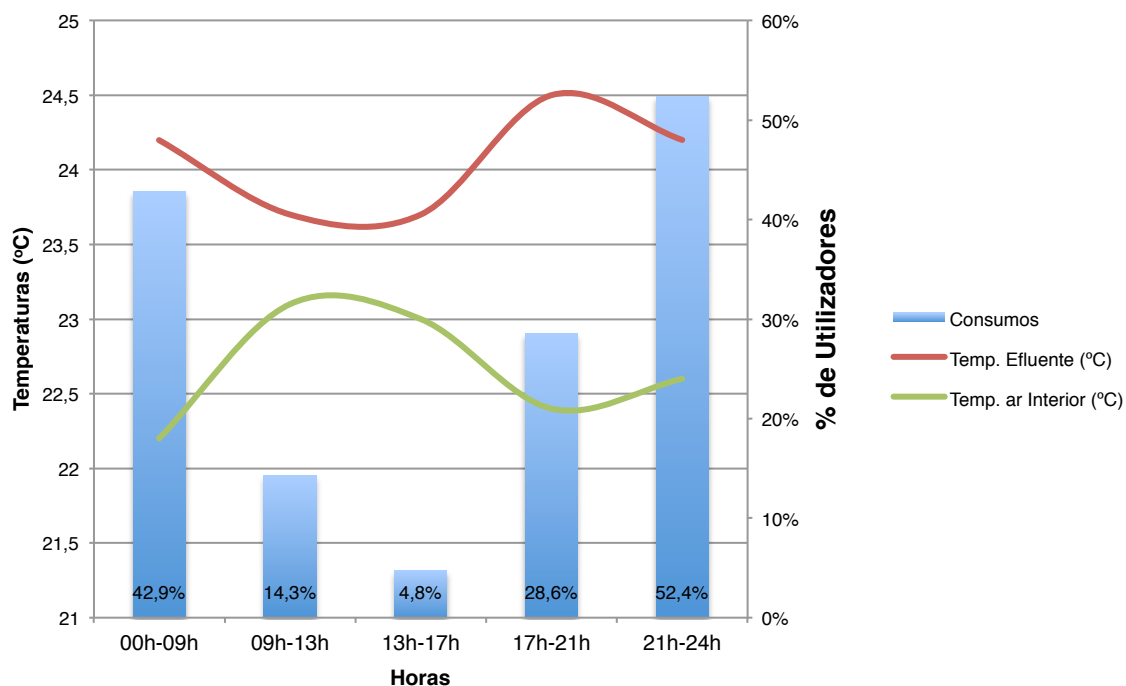


Figura 50 - Evolução diária da média das temperaturas dos três locais vs. utilização das instalações sanitárias.

No entanto, como o gráfico da Figura 50 mostra, não se confirma essa hipótese. Efetivamente, a temperatura não evolui de forma direta com o maior uso de águas sanitárias. O intervalo das 21h-24h foi o indicado por mais inquiridos como o que faziam maior uso das instalações sanitárias, mas não é o que apresenta maior temperatura, nem no efluente nem no ar interior do coletor. Nesse intervalo, existe mesmo uma redução da temperatura do efluente face ao intervalo anterior (17h-21h) que apresenta o pico de temperatura diário do efluente. O ar interior sofre um aumento neste intervalo das 21h-24h, mas pela tendência da evolução, ele aumenta sempre nos intervalos seguintes aos picos térmicos do efluente. Outro dado de valor insere-se no facto de o comércio contribuir pouco para a variação das temperaturas dos elementos nos coletores. No períodos de laboração, as temperaturas dos efluente atingiram os valores mais baixos. O local nº3, aquele que mais próximo se encontrava da área com maior densidade de

estabelecimentos comerciais, foi o que apresentou menores temperaturas em relação aos outros dois locais, como é visível no gráfico da Figura 45.

Ainda do gráfico da Figura 50, conclui-se que o efluente possui a temperatura imediata descarregada nos coletores e o ar interior vai mantendo a temperatura libertada por este mesmo efluente. E este é um dos dados mais interessantes. Enquanto o efluente está em ascensão térmica, o ar interior tem a tendência contrária. O contrário também acontece, alternando o ciclo. Quando a temperatura do efluente diminui, a do ar interior do coletor aumenta. Esta complementaridade entre as temperaturas dos dois elementos vai permitir no futuro encontrar uma solução de temperatura estável em que a temperatura do efluente é compensada pela do ar interior do coletor nas horas de baixa e vice-versa.

Os inquéritos efetuados no bairro da Forca-Vouga focavam-se também em entender em que períodos do dia havia mais uso de aparelhos para climatização do ambiente interior da habitação/comércio.

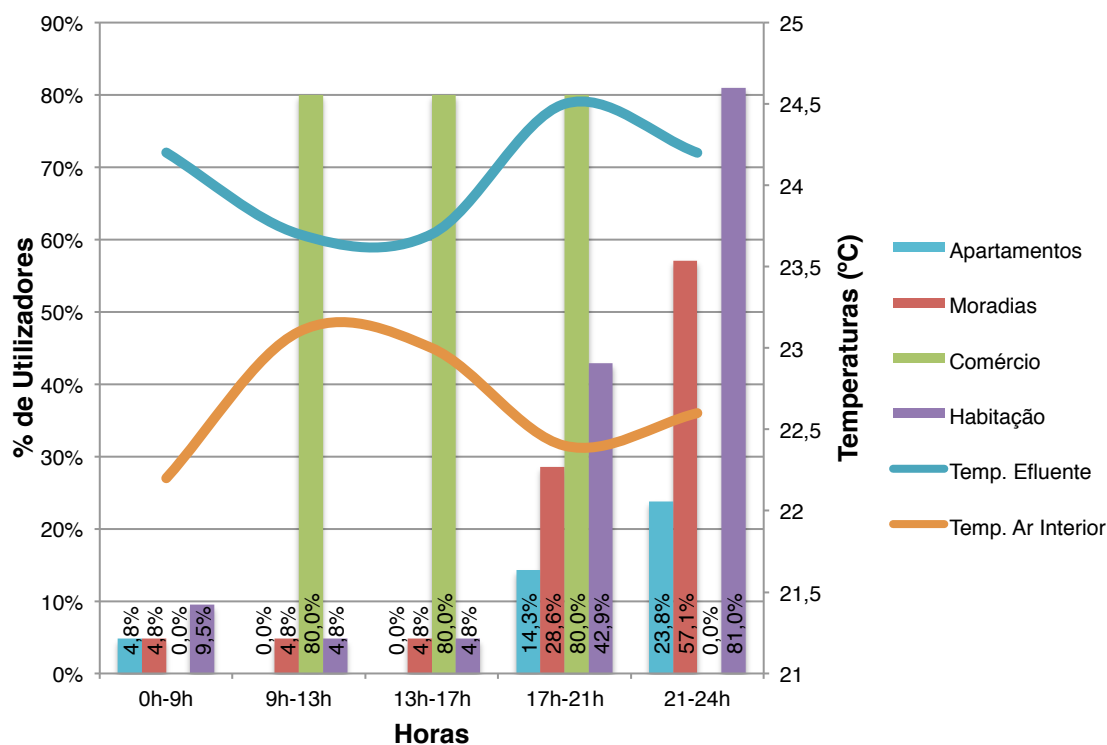


Figura 51 - Evolução diária da média das temperaturas dos três locais vs. Utilização de aparelhos de climatização.

O maior uso por parte das habitações do bairro da Forca-Vouga situa-se nos horários do fim de tarde (17h-21h) e noite (21h-24h). É também nesta altura que as temperaturas do efluente são mais elevadas, registando os valores médios dos 3 locais os picos diários. Ainda de notar que 9,8% dos inquiridos das habitações afirma fazer uso de aparelhos de climatização em todos os intervalos horários. Para esta situação, da mesma forma que já foi explicado há dois parágrafos atrás, quando a temperatura das águas residuais é mais baixa, a do ar interior dos coletores é mais elevada podendo haver uma compensação.

Outro dado de especial interesse reside no facto de nem sempre a temperatura do efluente ser superior à temperatura do ar interior da conduta. Nos locais nº1 e nº3, no ensaio das 13h, a temperatura do ar interior do coletor supera a temperatura do efluente em si, o que não era esperado devido à hora do ensaio ter sido num intervalo de baixo caudal nos coletores. Das hipóteses colocadas, pensa-se ser o ar exterior que poderá influenciar essa temperatura, não para aumentar a mesma mas mais no auxílio de a manter. Este fenómeno advém do já explicado no sub-capítulo “2.4 – Bombas de Calor”, a segunda lei da termodinâmica. A diferença entre as temperaturas no exterior do coletor e no interior eram inferiores a 3°C. Apesar de a temperatura no interior do coletor ser superior à do exterior, e a segunda lei da termodinâmica indicar que a temperatura flui do elemento mais quente para o mais frio, a baixa diferença ajuda a manter a temperatura estável nos momentos de menor solicitação dos coletores no ar interior do coletor. É entre as 13h e as 17h que o ar interior atinge o seu auge térmico, coincidindo com a temperatura exterior. Esta temperatura interior só volta a subir nos momentos em que os coletores são mais solicitados, ou seja, nos horários em que os inquiridos afirmam fazer um maior uso das instalações sanitárias (21h-24h). Neste período noturno das 21h-24h, apenas o local nº3 não apresenta uma subida de temperatura. Estima-se que se deva ao facto de existir um desnível entre os coletores a montante e a jusante da câmara de visita de cerca de 1m de altura. Esta queda em cascata poderá dissipar

alguma da energia contida no efluente, fazendo circular mais o ar dentro da câmara, diminuindo a sua temperatura.

Tendo sido um dia de Outono, é de salientar que as temperaturas do efluente e do ar interior do coletor, independentemente do horário, foram sempre superiores às temperaturas exteriores. Este fenómeno transmite a esperança de ainda melhores resultados para os períodos de inverno.

Por último, a característica que maior interesse poderá despertar: a estabilidade. Tanto a temperatura do efluente como a do ar interior do coletor mantiveram-se estáveis ao longo do dia.

Temperaturas do Efluente



Temperaturas do Ar Interior



Figura 52 - Temperaturas mínimas, médias e máximas ao longo do dia, do efluente e do ar interior dos coletores.

A variação de temperatura do exterior ou o caudal no interior dos coletores tiveram influência nos resultados mas nunca de forma drástica. Em nenhum dos elementos (efluente e ar interior) a temperatura foi abaixo dos 20°C nem superou os 26°C. O ar exterior da conduta chegou a estar na casa dos 13°C, mas as temperaturas variaram entre os 20,2°C e os 23,6°C para o ar interior do coletor e 22,2°C e os 25,4°C para o efluente, no horário das 7h.

6. DEPARTAMENTO DE NANOTECNOLOGIA (CICFANO) – PIONEIRO NA PENÍNSULA IBÉRICA

A Universidade de Aveiro é o primeiro local na Península Ibérica a albergar um permutador térmico para obtenção de energia térmica por meio da Biotermia. Este fará parte do novo edifício do Complexo Interdisciplinar de Ciências Físicas Aplicadas à Nanotecnologia e Oceanografia (CICFANO), que adotará não só a Biotermia, mas também outras tecnologias, como estruturas termoativas, que, por si ou em conjunto, tornarão o edifício extremamente eficiente do ponto de vista da sustentabilidade.

A solução estudada e adoptada para o edifício do CICFANO consistiu na instalação de um permutador por substituição de um coletor exterior de saneamento, em fibrocimento (DN350). Esta conduta em fibrocimento faz a ligação entre uma estação elevatória e a ETAR de Aveiro e dista cerca de 70m deste edifício do CICFANO.

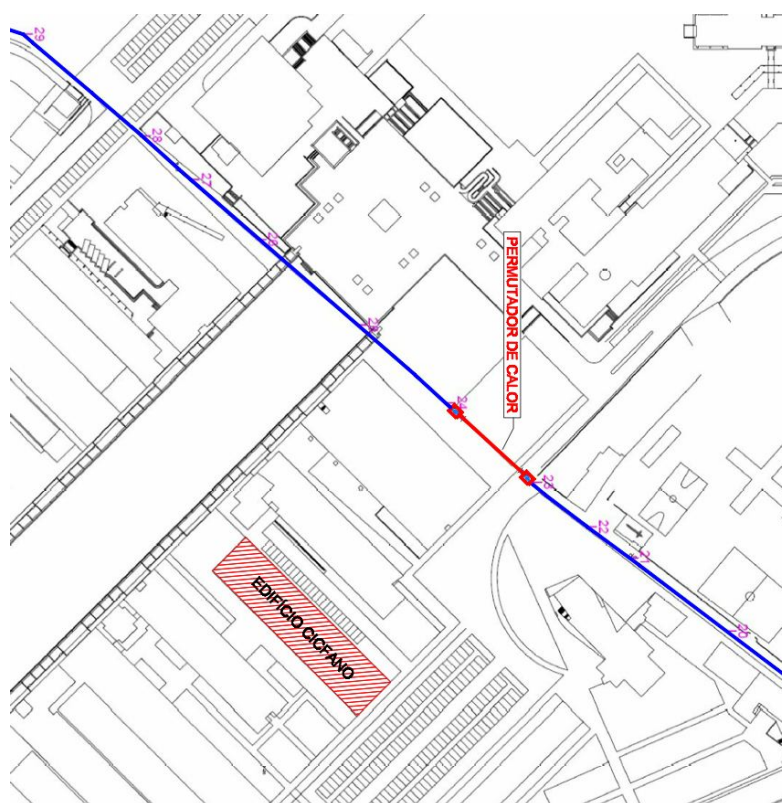


Figura 53 - Localização do Permutador em relação ao edifício do CICFANO.



Figura 54 - Conduto original em fibrocimento, que liga uma estação elevatória à ETAR da cidade de Aveiro.

Esta solução de permutador é compreendida por 8 módulos, que perfazem um comprimento de cerca de 32m. Os permutadores são unidos por braçadeiras em aço inoxidável (o mesmo material de que são feitos os permutadores) enquanto a conduta é soldada de forma a unir todos os módulos.

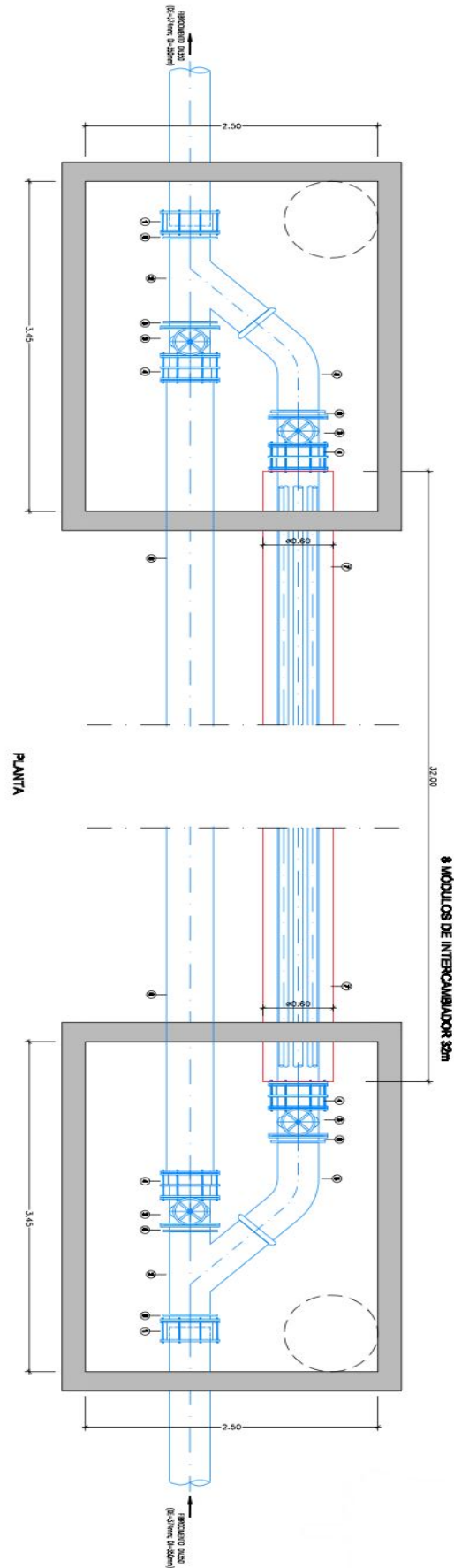


Figura 55 - Planta esquemática do permutador de calor.

Mais em pormenor, a zona das câmaras de visita, atendendo que o projeto é simétrico.

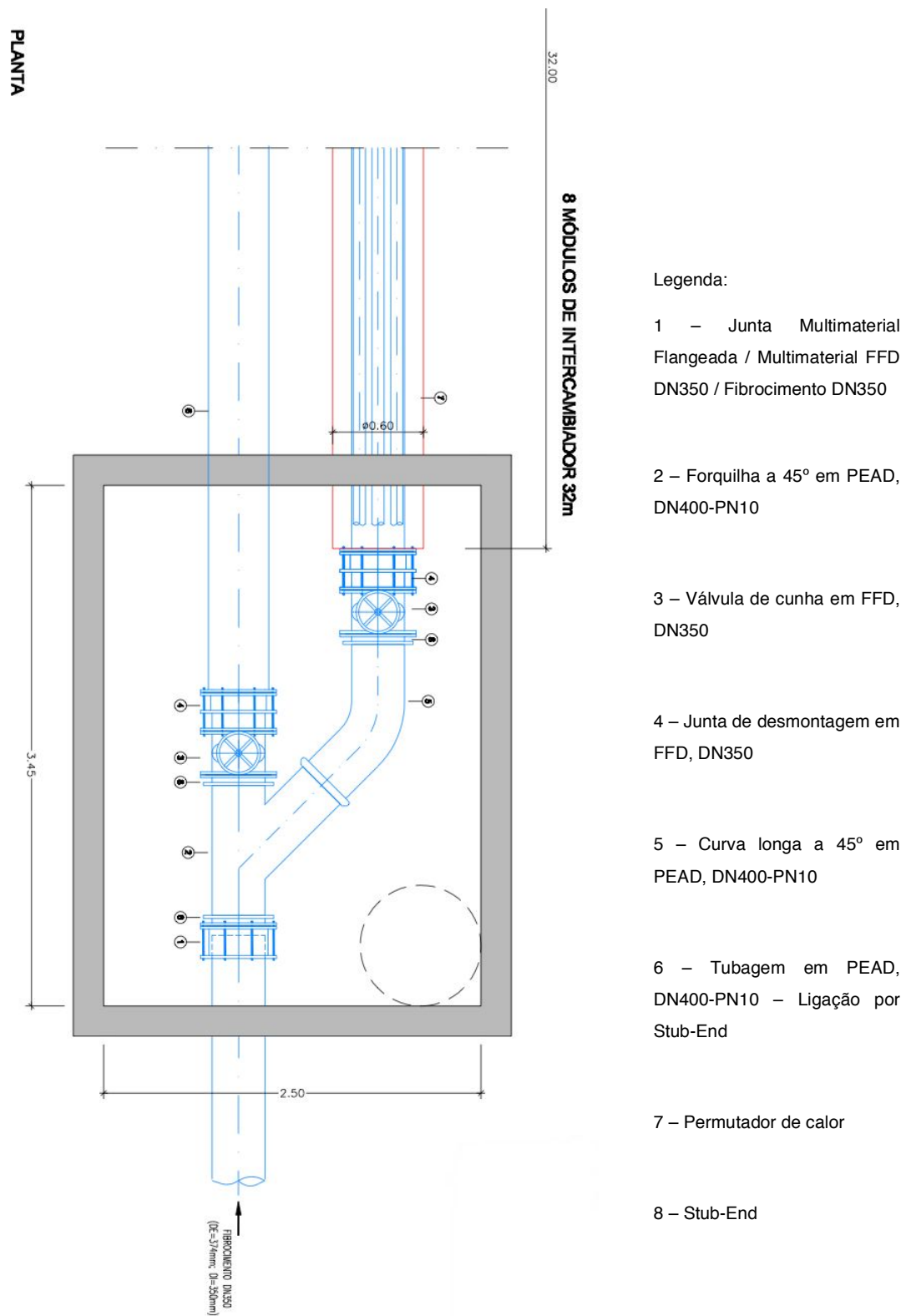


Figura 56 - Planta esquemática de pormenor do coletor térmico.

condutibilidade térmica. Todas as tubagens são isoladas por forma a minimizar as perdas e evitar fugas.



Figura 58 - Alguns dos módulos do permutador.



Figura 59 - Pormenor das ligações entre os módulos

A instalação do permutador é em paralelo com uma conduta nova que substitui a existente. Este sistema de construção em paralelo permite o desvio do caudal de forma a proceder-se a manobras de manutenção.

Nas extremidades do permutador estão construídas câmaras de manobra e operação onde ficam colocadas as válvulas de corte.



Figura 60 - Zona de derivação entre a conduta que substitui a existente e o permutador, onde é construída a câmara de manobra e operação. A azul, as válvulas de corte.



Figura 61 - Câmara de manobra e operação

Desde o permutador, a ligação ao edifício CICFANO é feita por tubagens de polietileno (PE 90mm “PN10”) enterradas no solo, onde são ligadas à bomba de calor, que consequentemente se ligam ao circuito secundário.

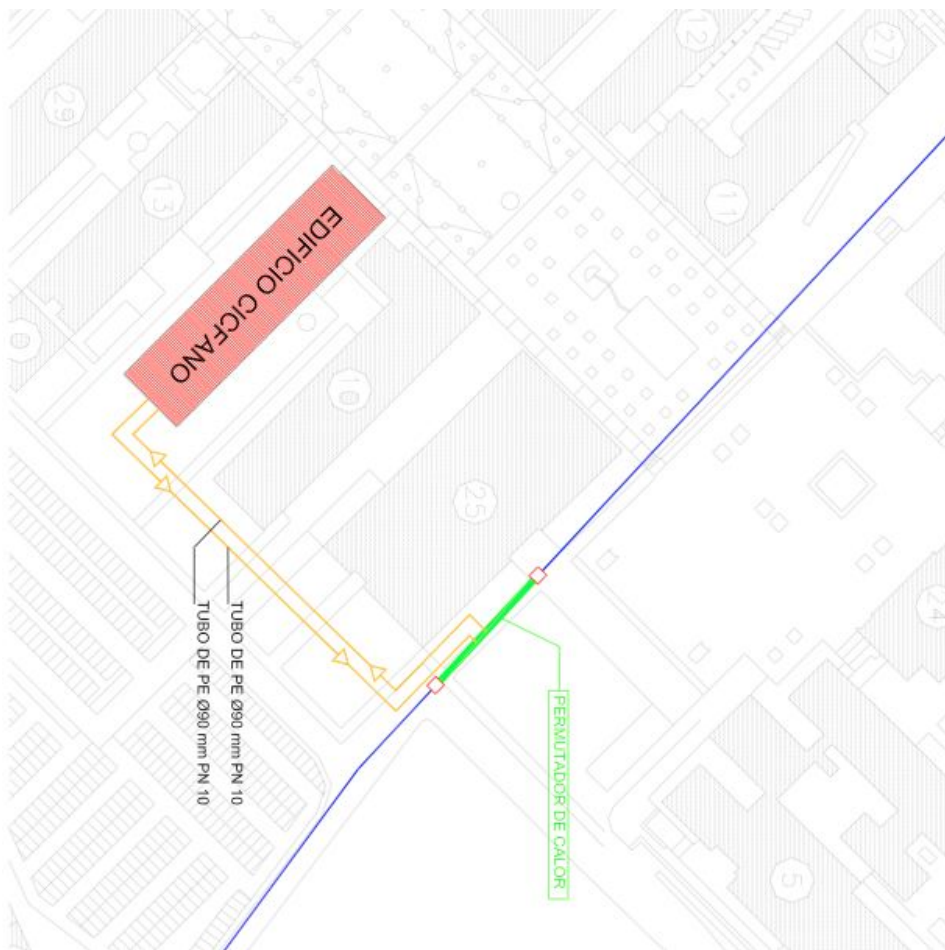


Figura 62 - Planta da ligação do permutador à bomba de calor.



Figura 63 - Tubos em polietileno que ligam o permutador à bomba de calor.



Figura 64 - Zona do permutador que se liga aos tubos de polietileno que conduzem o líquido à bomba de calor.

Além da descrição da instalação do permutador que providenciará energia calorífica para o edifício do CICFANO, é necessário compreender o tamanho da sua influência e de que forma afectará as águas residuais e o seu sistema condutor. Para tal, foi efectuado um estudo que nos indica qual a variação de caudal e temperatura sofridos pelo efluente aquando do funcionamento do permutador.

No que se refere à temperatura, a diminuição da mesma no líquido promove a redução do coeficiente de viscosidade cinemática e do factor de resistência ao escoamento. Ambos os aspectos interferem com as perdas de cargas localizadas nas condutas e, obviamente, nas perdas de carga totais de todo o sistema de saneamento.

Para perceber a temperatura disponível, foram realizados ensaios todos os primeiros dias de cada mês. A Tabela 5 mostra os valores obtidos:

Tabela 5 - Valores da temperatura obtidos na conduta original ao longo do ano.

Mês	Temperatura (°C)	Média (°C)
Janeiro	14	15,3
Fevereiro	14	
Março	16	
Abril	19	20,8
Maio	20	
Junho	21	
Julho	24	
Agosto	22	
Setembro	19	
Outubro	18	15,3
Novembro	16	
Dezembro	14	

O caudal que circula no colector, como já referido, influencia a temperatura disponível. A par da temperatura das águas residuais, é o factor mais influenciador.

Para perceber qual o volume de águas residuais que circula na conduta que foi substituída pelo permutador, foram também medidos e registados os valores de caudal.

Tabela 6 - Valores de caudais medidos entre Agosto de 2010 e Março de 2011.

Mês	Total Mensal (m ³)	Média Mensal (m ³ /dia)	Média Mensal (m ³ /h)
Agosto	106454	3434,0	143,1
Setembro	103343	3333,6	138,9
Outubro	137858	4447,0	185,3
Novembro	139184	4489,8	187,1
Dezembro	167937	5417,3	225,7
Janeiro	133111	4293,9	178,9
Fevereiro	129831	4188,1	174,5
Março	130313	4203,6	175,2

Considerando a temperatura média de 20,8 °C entre Abril e Setembro e de 15,3 °C no período de Janeiro a Março e Outubro a Dezembro, e de acordo com os dados do fabricante do equipamento, pode-se estipular qual a influência do permutador na temperatura do fluido:

Tabela 7 - Influência do Permutador na temperatura do fluido.

Caudal	Varição de Temperatura (°C)
Verão (120 kW)	
42 l/s	+ 0,7
84 l/s	+ 0,35
Inverno (68 kW)	
42 l/s	- 0,4
84 l/s	- 0,2

A estação elevatória, na qual tem origem a conduta de saneamento, possui um sistema de bombagem com dois grupos. Quando apenas um grupo está activo, estima-se que o caudal reduza de 84 l/s para 81,5 l/s, representando uma redução de cerca de 2%. Se forem dois os grupos activos, a redução estimada será de 4%.

7. CONCLUSÃO

Os objetivos europeus de poupança energética são cruciais nos dias de hoje, tanto por questões ambientais como por questões económicas. A tecnologia da Biotermia vai ao encontro desses objetivos.

O estudo da Biotermia, devido ao seu cunho inovador, tem ainda um longo caminho a percorrer até ser bem aplicado no nosso país. Caminho esse, pautado de desconhecimento e dúvidas. Para tal, foi preciso iniciar um percurso que começou nesta dissertação e que com certeza terá continuidade em face das potencialidades mostradas pelo levantamento de temperaturas e estudos de utilização da rede de saneamento de uma zona típica de uma pequena cidade e pelos dados de utilização, a obter num futuro muito próximo, na instalação no edifício CICFANO da UA, cuja empreitada de construção está em conclusão.

Antes de perceber de que forma a Biotermia pode melhorar o quotidiano dos cidadãos, é preciso entender os hábitos dos mesmos no que a esta área se refere. Nesse campo, os inquéritos foram cruciais para estudar comportamentos relativos aos consumos de água que contribuem para o caudal dos coletores de águas residuais e aos consumos energéticos, usados para climatização do ambiente, climatização esta proveniente, em muitos dos casos, de fontes energéticas fósseis.

A par com os inquéritos realizados, foi também de extrema importância a obtenção das temperaturas no interior dos coletores. Estas mostraram que, independentemente do caudal ou da temperatura exterior, as temperaturas mantêm-se estáveis ao longo do dia, seja do efluente ou do ar interior do coletor, chegando a haver uma compensação entre os dois, pois nos intervalos horários do dia em que a temperatura do efluente apresenta uma tendência descendente, a do ar interior mostra um comportamento inverso. Esta estabilidade térmica (diferenças diárias inferiores a 3°C) demonstrada nos ensaios mostra que as temperaturas são as ideais para qualquer altura do ano. Temperaturas entre os 20,2°C (mínima geral registada) e os 25,7°C

(máxima geral registada) são amenas e as indicadas para o conforto das pessoas, seja no Inverno ou no Verão.

O lado inovador desta dissertação foi testar o ar interior do coletor. Apesar de poucos, já existiam alguns estudos relativos às temperaturas das águas residuais, mas da parte do ar interior nada foi estudado.

Em suma, a Biotermia é uma tecnologia com uma larga perspectiva de desenvolvimento e de futuro muito promissor. Aproveita como fonte as águas residuais que tinham até hoje o único objetivo de serem descartadas por conforto e higiene das populações e dão agora toda uma nova visão de aproveitamento, ajudando a construir um futuro sustentável para todos.

7.1. Objetivos Futuros da Dissertação

No futuro, a investigação vai continuar e abordará vários outros campos. Alguns objetivos podem já ser definidos para o futuro: [7]

- Determinar a influência e quantificar os fatores mais importantes para o bom funcionamento dos sistemas e a estabilidade das estruturas tubulares que empregam esses sistemas;
- Identificar modelos construtivos apropriados para o comportamento termo-mecânico do efluente e do material constituinte da tubagem envolvente aos permutadores, que possibilitem a determinação das trocas térmicas e da influência das variações de temperatura na tubagem;
- Modelar o comportamento do efluente, a transferência térmica com os permutadores, a dissipação de calor e recuperação termodinâmica do material das tubagens e a influência da temperatura do solo envolvente das tubagens;
- Conceber e implementar planos de monitorização e aquisição de dados no edifício do CICFANO, em construção na Universidade de Aveiro, onde vai ser aplicado um sistema Biotérmico;

- Observar as técnicas de construção, geometria e disposição dos tubos permutadores utilizados nas tubagens, as variáveis do circuito hidráulico, em tubagens de escoamento livre e sob pressão e a sua influência no modelo;
- Determinar os fatores que influenciam a eficiência energética das soluções, sua possível quantificação e justificação de possíveis alterações das técnicas, dos materiais e da disposição dos permutadores, da interface com a tubagem e do solo envolvente;
- Determinação da influência das tubagens do circuito hidráulico primário e secundário na estabilidade dos elementos estruturais termotativos e da estrutura, na segurança relativamente à ação das variações de temperatura, na conservação material por minoração de efeitos dessa variação, na eficiência de elementos de superfície maciços e aligeirados, quer através de modelação quer através da realização de ensaios;
- Desenvolvimento, teste e validação de modelos matemáticos e ferramentas de cálculo, que permitam a determinação de todos os parâmetros e fatores sujeitos a quantificação para as soluções a desenvolver;
- Avaliação primária das reais possibilidades e potencialidades de desenvolvimento de soluções e processos construtivos idealizados;
- Identificar e determinar as limitações práticas e teóricas das soluções, com base nas necessidades de temperatura;
- Estudo de complementaridade de soluções, como o AVAC e a solução geotérmica, bem como com as soluções passivas adotadas para o edifício;
- Monitorização das soluções para avaliação e calibração de modelos;
- Avaliação das limitações da solução e seu campo de aplicação, dependentes, do sistema primário, tipos de solos, nível freático e sua

variabilidade, percolação e muitos outros fatores, anteriormente identificados;

- Estudos técnicos comparativos com as soluções tradicionais de AVAC;
- Avaliação geral de custos de soluções, no investimento, manutenção e conservação dos sistemas primários;
- Princípios gerais da tecnologia de cálculo, elaboração de fichas dos processos construtivos, avaliação de custos de produção e identificação de recursos e rendimentos;
- Indicações para a preparação de normativo e de manuais de instalação e de cálculo.

7.2. Perspetivas Futuras

Como já referido, a Biotermia é um campo tecnológico inovador e numa fase inicial com toda uma perspectiva de investigação ampla.

Nesta dissertação, optou-se por fazer o lançamento de uma investigação que se irá desenvolver no Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e dar a conhecer o conceito de Biotermia. Mas ficar apenas por aqui seria redutor para esta nova investigação. Por isso avançou-se já mais um passo e explorou-se algo que ainda não tinha sido explorado mas, ao mesmo tempo, tentou-se enquadrar com a realidade das infraestruturas correntes em Portugal. Com estes fatores em mente, optou-se por explorar se seria possível obter tão bons resultados com as temperaturas do ar interior dos coletores como dos efluentes que neles circulam. Como foi verificado, existe apenas um pequeno diferencial entre as duas temperaturas. Esta pequena diferença poderá significar a aplicação da tecnologia da Biotermia aos coletores existentes e em serviço, através da colocação de permutadores na parte superior do coletor em detrimento da colocação dos mesmos no seu leito, eliminando a possibilidade de dificuldades de escoamento e aumento do campo de aplicabilidade da tecnologia ao panorama existente com o mínimo de impactos.

8. BIBLIOGRAFIA

1. M.E.I.D. - Ministério da Economia, d.l.e.d.D., *Re.new.able - Estratégia Nacional para a Energia (ENE2020)*, d.l.e.d.D. Ministério da Economia, Editor 2010, Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento: Lisboa.
2. Instituto Nacional de Estatística, I.P.e.D.-G.d.E.e.G., *Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010*, 2011: Lisboa - Portugal.
3. Qian, J.S., Dexing; Li, Xin, *Analysis of Energy and Soft Dirt in an Untreated Sewage Source Heat*, in *Sixth International Conference for Enhanced Building Operations 2006*, Renewable Energy Resources and a Greener Future Vol. VIII-9-3: Shenzhen, China.
4. Xiao-Yan, L.H.-T., Li, *Study on Reutilization of Heat Energy from Municipal Wastewater of China*, in *9th International Conference on Environmental Science and Technology 2005*: Rhodes Island, Greece.
5. Zhou, W.Z.L., Jian X., *Sewage Heat Source Pump System's Application Examples and Prospect Analysis in China*, in *International Refrigeration and Air Conditioning Conference 2004*: Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA.
6. Baek, N.C.S., U.C.; Yoon, J.H., *A study on the design and analysis of a heat pump heating system using wastewater as a heat source*. Solar Energy, 2004. **78**.
7. Lapa, J.M., *PLANO DE INVESTIGAÇÃO E DESENVOLVIMENTO*, 2011, Universidade de Aveiro: Aveiro.
8. Guest, J.S.e.a. *A New Planning and Design Paradigm to Achieve Sustainable Resource Recovery from Wastewater*. Environmental Science & Technology, 2009. **Vol. 43**.
9. Nouri, J.e.a., *Energy Recovery from Wastewater Treatment Plant*. Pakistan Journal of Biological Sciences 9, 2006.
10. Lourenço, C.C., José, *Os Recursos Geotérmicos de Baixa Entalpia em Portugal Continental e seu Tipo de Aproveitamento*. Boletim de Minas, 2006. **41 (2)**.
11. Schmid, F. *Sewage water: interesting heat source for heat pumps and chillers*. 2008.
12. Johnston, T., *The Saanich Peninsula Wastewater Heat Recovery Project*, CRD, Editor 2009: Victoria, Canada.
13. Brandl, H., *Energy foundations and other thermo-active ground structures*. Géotechnique, 2006. **56**.

14. Tomlinson, J.L., Randall, *Heat Recovery from Wastewater Using Gravity-Film Heat Exchanger*, U.D.o.E. (DOE), Editor 2001, Oak Ridge National Laboratory: Washington DC, USA.
15. Hecht, E., *Física*. 9ª Edição ed. Schaum's Outlines, ed. S. Calhau 2001, Lisboa, Portugal: McGraw-Hill de Portugal, Lda.
16. Wylen, G.J.V.S., R.E., *Fundamentos da Termodinâmica Clássica* 1999, São Paulo: Editora Edgard Blucher.
17. Orlandini, G.T., Maria H. *O EMPREGO DA BOMBA DE CALOR NO ENSINO DA TERMODINÂMICA*. 2008.
18. Água, I.d., *Relatório do Estado do Abastecimento de Água e da Drenagem e Tratamento de Águas Residuais - INSAAR 2010*, 2011, Instituto da Água: Lisboa.
19. Amorim, H.A., *Afluências Indevidas aos Sistemas de Drenagem de Águas Residuais*, in *Faculdade de Engenharia* 2007, Universidade do Porto: Porto.
20. Association, B.C.W.W., *WATERMARK*. Vol. Volume 20 - Nº3. 2009, Canada: Craig Kelman & Associates.
21. Barros, N.J., *Análise do Impacto da Integração de Energias Renováveis em Redes de Distribuição*, in *Faculdade de Engenharia* 2011, Universidade do Porto: Porto.
22. Benli, H.D., Aydın *Evaluation of ground-source heat pump combined latent heat storage system performance in greenhouse heating*. *Energy and Buildings*, 2009. **41**.
23. Berntsson, T., *Heat sources — technology, economy and environment*. *International Journal of Refrigeration*, 2002. **25**.
24. Bertagnolio, S.S., Pascal, *Review of heat recovery and heat pumping solutions*, E.C.i.B.a.C.S. Programme, Editor 2011, International Energy Agency: Bruxelas, Bélgica.
25. Chinery, G., *Policy Recommendations for the HERS Community to Consider regarding HERS point credit for Waste Water Heat Recovery Devices*, E.-E.P. Agency, Editor 2004: USA.
26. Consortium, W.W.H., *Heating with wastewater heat - Best Practice Catalogue*, I.E.E.P.o.t.E. Community, Editor 2007, Intelligent Energy Europe Programme of the European Community: Bruxelas.
27. Csandl, P., *Integrated Resource Recovery Case Study: Okanagan College Wastewater Heat Recovery*, M.o.C.R. Development, Editor 2004: British Columbia.
28. Cunha, C.E., *Telegestão de uma Rede de Abastecimento de Água e Drenagem de Águas Residuais*, in *Faculdade de engenharia* 2007, Universidade do Porto: Porto.

29. Dong, H.-G.L., Chih-Yao; Chang, Chuei-Tin, *Simultaneous optimization approach for integrated water-allocation and heat-exchange networks*. Chemical Engineering Science, 2008(63).
30. Economia, M.d., *Eficiência Energética nos Edifícios*, D.G.d. Energia, Editor 2002, Ministério da Economia: Lisboa.
31. Eicker, U., *Low Energy Cooling for Sustainable Buildings*. 1st Edition ed2009, Stuttgart, Germany: John Wiley and Sons, Ltd.
32. Energy, D.o., *Low-Energy Building Design Guidelines*, D.o. Energy, Editor 1999: Washington DC, USA.
33. Esen, H.I., Mustafa; Esen, Mehmet, *Technoeconomic appraisal of a ground source heat pump system for a heating season in eastern Turkey*. Energy Conversion and Management, 2006. **47**.
34. Estatística, I.N.d., *Indústria e Energia em Portugal 2008-2009*, 2011, Instituto Nacional de Estatística: Lisboa.
35. Ferreira, F.J., *Desenvolvimento de uma Bomba de Calor Martifer ENER-Q*, in *Faculdade de Engenharia*2009, Universidade do Porto: Porto.
36. Ferreira, R., *Projecto de uma Bomba de Calor com aproveitamento de Energia Solar*, in *Faculdade de Engenharia*2010, Universidade do Porto: Porto.
37. Geologia, D.G.d.E.e., *Consumo de Energia no Sector Doméstico*, D.G.d.E.e. Geologia, Editor 2011, Instituto Nacional de Estatística: Lisboa.
38. Gomes, M.A., *Definição de modelo de gestão de recursos numa empresa multimunicipal de saneamento - Aplicação a um caso prático*, in *Departamento de Economia Gestão e Engenharia Industrial*2007, Universidade de Aveiro: Aveiro.
39. Granja, C.M.D., António A., *Índices de Qualidade de Serviço em Sistemas de Drenagem e Tratamento de Águas Residuais*, in *14ª ENsSB - Encontro Nacional de Saneamento Básico*2010: Porto, Portugal.
40. Hern, S.A., *Design of an experimental facility for hybrid ground source heat pump systems*, 2002, Oklahoma State University: Stillwater, Oklahoma.
41. 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. **13**.
42. Inalli, M.E., Hikmet, *Experimental thermal performance evaluation of a horizontal ground-source heat pump system*. Applied Thermal Engineering, 2004. **24**.

43. Ínalli, M.E., Hikmet, *Seasonal cooling performance of a ground-coupled heat pump system in a hot and arid climate*. Renewable Energy, 2005(30).
44. Itard, L.M., Frits; Vrins, Evert; Hoiting, Harry, *Building Renovation and modernisation in Europe: State of the Art Review*, O.R.I.f. Housing, Editor 2008, Delft University of Technology: Delft, Holanda.
45. Johnston, C., *Four steps to recovering heat energy from wastewater*, in *bcwwa*, watermark, Editor 2009.
46. Kim, J.e.a., *A simultaneous optimization approach for the design of wastewater and heat exchange networks based on cost estimation*. Journal of Cleaner Production, 2009. 17.
47. Langnau, K., *Heat Recovery*, K. LANGNAU, Editor: Switzerland.
48. Marques, M.A., *Metodologia para Aplicação dos Princípios do Ciclo de Vida a Sistemas de Drenagem de Águas Residuais*, in *Faculdade de Engenharia*2010, Universidade do Porto: Porto.
49. Matos, R.C., Adriana, et al., *Indicadores de Desempenho para Serviços de Águas Residuais*, I.R.d.Á.e. Resíduos, Editor 2004, Laboratório Nacional de Engenharia Civil: Lisboa.
50. Ministério do Ambiente, d.O.d.T.e.d.D.R., *PEAASAR II - Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais - 2007-2013*, d.O.d.T.e.d.D.R. Ministério do Ambiente, Editor 2007, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional: Lisboa.
51. Moura, E.M., *Descarga de Águas Residuais não Domésticas em Sistemas de Drenagem Urbanos*, in *Faculdade de Engenharia*2008, Universidade do Porto: Porto.
52. Oliveira, P.J., *Estudo do Consumo Específico de Energia para Ventilação com Ênfase na Geometria das Conduitas*, in *Faculdade de Engenharia*2011, Universidade do Porto: Porto.
53. Pereira, J.A., *Projecto de Comportamento Técnico - Verificação da influência da ventilação natural e do sistema de preparação de águas quentes sanitárias no cumprimento regulamentar*, in *Faculdade de Engenharia*2008, Universidade do Porto: Porto.
54. Pessoa, C.E., *Relação dos Consumos Energéticos dos Edifícios de Habitação com as Emissões do Ciclo de Produção das Soluções Construtivas*, in *Departamento de Engenharia Civil*2009, Universidade do Minho: Guimarães, Portugal.
55. Planeamento, D.R.d.P.e., *Levantamento e Caracterização do Saneamento Básico na RLVT - Programa Operacional Região de Lisboa e Vale do Tejo*, O.d.T.e.A. Ministério das Cidades, Editor 2003, Comissão de Coordenação da Região de Lisboa e Vale do Tejo: Lisboa.

56. Pompêo, C.A., *Drenagem Urbana Sustentável*. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 2000. 5(1).
57. Portugal, Á.d., *Parceria para a Organização dos Sistemas de Abastecimento de Águas e de Saneamento de Águas Residuais em Baixa*, D.d.E.-A. Serviços, Editor 2009, Município de Aveiro: Aveiro.
58. Ramos, H.d.R., *Manutenção de sistemas hidráulicos prediais*, in *Faculdade de Engenharia*2010, Universidade do Porto: Porto.
59. Resources, M.o.N., *Ground-source Heat Pump Project Analysis*. Clean Energy Project Analysis: RETScreen Engineering & Cases Textbook2005, Canada.
60. Rossa, S.R., *Contribuições para um uso mais Eficiente da Água no Ciclo Urbano*, in *Faculdade do Porto*2006, Universidade do Porto: Porto.
61. Saha, B.B.A., A.; Kashiwagi, T., *Solar/waste heat driven two-stage adsorption chiller: the prototype*. Renewable Energy, 2001(23).
62. Shannon, M. *Energy recovery from waste water*. in *ARPA-E Pre-Summit Workshop*. 2010. USA.
63. Shethna, H.J., J.; Castillo, F., *A new methodology for simultaneous optimization of capital and operating cost targets in heat exchanger network design*. Applied Thermal Engineering, 2000(20).
64. Silva, G.F., *Redes de Abastecimento de Água e Drenagem de Águas Residuais no Concelho de Sintra*, in *Departamento de Engenharia Civil*2010, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa: Lisboa.
65. Silva, N.T., *Incorporação de Materiais de Mudança de Fase em Materiais de Construção*, in *Escola de Engenharia*2009, Universidade do Minho: Guimarães.
66. Sivakumar, M.P., Aniruddha, *Wastewater treatment: a novel energy efficient hydrodynamic cavitation technique*. Ultrasonics Sonochemistry, 2002(9).
67. Smith, P., *Sustainability at the Cutting Edge*, ed. A. Press2006, Oxford.
68. Sousa, M.d., *Aproveitamentos Energéticos em Sistemas de Saneamento*, in *Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo*2005, Universidade Estadual de Campinas: Campinas, São Paulo, Brasil.
69. Spencer, J.J., Chris; Harper, David, *Identification and Evaluation of Resource Recovery Opportunities*, C.R. District, Editor 2008, Capital Regional District: Vancouver, Canada.
70. Tillman, A.-M., *Significance of decision-making for LCA methodology*. Environmental Impact Assessment Review, 2000. 20.
71. Tillman, A.-M.S., Mikael; Lundstrom, Henrik *Life Cycle Assessment of municipal Waste Water Systems*. 1998.

72. Torío, H., *Low Exergy Systems for High-Performance Buildings and Communities*, E.C.i.B.a.C.S. Programme, Editor 2008, International Energy Agency: Kassel, Alemanha.
73. Torres, P.D., *Influência das Necessidades de Aquecimento*, in *Faculdade de Engenharia* 2008, Universidade do Porto: Porto.
74. UNESCO, e.a. *Practices and experiences of water and wastewater technology*. in *Seminar "Practices and experiences of water and wastewater technology"*. 2004. Muscat, Sultanate of Oman: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO).
75. Vasiliev, L.L., *STATE-OF-THE-ART ON HEAT PIPE TECHNOLOGY IN THE FORMER SOVIET UNION*. Applied Thermal Engineering, 1998. **18**.
76. Vasiliev, L.L., *Heat pipes in modern heat exchangers*. Applied Thermal Engineering, 2005. **25**.
77. Vasiliev, L.L.V.J., Leonard L., *The sorption heat pipe—a new device for thermal control and active cooling*. Superlattices and Microstructures, 2004. **35**.
78. Vasiliev, L.L.V.J., Leonard L., *Sorption heat pipe - a new thermal control device for space and ground application*. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2005(48).
79. Wang, L.e.a., *Emergy evaluation of combined heat and power plant eco-industrial park (CHP plant EIP)*. Resources, Conservation and Recycling, 2006. **48**.

ANEXO A

Modelo dos inquéritos distribuídos no bairro da Forca-Vouga.

Caro munícipe de Aveiro,

A Universidade de Aveiro, com a colaboração das Águas da Região de Aveiro, está a desenvolver uma nova tecnologia para climatização de edifícios a partir dos esgotos públicos que poderá reduzir substancialmente as despesas de energia elétrica na climatização em edifícios.

Para tal e numa fase inicial desse projeto de investigação, torna-se necessário obter mais dados sobre os consumos de água e de energia elétrica consoante a tipologia de edifício, de modo a poder ter mais dados sobre a potencialidade das águas residuais urbanas e em que medida podem ser utilizadas para a poupança energética das habitações e espaços comerciais.

Para modelo foi selecionada a zona da Forca-Vouga.

Desta forma, o aluno de mestrado Jorge Catarino sob orientação do Professor Claudino Cardoso, Pró-Reitor para o património da universidade e com a co-orientação do Professor Eng. Marques Lapa, desenvolveram um pequeno inquérito, cujas respostas permitam a obtenção de dados para uma melhor compreensão relativamente ao consumo de eletricidade na climatização e também do tipo de consumo de água que depois reverte para o sistema público de esgotos.

Como tal, é da extrema importância para os bons resultados desta investigação cujo interesse é trazer evidentes benefícios em poupança para toda a comunidade, que possa dispensar algum tempo e colaborar connosco nesta investigação, através deste inquérito.

O seu preenchimento é facultativo, estando salvaguardado o anonimato da pessoa/família/comerciante que deseje colaborar. Os dados aqui obtidos neste inquérito serão de uso exclusivamente académico.

Qualquer questão, dúvida ou sugestão poderá ser colocada para o e-mail: jorgecatarino@ua.pt

Agradecemos, desde já, o tempo que possa despende no preenchimento das questões.

Regras de preenchimento:

- Pedimos que faça a resposta nos locais assinalados, o mais legível possível.
- Pode haver mais do que uma resposta por questão.

Respostas:

Este inquérito irá referir-se a uma:

- a. Moradia / Apartamento
- b. Loja/Comércio

Se a sua resposta for **Moradia** ou **Apartamento** responda à **PARTE A**

Se a sua resposta for **Loja/Comércio** responda à **PARTE B**

PARTE B

1. Qual o tipo de comércio? _____
2. Que área tem a loja? _____ m²
3. Quantos funcionários tem habitualmente a loja? _____
4. Quantas instalações sanitárias existem na loja? _____
5. Quantas dessas Instalações Sanitárias são abertas ao público? _____

As respostas às questões 5 e 6 podem ser encontradas nas suas faturas da água:

6. Qual a média de consumo de água por mês? _____ m³
7. Estaria na disponibilidade de nos fornecer as quantidades do consumo de água, nos meses de Março, Junho, Setembro e Dezembro do ano de 2011?
Março: _____ m³ Junho: _____ m³
Setembro: _____ m³ Dezembro: _____ m³
8. Faz uso de água em quantidade significativa (+ de 2 m³/mês) para lavagens do espaço ou outros fins que não conduzam água para a rede de saneamento (Sim/Não)? _____

As respostas às questões 9 e 10 podem ser encontradas nas suas faturas da eletricidade:

9. Qual a média de consumo total de eletricidade por mês? _____ kWh
- 10.
11. Estaria na disponibilidade de nos fornecer as quantidades do consumo de eletricidade, nos meses de Março, Junho, Setembro e Dezembro do ano de 2011?
Março: _____ kWh Junho: _____ kWh
Setembro: _____ kWh Dezembro: _____ kWh
12. Por favor caracterize, que aparelhos utiliza para a climatização de seu espaço comercial:
 - a. Aparelhos de ar condicionado (Sim/Não): _____
 - b. Aquecimento central com caldeira (Sim/Não): _____
 - c. Aquecimento com radiadores elétricos (Sim/Não): _____
 - d. Aquecimento com aparelhos de gás (Sim/Não): _____
 - e. Outro. Qual(ais)? _____
13. Em que períodos do dia faz mais uso delas? _____
Responda por favor: 0h as 9h ; 9h as 13h ; 13h as 17h; 17h as 21h; 21h as 00h

