



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

# **“Avaliação do desempenho energético e da qualidade ambiental interior de um caso de construção modular em diferentes climas”**

## **Mestrado em Energia para a Sustentabilidade**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Energia para a Sustentabilidade

**Autor**

**Carlos Paulo Madeira Soares Branco**

**Orientadores**

**Prof. Doutor Manuel Gameiro**

Professor Associado com Agregação da Universidade de Coimbra

**Prof. Doutor Fernando Seabra Santos**

Professor Catedrático da Universidade de Coimbra

**Júri**

**Presidente Professor Doutor Luís Miguel Cândido Dias**

Professor Auxiliar com Agregação da Universidade de Coimbra

**Arguente Professora Doutora Maria Manuela O. G. de Almeida**

Professor Associada da Universidade do Minho



## AGRADECIMENTOS

O trabalho que aqui se apresenta só foi possível graças à colaboração e apoio de algumas pessoas, às quais não posso deixar de prestar o meu reconhecimento.

Quero aqui manifestar o meu sincero agradecimento pelo apoio recebido a todos e particularmente:

Aos meus orientadores, Prof. Doutor Manuel Gameiro e Prof. Doutor Fernando Seabra Santos, pela disponibilidade manifestada para orientar este trabalho, pelos conhecimentos transmitidos, pelas correcções, e pela cordialidade e simpatia demonstradas.

Ao Prof. Doutor Adélio Gaspar pela ajuda prestada na afinação do modelo da simulação dinâmica realizada no programa EnergyPlus.

Ao colega Eng.º Pereira dos Reis, pela disponibilidade manifestada para me ouvir e pelos conhecimentos transmitidos através da sua grande experiência profissional.

A todos os professores que participaram na minha formação de base.

Por último, mas não menos importante, a todos os meus amigos e à minha família, em especial à minha mãe, à minha mulher, aos meus dois filhos e ao meu irmão pelo apoio incondicional que sempre me deram, pela preocupação, pela confiança em mim depositada, fazendo-me acreditar que era possível chegar ao fim com sucesso.



## RESUMO

O presente trabalho tem como objectivo o estudo de uma habitação modular instalada numa plataforma flutuante. O edifício idealizado consiste numa habitação com apenas 3 divisões: um quarto, uma casa de banho e uma sala com *kitchenette*. Depois de fixadas pelo projectista as características e geometrias da envolvente (opaca e envidraçada) e de seleccionados os sistemas de climatização mais adequados, pretende-se estudar o desempenho do edifício.

O desempenho de diferentes soluções é avaliado através da comparação de vários indicadores, nomeadamente o consumo de energia, a potência instalada para os sistemas de climatização e o nível de conforto. Como ferramentas de estudo foram utilizados diferentes aplicações informáticas de simulação, especificamente:

- EnergyPlus: utilizado para simulação térmica da construção modular em Portugal (Bragança, Coimbra, Lisboa, Évora e Faro), bem como noutros países da Europa, nomeadamente França, Holanda, Itália e Grécia;
- Solterm 5: utilizado para testar várias soluções de painéis solares térmicos;
- Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps: utilizado para testar o desempenho do sistema solar fotovoltaico.

Com este trabalho conseguiram-se confirmar várias hipóteses: (1) os benefícios da utilização de energias renováveis; (2) que é possível desenvolver um projecto que garanta simultaneamente bom desempenho energético e elevados níveis de conforto para os utilizadores; (3) e que o sistema de climatização por piso radiante garante níveis excelentes de conforto a todos os utilizadores.

**Palavras-chave:** construção modular flutuante, simulação térmica de edifícios, conforto, recursos sustentáveis.



## ABSTRACT

The present research aims at studying a modular building installed on a floating platform. The building developed has only three rooms, i.e. bedroom, bathroom, and a living room with kitchenette. After the definition of the geometries and dimensions as well as the selection of the most suitable HVAC systems, the building performance is analysed.

The performance of different solutions is evaluated using several indicators, such as energy consumption, installed power for HVAC systems, and the comfort levels. In order to obtain those indicators, several simulation software was used, specifically:

- EnergyPlus: it was used to carry out thermal simulations of the modular building in Portugal (Bragança, Coimbra, Lisboa, Évora and Faro) as well as in other European countries, namely France, Netherlands, Italy, and Greece;
- Solterm 5: it was used to assess several solutions of solar thermal panels;
- Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps: it was used to obtain the test the performance of the solar photovoltaic system.

Based on this research, it was possible to confirm several hypotheses: (1) the benefits of using renewable energy; (2) it is possible to develop a solution that ensures both good energy performance and high comfort levels for the users; (3) and that a floor heating solution ensures excellent comfort levels.

**Keywords:** floating modular construction, Thermal simulation of buildings, comfort, sustainable resources.



# CONTEÚDO

RESUMO .....	5
ABSTRACT .....	7
CONTEÚDO .....	9
LISTA DE TABELAS .....	12
1. Introdução .....	16
1.1 Enquadramento .....	16
1.2 Objectivos .....	16
1.3 Estrutura da dissertação .....	17
2. Revisão bibliográfica .....	20
3. Análise energética.....	28
3.1 Consumo de energia eléctrica .....	28
3.1.1 Capacidade do sistema de painéis fotovoltaicos.....	31
3.2 Geração solar térmica equivalente .....	33
3.2.1 Dados técnicos da simulação.....	33
3.2.2 Instalação solar térmica: conclusão .....	37
3.3 Autonomia energética da construção modular flutuante.....	38
2.3.1 Balanço energético da energia eléctrica da habitação modular .....	39
3.3.1.1 Energia produzida anualmente via sistema fotovoltaico: localização no Gerês.....	39
3.3.1.2 Consumo de energia da construção modular flutuante por ano de utilização.....	39
3.3.1.3 Balanço energético: energia eléctrica .....	39
3.3.1.4 Cálculo do consumo de combustível do gerador por kWh energia eléctrica gerada .....	40
3.3.1.5 Determinação do consumo médio diário de gasóleo .....	40
Consumo médio diário de electricidade.....	41
Consumo médio diário de gasóleo.....	41
3.3.1.6 Simulação de autonomia para diferentes capacidades do depósito de gasóleo: situação hipotética de fornecimento de energia eléctrica usando apenas o gerador a gasóleo.....	41
3.3.1.7 Determinação da autonomia energética média anual da construção modular flutuante ...	42
3.4 Opções de energia eléctrica.....	43
3.4.1 Corrente alternada.....	43
3.4.2 Corrente contínua .....	44
4. Modelo do edifício e critérios de simulação .....	46
4.1 Geometria e envolvente .....	46
4.1.1 Descrição do modelo geométrico (hipóteses e simplificações).....	46
4.1.2 Dados climáticos e pressupostos assumidos.....	46

4.1.3	Tipo de construção .....	46
4.1.4	Valores da transmitância térmica (U).....	46
4.1.5	Envolventes envidraçadas: protecções solares móveis.....	49
4.1.6	Elementos de sombreamento.....	50
4.2	Modelo do edifício e critérios de simulação .....	51
4.2.1	Ocupação (densidade e perfis) .....	51
4.2.2	Iluminação (densidade e perfis) .....	51
4.2.3	Equipamentos (densidade e perfis).....	52
4.2.4	Ventilação e infiltração de ar.....	52
4.3	Resultados da simulação e discussão de resultados .....	53
4.3.1	Análise energética em Portugal.....	53
4.3.2	Potência final de climatização, equipamentos e iluminação: Portugal.....	53
4.3.3	Energia final: Portugal .....	54
4.3.4	Consumo de energia na construção modular, por divisão: Portugal.....	57
4.4	Análise energética em alguns locais da Europa .....	57
4.4.1	Potências aquecimento/refrigeração: Europa .....	58
4.4.2	Energia Final: Europa.....	59
4.4.3	Consumo de energia por divisão da construção modular flutuante: Europa .....	62
5.	Caracterização do sistema de climatização.....	64
5.1	Introdução .....	64
5.2	Características técnicas de conforto do sistema de piso/tecto radiante a água .....	64
5.3	Equipamentos principais .....	65
5.3.1	Bomba de Calor Água / Água .....	65
5.3.2	Tubagem e isolamento térmico .....	66
5.3.3	Grupos de Impulsão .....	66
5.3.4	Sistema para a distribuição dos tubos para o aquecimento.....	66
5.3.5	Sistema de controlo e sondas.....	67
5.4	Princípios de Funcionamento.....	67
5.5	Esquema de princípio do sistema de climatização e AQS idealizado para a construção modular flutuante .....	67
5.5.1	Bomba de calor .....	70
5.5.2	Água lagunar (energia renovável) .....	70
5.5.3	Radiação solar (energia renovável) .....	70
5.5.4	Arrefecimento - Água lagunar.....	70
5.5.5	Aquecimento .....	71
5.5.6	Modo neutro .....	71
5.6	Condições técnicas especiais .....	72
5.6.1	Bomba de calor .....	72

5.6.1.1	Função calor .....	72
5.6.1.2	Características técnicas da bomba de calor .....	72
5.6.1.3	Tanque de 300 L.....	73
5.6.1.4	Permutador lagunar .....	73
5.6.1.5	Dimensões de um módulo .....	74
6.	Determinação dos níveis de conforto para cada localização pelo método do PPD.....	76
6.1	Conforto térmico .....	76
6.2	Análise e discussão de resultados .....	78
6.2.1	Introdução .....	78
6.2.2	Determinação dos valores das variáveis utilizadas no cálculo do conforto térmico.....	79
6.2.3	Determinação da categoria de conforto .....	80
6.2.4	Análise anual – Portugal/Europa .....	81
6.2.5	Aquecimento – Portugal/Europa .....	82
6.2.6	Arrefecimento – Portugal/Europa .....	83
7.	Conclusões.....	86
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	93

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Potência eléctrica, por equipamento consumidor de energia .....	28
Tabela 2: Consumo de energia eléctrica diário - Outubro a Março .....	29
Tabela 3: Consumo de energia eléctrica diário, hora a hora .....	29
Tabela 4: Consumo diário de energia eléctrica - Abril a Setembro .....	30
Tabela 5: Consumo de energia eléctrica diário, hora a hora .....	31
Tabela 6: Tabela de selecção dos Painéis Solares Térmicos .....	36
Tabela 7: Tabela de selecção dos painéis solares térmicos de tubos de vácuo .....	37
Tabela 8: Balanço energético mensal e anual do sistema solar térmico .....	38
Tabela 9: Cálculo do consumo de combustível por kWh energia eléctrica .....	40
Tabela 10: Consumo médio de gasóleo por dia: meses quentes .....	41
Tabela 11: Consumo médio de gasóleo por dia: meses frios .....	41
Tabela 12: Autonomia energética da habitação modular flutuante, para os meses quentes e frios, tendo em conta diferentes capacidades de armazenamento de gasóleo .....	42
Tabela 13: Determinação do consumo médio anual de gasóleo .....	42
Tabela 14: Determinação do consumo médio diário .....	42
Tabela 15: Autonomia média da construção modular flutuante, para diferentes capacidades de acumulação de gasóleo .....	43
Tabela 16: Alçados da habitação modular flutuante .....	47
Tabela 17: Envolvente opaca da habitação modular .....	48
Tabela 18: Caracterização da protecção da envolvente transparente da habitação modular .....	50
Tabela 19: Número de ocupantes da habitação modular (por zona) .....	51
Tabela 20: Iluminação interior da habitação modular .....	51
Tabela 21: Densidade de iluminação por divisão e horários correspondentes .....	51
Tabela 22: Densidade e perfis por equipamentos .....	52
Tabela 23: Distribuição temporal dos consumos diários de energia eléctrica .....	52
Tabela 24: Potência final de climatização, equipamentos e iluminação: Portugal .....	53
Tabela 25: Energia consumida em aquecimento, arrefecimento, iluminação interior e equipamentos: Portugal .....	54
Tabela 26: Potência final dos equipamentos e iluminação .....	58
Tabela 27: Balanço energético anual - Europa .....	59
Tabela 28: Determinação do perímetro das envolventes verticais de cada uma das zonas .....	79
Tabela 29: Determinação das áreas das envolventes de cada uma das zonas .....	80
Tabela 30: Determinação do perímetro das envolventes verticais de cada uma das zonas .....	80
Tabela 31: Análise de conforto ano - Portugal .....	81
Tabela 32: Análise de conforto ano – Europa .....	82
Tabela 33: Análise de conforto para os meses de aquecimento - Portugal .....	82
Tabela 34: Análise de conforto para os meses de aquecimento – Europa .....	83
Tabela 35: Análise de conforto para os meses de arrefecimento - Portugal .....	83
Tabela 36: Análise de conforto para os meses de arrefecimento: Europa .....	84

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Perfil de consumo de energia eléctrica de um dia, no período entre Outubro e Março.....	30
Figura 2: Perfil de consumo de energia eléctrica de um dia, no período entre Abril e Setembro.....	31
Figura 3: Resultado de simulação realizada no programa “Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps” para a zona do Parque Natural do Gêres.....	32
Figura 4: Ficheiro climático seleccionado no software Solterm5 - zona de Braga.....	34
Figura 5: Perfil de consumo diário de AQS.....	34
Figura 6: Caracterização do depósito de AQS seleccionado.....	35
Figura 7: Selecção da energia final utilizada para AQS.....	35
Figura 8: Caracterização da tubagem do sistema de distribuição de AQS.....	35
Figura 9: Fracção solar garantida pelos painéis solares térmicos em análise.....	36
Figura 10: Percentagem de fracção solar garantida pelos painéis solares térmicos de tubos de vácuo.....	37
Figura 11: Balanço energético - energia eléctrica.....	40
Figura 12: Alçados da habitação modular.....	47
Figura 13: Envolvente interior da habitação modular: casa de banho, quarto e sala/cozinha (cor verde escuro).....	48
Figura 14: Cobertura exterior e palas de protecção solar.....	49
Figura 15: Piso exterior.....	49
Figura 16: Elementos de sombreamento.....	50
Figura 17: Potências de aquecimento e refrigeração: Portugal.....	54
Figura 18: Energia consumida em aquecimento, arrefecimento, iluminação interior e equipamentos: Portugal.....	55
Figura 19: % de Energia consumida em aquecimento, arrefecimento, iluminação interior e equipamentos: Portugal.....	55
Figura 20: Consumo energético por tipo de energia, respectivamente para Bragança e Coimbra.....	56
Figura 21: Consumo energético por tipo de energia, respectivamente para Lisboa e Évora.....	56
Figura 22: Consumo energético por tipo de energia para Faro.....	57
Figura 23: Potências de aquecimento e refrigeração: Europa.....	58
Figura 24: Balanço energético anual.....	59
Figura 25: % de energia consumida, em aquecimento, arrefecimento, iluminação interior e equipamentos: Europa.....	60
Figura 26: Consumos energéticos por tipo de energia – Europa (continuação). .....	62
Figura 27: Variação da temperatura ideal de conforto para o ser humano, com a altura.....	65
Figura 28: Imagem de bomba de calor água/água.....	65
Figura 29: Imagem da instalação da tubagem do piso radiante.....	66
Figura 30: Grupo de impulsão do circuito do piso radiante.....	66
Figura 31: Colector do piso radiante.....	66
Figura 32: Sistema de controlo e sondas.....	67
Figura 33: Esquema de princípio dos sistemas de climatização e AQS, da construção modular flutuante.....	69
Figura 34: Características técnicas da bomba de calor.....	72
Figura 35: Índices de PMV e PPD - 3 categorias de conforto térmico global.....	78

# SIMBOLOGIA E SIGLAS

## Simbologia

C	Trocas convectivas com as camadas de ar circundantes
E	Perdas por evaporação devido à transpiração
K	Condução de ou para o vestuário
M	Taxa de produção de calor metabólico
R	Trocas por radiação com as superfícies envolventes
Res	Trocas de calor sensível e latente na respiração
S	Taxa de armazenamento de calor corporal
T ar interior	Temperatura do ar interior
Tr média	Temperatura radiante média
W	Trabalho mecânico exterior

## Siglas

AISI	American Iron and Steel Institute
AQS	Águas quentes sanitárias
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
AVAC	Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado
COP	Coefficiente de performance
Ed	Produção média diária de electricidade fornecida pelo sistema
Em	Produção média mensal de electricidade fornecida pelo sistema
Hd	Soma média diária global da irradiação por metro quadrado, recebida pelos módulos do sistema
Hm	Soma média mensal global da irradiação por metro quadrado, recebida pelos módulos do sistema dado
Led	Díodo emissor de luz
PMV	Voto médio estimado
PPD	Percentagem estimada de insatisfeitos
PV	Fotovoltaico
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps Sistema de informação geográfica fotovoltaica - Mapas Interactivos
U	Transmitância térmica

**CAPÍTULO 1**  
**INTRODUÇÃO**

## **1. Introdução**

### **1.1 Enquadramento**

Cada vez mais existe a necessidade de usufruir dos tempos livre disponíveis nos fins-de-semana e férias, procurando o contacto com a natureza. Esse também é um modo saudável de recuperar do *stress* do dia-a-dia num ambiente calmo e relaxante.

No entanto, essa relação com a natureza deve assegurar níveis elevados de conforto e deve estar tão perto quanto possível de uma solução que se aproxime da situação ideal de consumo nulo de energia, logo é fundamental utilizar recursos sustentáveis, reduzindo o consumo de energia usando técnicas de construção passivas, energia solar fotovoltaica e sistemas solares térmicos. A fim de alcançar os objectivos acima mencionados, é proposta uma construção modular flutuante.

A habitação modular em estudo será construída sobre flutuadores, funcionando como se fosse um barco. Terá uma geometria paralelepípedica, com cerca de 11 m de comprimento, 4 m de largura e um pé direito de 2,4 m. É constituída por dois tipos de envolvente, opaca e transparente. A envolvente opaca é em aglomerado de madeira tipo sanduíche, com um isolamento em aglomerado negro de cortiça e placas de contraplacado marítimo pelo interior e exterior. A envolvente transparente é constituída por envidraçados de alumínio, com vidro duplo e caixa-de-ar. Pretende-se encontrar a melhor solução técnica em termos de abastecimento energético da casa, tendo em conta todas as vertentes durante o normal funcionamento da habitação. Esta habitação está projectada para poder ser habitada em simultâneo por 4 pessoas. Por imposição estética de arquitectura, a aplicação de painéis solares térmicos ou fotovoltaicos está limitada a cerca de 28 m<sup>2</sup> instalados na cobertura e na posição horizontal.

### **1.2 Objectivos**

A realização deste trabalho tem como objectivo principal determinar o desempenho energético de uma construção modular flutuante, testando as soluções construtivas propostas pela equipa de projectistas em diferentes regiões de Portugal e também noutros países da Europa.

Os objectivos específicos são:

- Estudar a dependência energética da habitação modular flutuante, determinando a autonomia energética em função do nível esperado de utilização dos sistemas de energias renováveis;
- Desenvolvimento de um sistema de climatização utilizando recursos naturais renováveis;
- Determinação dos níveis de conforto para os utilizadores da habitação nas diferentes localizações da habitação modular flutuante.

De referir, ainda, que a estratégia usada para o desenvolvimento deste estudo passou pela realização de simulações dinâmicas, utilizando os softwares EnergyPlus, Solterm 5 e Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps.

### **1.3 Estrutura da dissertação**

De seguida é apresentada, sucintamente, a estrutura da dissertação:

- Capítulo 2: faz-se uma análise ao desempenho energético esperado para a habitação modular flutuante;
- Capítulo 3: realizam-se as simulações dinâmicas através o software EnergyPlus e definem-se o modelo do edifício e os critérios considerados na simulação;
- Capítulo 4: caracteriza-se, em detalhe, o sistema de climatização proposto para a habitação modular flutuante;
- Capítulo 5: determinam-se os níveis de conforto para cada uma das várias localizações e climas em estudo;
- Capítulo 6: apresentam-se as principais conclusões deste trabalho.



**CAPÍTULO 2**  
**REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

## 2. Revisão bibliográfica

As questões energéticas estão na ordem do dia, principalmente nos países desenvolvidos.

Estudos recentes [1] indicaram que o consumo mundial de energia foi reduzido em 1,1% em 2009, devido à inesperada recessão económica global. No entanto o consumo de energia em vários países em desenvolvimento, em particular em alguns países da Ásia, ainda continua a crescer.

A energia consumida nos edifícios desempenha um papel importante. De acordo com a Gibbons et ai. [2], um terço da energia total nos EUA é consumida em edifícios.

Segundo Michael J [3], poupanças de energia significativas nos edifícios são possíveis, através do uso de técnicas de construção passiva e de sistemas activos de energias renováveis, tais como painéis solares fotovoltaicos e solares térmicos. A utilização de equipamentos comercialmente disponíveis com tecnologias eficazes e com eficiência energética também deve ser explorada.

Ao longo das últimas duas décadas, na sequência da crise de energia na década de 70 e o actual interesse crescente na arquitectura verde e construção, pesquisadores, construtores, economista, arquitectos e outros a partir de uma ampla variedade de disciplinas têm gerado um conjunto significativo de informações sobre tecnologia solar passiva. Paralelamente ao desenvolvimento dos fundamentos técnicos do projecto solar passivo é um interesse crescente entre os construtores e projectistas em incorporar conceitos passivos em suas práticas de construção padrão. Compradores hoje são mais exigentes com o nível de conforto em suas casas, pode conceber-se uma casa com design solar passivo que é mais confortável e menos oneroso para manter. Aproveitamento da radiação solar através da correta orientação dos envidraçados, devidamente protegidos com palas, cuidados de construção de modo a anular pontes térmicas, um isolamento térmico reforçado e renovação de ar adequada são as leis básicas que são defendidas pelas técnicas de construção passiva.

Segundo Viorel Badescu [4], em edifícios residenciais, grande parte da energia consumida é utilizada para aquecimento interior, em média cerca de três quartos do consumo final de energia do parque edificado existente na europa central. Na década de 80 a casa com baixo padrão de consumo de energia surgiu após a crise do petróleo, com uma necessidade de aquecimento de 75 kWh/m<sup>2</sup>. As primeiras casas passivas foram construídas no norte da europa, enquanto na Alemanha a primeira casa passiva foi

construída no ano de 1992. Na Alemanha as casas passivas precisão de 80% menos energia para aquecimento do que edifícios com isolamento padrão para o ano de 1995. Actualmente uma casa passiva não necessita mais do que 15 kWh/m<sup>2</sup> de necessidades de energia. Além disso, o consumo de energia primária anual para aquecimento não deve ultrapassar os 60 kWh/m<sup>2</sup>.

Para Mahidi Naserenddin [5], a construção modular é uma nova e promissora tecnologia de construção civil industrializada que usa grande produção industrial para construção de casas personalizadas. A abordagem difere da construção convencional, que utiliza pequenos componentes de construção que são depois montados na obra. As principais diferenças para a construção convencional são: 1º Na construção convencional os recursos são trazidos para a zona de construção, enquanto que na construção modular os módulos são construídos numa fábrica e depois transportados, existindo restrições quanto ao tamanho e peso por causa dessa necessidade de deslocação até ao local a construir. 2º Na construção modular convencional, gestão de equipas é mais fácil. As equipas serão dedicadas para o local por um período específico de tempo. A construção modular garante uma qualidade standard, eliminação de desperdícios, melhoria continua e foco no cliente [6]. O sector da habitação modular procura activamente abordagens inovadoras melhorando a qualidade e aumentando a rentabilidade. O Housing Constructability Lab na Universidade central da florida tem trabalhado com líderes da indústria para atender às necessidades.

Independentemente do tipo de construção ser convencional ou modular e da utilização ou não de técnicas de construção passiva, a utilização de sistemas de sistemas solares activos é uma mais-valia em termos energéticos. Os sistemas solares activos têm também tido um grande desenvolvimento nas últimas décadas. Segundo George Löff [7] durante o período de 1975-1986, o departamento americano de tecnologias de aquecimento solar da energia gastou mais de 1,1 bilião de dólares em pesquisa e desenvolvimento de sistemas activos de energia solar, demonstração e projectos de tecnologias de suporte, e o Centro de Informação Técnica Nacional adicionou mais de 30 mil títulos em tecnologias de calor solar para suas participações.

Em 2006 foram publicados os decretos-lei 79 e 80/2006 que tiveram um papel muito importante na promoção da eficiência energética dos edifícios, sejam de habitação ou de

escritório. Existem diferenças substanciais entre os consumos nos edifícios de habitação e de escritórios, porque geralmente prevalecem nos escritórios os consumos de iluminação e climatização, enquanto na habitação, sobretudo nas componentes ventilação e arrefecimento, pesam significativamente menos. Aqui pode dizer-se que há um programa nacional a cumprir e que está em vigor desde o mês de Junho (2006) [8]. Entrar em vigor uma legislação não garante ganhos imediatos de eficiência, mas o DL79 de 2006 [9] e DL80/2006 [10] obrigam a que todos os novos edifícios estejam munidos de painéis solares para a produção de água quente sanitária, bem como garantir a melhoria dos sistemas de iluminação e climatização. A maior parte do nosso território beneficia de condições óptimas para o aproveitamento da energia solar térmica e, mesmo, da fotovoltaica nos edifícios. Não é exagero dizer que, na maior parte das nossas cidades, com as tecnologias existentes, a potência de radiação solar disponível, se aproveitada, poderia satisfazer todas as necessidades de água sanitária nos principais aglomerados urbanos, sem que isto tivesse qualquer impacto visível na paisagem a que estamos habituados. Acresce que os preços da tecnologia solar térmica têm vindo a descer ao longo dos últimos anos. Segundo Jorge Nascimento Rodrigues [11], cerca de 1/3 da energia que consumimos nas habitações é para aquecer água, seja para lavagens de roupa e louça e utilização em cozinha, seja para banho.

Para Xingxing Zhang [12], a energia solar térmica é uma das tecnologias das energias renováveis mais rentáveis tendo enorme potencial de mercado a nível mundial. Representa mais de 90% da capacidade de energia solar instalada no mundo, é utilizada para diversos fins, incluindo a produção de água quente sanitária e aquecimento ambiente, refrigeração solar assistida e processo de aquecimento industrial. O mercado de energia solar térmica global tem sido continuamente crescente desde o início da década de 90 e na Europa o mercado da energia solar térmica triplicou entre 2002 e 2006 estando ainda em expansão. A Plataforma Solar Térmica Europeia indicou que em 2030 até 50% do aquecimento a baixa e média temperatura vai ser fornecido pela energia solar térmica [13]. A federação europeia da indústria solar térmica prevê que para 2020 na EU haverá uma capacidade solar térmica instalada entre 91 e 320 giga-watts (GW), equivalente a 5600 toneladas de petróleo. Para 2050 a EU eventualmente pode atingir os 1200 GW de capacidade solar térmica [14]

O uso da energia solar, nos últimos anos tem alcançado uma margem notável. A pesquisa continua por uma fonte de energia alternativa, devido à previsível escassez de

combustíveis fósseis é a sua força motriz. Torna-se ainda mais popular devido aos constantes aumentos dos preços dos combustíveis fósseis. Segundo Mirunalini Thirugnanasambandam [15], A terra recebe em apenas 1 hora mais energia do sol do que a que consumimos num ano. A sua aplicação foi provada ser mais económica, requerendo a maioria dos sistemas de uso individual apenas alguns quilowatts de energia.

Relativamente às tecnologias disponíveis para aquecimento de água através dos painéis solares térmicos, existem dois tipos principais de sistemas de energia solar térmica: Circulação em termosifão e Circulação forçada.

Para Hussam Jouhara [16] o sistema com circulação em termosifão é um tipo de permutador de calor que depende da força da gravidade para funcionar, transferindo calor pelo processo de evaporação e condensação de um fluido circulando numa cavidade que pode ter uma grande variedade de tamanhos e configurações. O sistema de termosifão funciona quando é imposta uma diferença de temperatura entre as suas extremidades [17] enquanto o sistema de circulação forçada a água circula através de uma bomba de água que a faz circular, conseguindo-se maior eficiência no aquecimento.

Relativamente ao sistema de circulação forçada, o esquema mais utilizado contempla um depósito pressurizado existindo no entanto um outro esquema em que o depósito de água funciona à pressão atmosférica, sendo a água do depósito a mesma que é bombeada para os painéis solares e a água de utilização aquecida instantaneamente através de um permutador de tubo enrolado [18]. As principais vantagens deste esquema é o facto de não necessitar de anticongelante e ser anti-legionella, logo mais seguro para os utilizadores [19].

Tendo em conta os benefícios energéticos que se podem obter através da utilização dos sistemas activos solares térmicos é interessante estudar o seu aproveitamento para suprir as necessidades de aquecimento durante a estação fria. Nesse sentido a selecção do sistema de aquecimento deve passar pela aplicação de um sistema de climatização que permita usufruir da energia solar. Segundo R.Hu [20], o piso radiante garante maior conforto e ao mesmo tempo tem um grande potencial de poupança de energia. Isso deve-se ao facto de os sistemas de piso radiante requerem temperaturas de refrigeração mais altas e temperaturas de aquecimento mais baixas que noutro tipo de sistemas permitindo assim a utilização directa ou indirecta de fontes naturais de energia. Como a

temperatura da água de alimentação para o sistema de terminais deve estar acima do ponto de orvalho do ar interior, para evitar condensação na superfície, um sistema de refrigeração por piso radiante é responsável apenas pela porção da carga sensível de refrigeração e a restante é controlada por um sistema de ar condicionado independente. Com base nas características do sistema, Liu e jiang [21] indica que o sistema tem muitas vantagens no controlo do ambiente interior e eficiência energética. A carga sensível pode ser tratada de forma independente por um sistema de refrigeração que fornece água gelada a uma temperatura mais elevada do que a requerida em ar condicionado convencional que lida com o arrefecimento sensível e latente e onde é necessário a temperatura de arrefecimento médio ser inferior ao ponto de orvalho do ar ambiente. Portanto, sistemas de piso radiante estão cada vez mais a atrair a atenção de muitos engenheiros e são considerados como solução para a redução do consumo de energia mantendo o ambiente interno confortável.

Outros dos sistemas activos mais utilizados em habitação residencial são os sistemas fotovoltaicos. Segundo Cláudio Galli [22] esses sistemas fornecem energia eléctrica a uma determinada carga, usando como fonte de energia a radiação solar. Portanto, seu custo total resume-se no investimento inicial. Além disso, quase não necessitam de manutenção e são de fácil instalação e manutenção. No entanto, por depender directamente das flutuações naturais da radiação solar, a energia eléctrica produzida é variável durante o dia e ao longo do ano. Por este motivo, em algumas situações, são necessários sistemas de armazenamento de energia. Os sistemas fotovoltaicos dividem-se em: autónomos e conectados à rede eléctrica convencional.

Os sistemas autónomos têm de ser equipados com um conjunto de módulos e baterias recarregáveis associadas a reguladores. Durante os dias em que existe luz solar, os módulos produzem energia eléctrica. A quantidade que não é utilizada pelos usuários é armazenada nas baterias. Durante a noite e nos dias nublados, a energia para o consumo é fornecida pelas baterias. Neste caso, a tensão proporcionada é contínua e os instrumentos usados devem enquadrar-se a esta característica. Estes sistemas também são usados para fornecer energia a equipamentos empregados em telecomunicações e instalações em locais afastados. Se há necessidade de tensão alternada, associa-se ao sistema um inversor, que transforma a tensão contínua em alternada. Este é o sistema mais adequado para fornecer energia a um pequeno povoado afastado da rede eléctrica convencional.

Segundo J.K. Kaldellis [23] existem no Mercado várias alternativas quanto ao tipo de baterias a utilizar para armazenar energia eléctrica, tendo estudado 6, concretamente: Na-S, Flywheels, Regenesys, Lead Acid, PHS and Fuel Cells. Dos estudos efectuados verificou que para autonomias médias e altas, o sistema PHS e Na-S constitui a mais atrativa das opções, no entanto refere que para situações de pequenos sistemas a solução Flyuwel pode ser mais interessante.

O sistema fotovoltaico utiliza 1 ou mais painéis solares convertendo a radiação solar em electricidade, podendo ser classificado de várias maneiras:

- Conectado à rede centralizada
- Conectado à rede descentralizada
- Desligado da rede domestica
- Desligado da rede não domestica

Um sistema de energia conectado é ligado à rede de transmissão e distribuição de electricidade. Um sistema autónomo é dependente da radiação solar.

A energia produzida pelas células fotovoltaicas é em corrente continua DC sendo necessário a instalação de um inversor solar ou inversor fotovoltaico, componente essencial para transformar a corrente continua em corrente alternada e assim se poder alimentar electricamente os equipamentos de uso domestico.

Existem hoje três famílias principais de módulos fotovoltaicos no mercado. Eles são silício monocristalino, policristalino (multicrys-talline) silício, e de película fina.[24]

O sistema fotovoltaico pode ser classificado pelo tipo de células usadas: silício monocristalino (c-Si), policristalino (p-Si), fita de silício cristalino (r-Si), silício amorfo, telureto de cadmio (Cd-Te), cobre índio (gálio) ou disseleneto (CISarCIGS) e novos conceitos como CPV (concentradores fotovoltaicos). Existem actualmente 3 tipos de módulos PV no mercado:

- Silicio monocristalino, silício policristalino e thim film [25]

A tecnologia PV de silício cristalino foi a 1ª geração desenvolvida. Esta secção atingiu uma boa penetração no mercado, primeiro nos sistemas autónomos e depois com ligação à rede, através de participações. Contudo existiam limitações nesta 1ª geração. O silício era frágil tornando a transformação difícil e limitando as possíveis aplicações. Porque os materiais representavam mais de 60% dos custos de fabrico e porque o fornecimento de silício era finito, o potencial a longo prazo para redução de custos é insuficiente para se fornecer energia a preços competitivos [26].

Para simplificar a fabricação e reduzir custos, a 2ª geração (conhecida por thin film technologies) foi desenvolvida o thin film [27] que é menos sujeito a sofrer quebras quando aplicado em folha flexível. É fabricado numa película fina, contudo com menor eficiência que na 1ª geração e algumas questões permanecem por resolver pela herança tóxica dos materiais, tanto no fabrico como no fim de vida.

Com a tecnologia solar de 3ª geração esperava-se alcançar maior eficiência e menos custos do que na 1ª e 2ª gerações. O desempenho de um sistema PV pode ser descrito em termos da sua eficiência na conversão em energia. A eficiência de uma célula mede-se pela percentagem de energia solar incidente (entrada) de que a célula converte em electricidade sobre condições nominais. [28]

Actualmente os melhores exemplos de laboratório são as células solares de silício tradicionais têm eficiências de cerca de 25%, enquanto que a associação europeia da indústria fotovoltaica (AEIF) [29] estima que as células multi-junções têm eficiência superior a 42%. Têm aparecido várias novidades no mundo da 3ª geração de células solares, e eles podem começar a ver aplicações comerciais dentro dos próximos anos. Segundo Raugéi M, Frankl P [30], para a 1ª e 2ª gerações prevê-se um crescimento constante.

**CAPÍTULO 3**  
**ANÁLISE ENERGÉTICA**

### 3. Análise energética

Em termos de desempenho energético, o principal objectivo da equipa de projectistas envolvidos no desenvolvimento deste projecto, foi encontrar uma solução o mais sustentável sob o ponto de vista energético e ao mesmo tempo dentro de parâmetros razoáveis de sustentabilidade económica. O projecto foi desenvolvido para clientes-alvo pertencentes à classe média-alta e alta, logo o custo de investimento não foi a variável mais importante durante a realização deste estudo. Nesse sentido, a utilização de sistemas de energias renováveis é considerada uma prioridade e eles serão adoptados sempre que tecnicamente possível. Considerou-se nomeadamente a utilização de sistemas de microprodução fotovoltaicos e sistemas de painéis solares térmicos para aquecimento de águas sanitárias. O facto da habitação modular estar construída sobre água doce também se torna uma excelente oportunidade para se conseguir garantir um bom desempenho energético. Foram estudados sistemas que permitem a utilização da capacidade térmica das massas de água para melhorar o desempenho do sistema de climatização da habitação modular.

#### 3.1 Consumo de energia eléctrica

Nesta altura importa caracterizar o perfil de consumo de energia eléctrica que a habitação modular vai ter, de modo a determinar a capacidade de resposta que o sistema de microgeração fotovoltaico garante durante a utilização. Na Tabela 1 encontram-se listados os equipamentos potenciais consumidores de energia eléctrica que tipicamente serão instalados na habitação, obtendo-se uma potência total instalada de 8480 W.

**Tabela 1: Potência eléctrica, por equipamento consumidor de energia**

Posição	Equipamento	Potência (W)
1	Placa de fogão eléctrica	2000
2	Forno eléctrico	2000
3	Micro-ondas	800
4	Televisão	100
5	MLL	800
6	Iluminação LED	50
7	Hidropressor	700
8	Bomba de calor	1630
9	Bombas de circulação do aquecimento central	200
10	Frigorífico	100
11	Exaustor	100

Na Tabela 2 estão representados os tempos previsíveis de funcionamento diário de cada um dos equipamentos referenciados na tabela1. Pode-se, verificar que, durante os meses para os quais se considerou haver necessidades de aquecimento, concretamente entre Outubro e Março, é expectável um consumo energético médio de 21.28 kWh/dia.

**Tabela 2: Consumo de energia eléctrica diário - Outubro a Março**

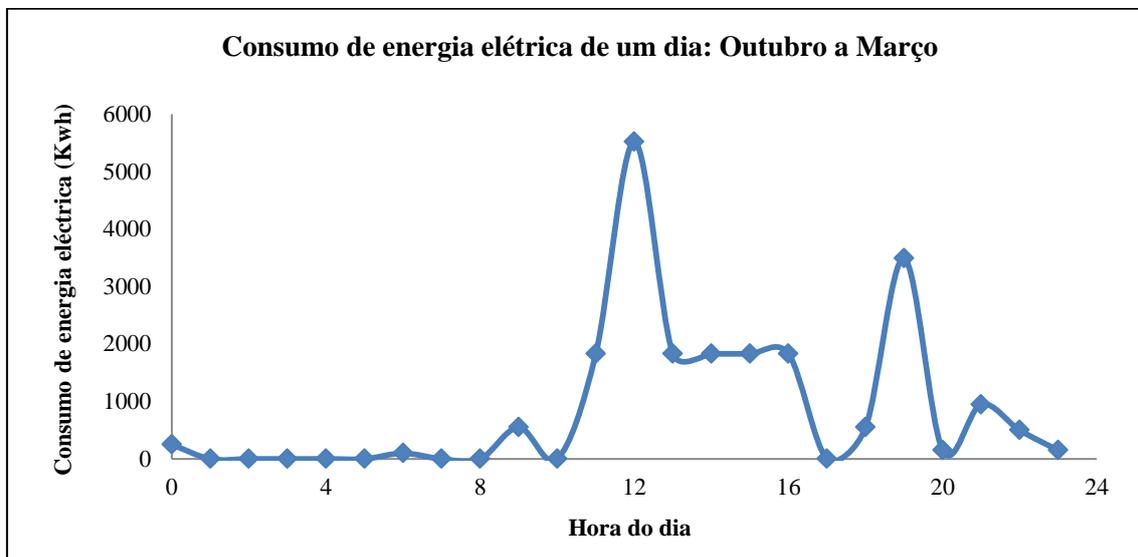
Posição	Equipamento	Potência (W)	Tempo (h)	kWh/dia
1	Placa de Fogão Eléctrica	2000	2	4
2	Forno Eléctrico	2000	1	2
3	Micro-Ondas	800	0.75	0.6
4	Televisão	100	7	0.7
5	MLL	800	1	0.8
6	Iluminação LED	50	6	0.3
7	Hidroressor	700	2	1.4
8	Bomba de Calor	1630	6	9.78
9	Bomba de circulação do aquecimento central	200	6	1.2
10	Frigorífico	100	3	0.3
11	Exaustor	100	2	0.2
<b>Total</b>		<b>8480</b>		<b>21.36</b>

Na Tabela 3 estão representados os perfis de consumo de energia eléctrica da habitação modular, das 0 às 24h, sendo apresentada a hora do dia a que é previsível o consumo de energia eléctrica de cada um dos equipamentos instalados. Com esta análise pretende-se evidenciar situações de simultaneidade e determinar qual o pico de potência e a que horas previsivelmente poderão ocorrer. Só tendo esse tipo de informação se poderão prever possíveis falhas de alimentação eléctrica, dimensionando correctamente tanto o sistema de microgeração fotovoltaica como o gerador de energia eléctrica que funcionará como sistema de apoio.

**Tabela 3: Consumo de energia eléctrica diário, hora a hora**

Equipamento	Potencia (W)	Tempo (h)	Horas do dia																							
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Placa de Fogão Eléctrica	2000	2												1								1				
Forno Eléctrico	2000	1												0.5								0.5				
Micro-Ondas	800	0.75									0.3			0.3								0.3				
Televisão	100	7	1																	1	1	1	1	1		
MLL	800	1																					1	1		
Iluminação LED	50	6	1																		1	1	1	1		
Hidroressor	700	2									0.5			0.5							0.5			0.5		
Bomba de Calor	1630	6										1	1	1	1	1	1									
Bomba de circulação A.Central	200	6										1	1	1	1	1	1									
Frigorífico	100	3	1						1												1					
Exaustor	100	2												1								1				
<b>8480</b>			250	0	0	0	0	0	100	0	0	550	0	1830	5520	1830	1830	1830	1830	0	550	3490	150	950	500	150
			21360																							

Para o cenário apresentado, obtém-se um consumo máximo de energia entre as 12 e as 13 horas, a rondar os 5.52 kWh, com um pico de potência de 7.43 kW, conforme representado na Figura 1.



**Figura 1: Perfil de consumo de energia eléctrica de um dia, no período entre Outubro e Março**

Na Tabela 4 encontra-se representado o consumo energético diário entre os meses de Abril e Setembro, que são os meses com necessidades de arrefecimento, verificando-se um consumo energético médio diário na ordem dos 11.58 kWh/dia.

**Tabela 4: Consumo diário de energia eléctrica - Abril a Setembro**

Posição	Equipamento	Potência (W)	Tempo (h)	kWh/dia
1	Placa de fogão eléctrica	2000	2	4
2	Forno eléctrico	2000	1	2
3	Micro-ondas	800	0.75	0.6
4	Televisão	100	7	0.7
5	MLL	800	1	0.8
6	Iluminação LED	50	6	0.3
7	Hidropressor	700	2	1.4
8	Bomba de calor	1630	0	0
9	Bomba de circulação do aquecimento central	200	6	1.2
10	Frigorífico	100	3	0.3
11	Exaustor	100	2	0.2
	<b>Total</b>	<b>8480</b>		<b>11.58</b>

Para o período com necessidades de refrigeração, o perfil diário previsível está representado na Tabela 5.



projecto com estas características, uma vez que a zona Norte do País tem menor incidência solar. O dimensionamento para esta situação garante o funcionamento no resto do território nacional.

Através do programa “Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps” foi realizada uma simulação dinâmica, para as seguintes condições:

- Localização: 41°46’51”- Norte, 8°10’22” Oeste, Altitude 547 - m a.s.l.;
- Base de dados de radiação solar: PVGIS-classic;
- Potência nominal do sistema fotovoltaico: 3.0 kW (silício cristalino);
- Área aplicada: 22 m<sup>2</sup>;
- Posição horizontal;
- Perdas estimadas devido à temperatura e baixa irradiância: 13.3% (usando a temperatura ambiente local);
- Perda estimada devido aos efeitos de reflectância angular: 3.6%;
- Outras perdas (cabos, inversor etc.): 14.0%;
- Perdas do sistema PV Combinado: 28.1%.

Na Figura 3 encontram-se os resultados retirados directamente da simulação dinâmica no software “Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps”.

Sistema fixo: inclinação = 0°, orientação = 0°

Mês	Ed	Em	Hd	Hm
Jan.	4.15	129	1.87	57.9
Fev.	5.82	163	2.57	72
Mar.	9.28	288	4.17	129
Abr.	10.7	322	4.93	148
Mai.	12.9	399	6.04	187
Jun.	14.6	439	7.01	210
Jul.	14.1	438	6.8	211
Ago.	13.4	414	6.42	199
Set.	12.2	307	4.77	143
Out.	7.16	222	3.24	101
Nov.	4.44	133	2	60.1
Dez.	3.15	97.6	1.44	44.5
Média		279		130
Total anual		3350		1560

Ed: Produção média diária de electricidade fornecida pelo sistema (kWh)

Em: Produção média mensal de electricidade fornecida pelo sistema (kWh)

Hd: Soma média diária global da irradiação por metro quadrado recebida pelos módulos do sistema dado (kWh)

Hm: Soma média mensal global da irradiação por metro quadrado recebida pelos módulos do sistema dado (kWh)

**Figura 3: Resultado de simulação realizada no programa “Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps” para a zona do Parque Natural do Gêres**

Nas colunas Ed e Em estão representados respectivamente os valores médios diários e mensais produzidos pelo sistema fotovoltaico. Como se pode verificar, o sistema fotovoltaico referido produz 3350 kWh, durante um ano de funcionamento.

### **3.2 Geração solar térmica equivalente**

A energia necessária para a produção das águas quentes sanitárias é fornecida por duas fontes distintas, concretamente através de painéis solares térmicos, complementados por um sistema de apoio que previsivelmente será uma bomba de calor água/água que vai garantir o funcionamento do sistema de climatização. Considerou-se, como consumo previsível diário de águas quentes sanitárias por parte dos 4 ocupantes da construção modular flutuante, cerca de 300 litros/dia.

Nesta altura é importante referir que a selecção do sistema de painéis solares térmicos vai ter como grande limitação o espaço disponível para a sua instalação, sabendo-se, à partida, que não existe disponibilidade para instalação de uma área superior a 6 m<sup>2</sup>, uma vez que a esmagadora maioria do espaço disponível na cobertura estará ocupado pelo sistema de painéis solares fotovoltaicos, essenciais para a alimentação energética da construção modular flutuante.

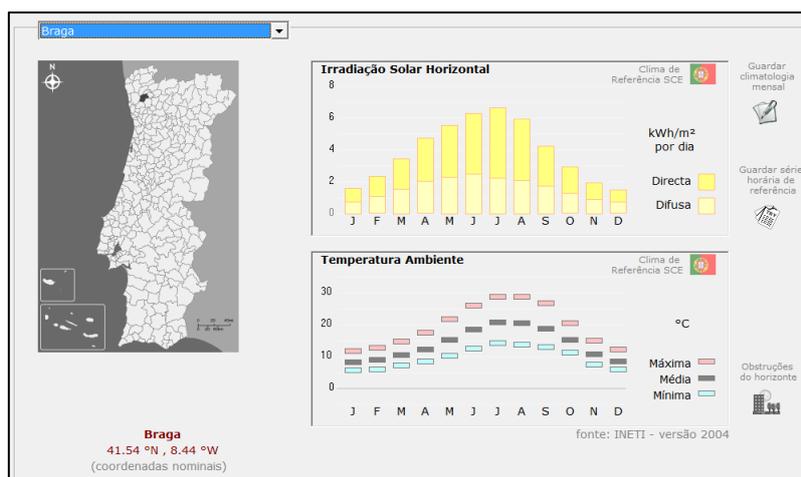
Nesse sentido, uma questão importante é saber que percentagem da energia necessária para assegurar o sistema de aquecimento de águas sanitárias é proveniente da energia solar e que percentagem será proveniente da bomba de calor água-água instalada para fornecimento da energia térmica de aquecimento do sistema de climatização.

Para determinação das necessidades energéticas para aquecimento de águas quentes sanitárias, foi utilizado o software de simulação dinâmica Solterm5. A descrição desta simulação bem como os respectivos resultados são apresentados a seguir.

#### **3.2.1 Dados técnicos da simulação**

##### **- Ficheiro climático**

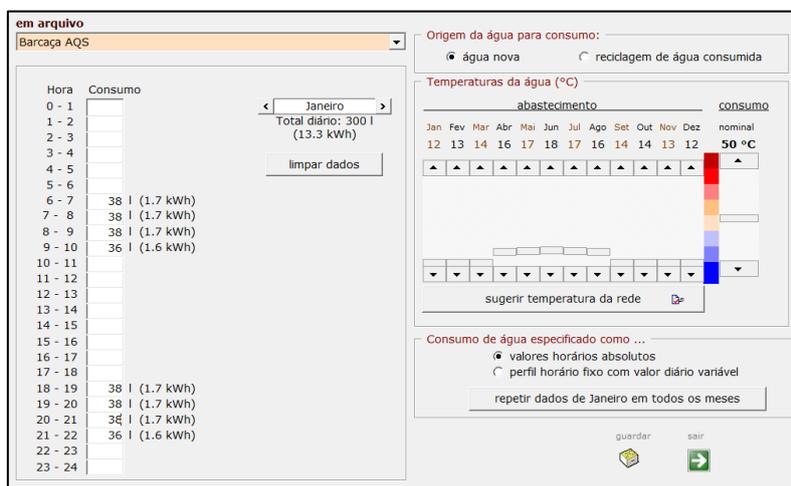
Mais uma vez foi seleccionada a zona do Parque Natural do Gerês, que pertence ao distrito de Braga. Pelo facto de no Software Solterm5 não estar disponível o ficheiro climático do Gerês, seleccionou-se o ficheiro climático de Braga, representado na Figura 4, por ser a região mais próxima existente na base de dados.



**Figura 4: Ficheiro climático seleccionado no software Solterm5 - zona de Braga**

### - Perfil de consumo

Considerou-se que o consumo de água quente sanitária (AQS) rondará os 300 litros por dia (4 ocupantes). Admitiu-se a existência de dois períodos do dia nos quais podem ocorrer os grandes consumos de AQS, concretamente no início do dia e no final da tarde, tendo um perfil diário semelhante durante todo o ano. A temperatura de armazenamento será de 50 °C, não se tendo considerado qualquer tipo de reciclagem de água. O perfil diário considerado na simulação pode ver-se, em detalhe, na Figura 5.



**Figura 5: Perfil de consumo diário de AQS**

### - Depósitos/Permutadores

Está prevista a instalação de um depósito horizontal com um volume de 300 litros, com área externa de 3.6 m<sup>2</sup>, perdas térmicas de 2.7 W/K, com permutador interno do tipo serpentina, com uma eficácia de 55% (vd. Figura 6).

**Depósitos / Permutadores**

Barcaça típico 300 l

1 conjunto depósito/permutador  
 Volume = 300 l  
 Área externa = 3.60 m<sup>2</sup>  
 Perdas térmicas = 2.7 W/K

Permutador interno, tipo serpentina.  
 Eficácia do permutador 55%.  
 Depósito abrigado.  
 Posição horizontal.

**Figura 6: Caracterização do depósito de AQS seleccionado**

**- Sistema de apoio**

O sistema de apoio é constituído pela bomba de calor água/água que garante a climatização na estação fria, utilizando electricidade como meio de energia (vd. Figura 7).

**Sistema de apoio**

Eléctrico     Gás propano     Gasóleo (de aquecimento)  
 Gás butano     Outro  
 Gás natural

**Figura 7: Selecção da energia final utilizada para AQS**

**- Tubagens**

A tubagem necessária para garantir a distribuição das AQS entre os painéis solares térmicos e o depósito de acumulação de AQS é muito pequena, tem um comprimento máximo aproximado de 5 metros (vd. Figura 8).

**Tubagens**

comprimentos

total 5.0 m

1.5 m no exterior  
 3.5 m dentro de edifício

existe protecção mecânica no percurso exterior

Perdas térmicas (valor nominal): 1.4 W/K

**Figura 8: Caracterização da tubagem do sistema de distribuição de AQS**

**- Colectores**

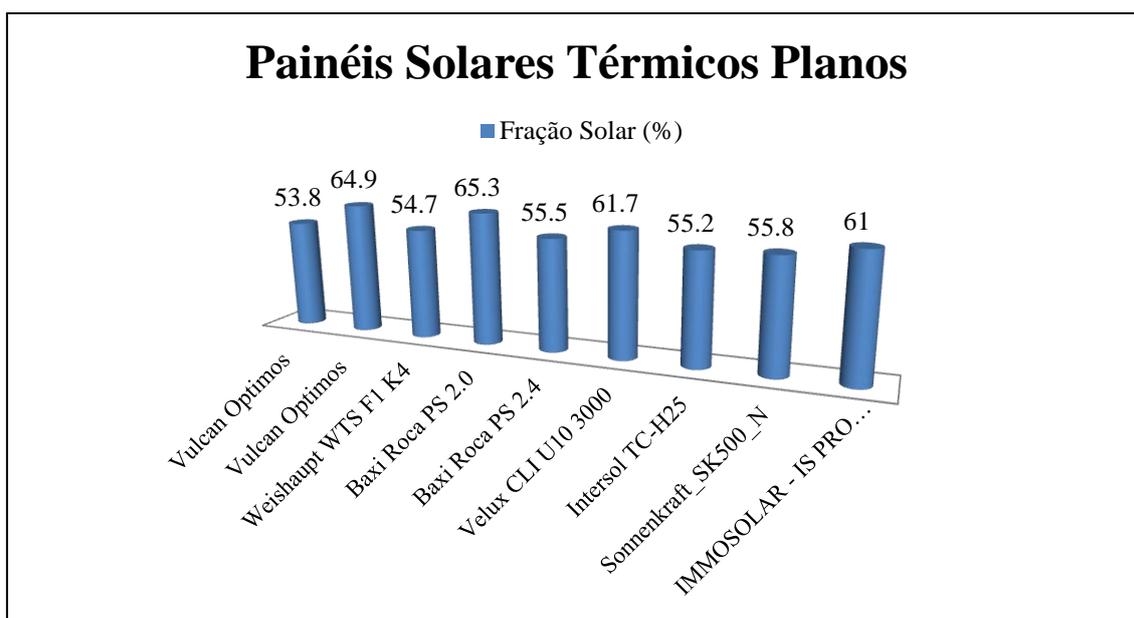
Foram testados diversos tipos de modelos de painéis solares térmicos, das principais marcas existentes no mercado, tendo-se concluído rapidamente que os sistemas de tubo

de vácuo têm eficiência muito superior aos colectores planos, no entanto não foi abandonada a hipótese dos painéis solares planos, pelo facto de terem um aspecto muito mais apelativo, sendo este também um dos requisitos a ter em atenção. Outro dos requisitos a ter em atenção para a realização das simulações foi a área disponível, sendo neste caso no máximo de 6 m<sup>2</sup>. Nesse pressuposto, nas Tabelas 6 e 7 apresentam-se os resultados das simulações feitas para alguns dos painéis solares térmicos planos e de tubos de vácuo mais eficientes do mercado.

Na Tabela 6 verifica-se que, para uma área limite máxima de 6 m<sup>2</sup>, a melhor opção, no caso do sistema de painéis solares térmicos planos, seria o modelo Baxi Roca PS 2.0, que têm uma área unitária de 1.92 m<sup>2</sup>, obtendo-se através da instalação de 3 painéis, uma área total de 5.8 m<sup>2</sup>. Para esta opção atinge-se uma fracção solar máxima de 65.3%. Há, ainda, a salientar o bom desempenho do sistema Vulcan Optimos com uma percentagem de fracção solar de 64.9%, conforme Figura 9.

**Tabela 6: Tabela de selecção dos Painéis Solares Térmicos**

Painéis Solares Térmicos: Planos	N.º Colectores	Área Painel (m2)	Área (m2)	Inclinação	Rendimento global anual do sistema (%)	Produtividade (kWh/m2 coletor)	Fornecido (kWh)	Carga (kWh)	Apoio (kWh)	Fracção Solar (%)	Classificação
Vulcan Optimos	2	1.86	3.7	Horizontal	42	690	2568	4770	2202	53.8	9º
Vulcan Optimos	3	1.86	5.6	Horizontal	34	555	3094	4770	1676	64.9	2º
Weishaupt WTS F1 K4	2	2.27	4.5	Horizontal	40	575	2609	4770	2161	54.7	8º
Baxi Roca PS 2.0	3	1.92	5.8	Horizontal	37	541	3114	4770	1656	65.3	1º
Baxi Roca PS 2.4	2	2.36	4.72	Horizontal	39	561	2648	4770	2122	55.5	6º
Velux CLI U10 3000	3	1.89	5.7	Horizontal	36	519	2942	4770	1829	61.7	3º
Intersol TC-H25	2	2.34	4.68	Horizontal	39	563	2634	4770	2136	55.2	7º
Sonnenkraft_SK500_N	2	2.31	4.62	Horizontal	40	576	2663	4770	2107	55.8	5º
IMMOSOLAR - IS PRO 2000 TINOX	3	1.87	5.6	Horizontal	36	519	2910	4770	1860	61	4º

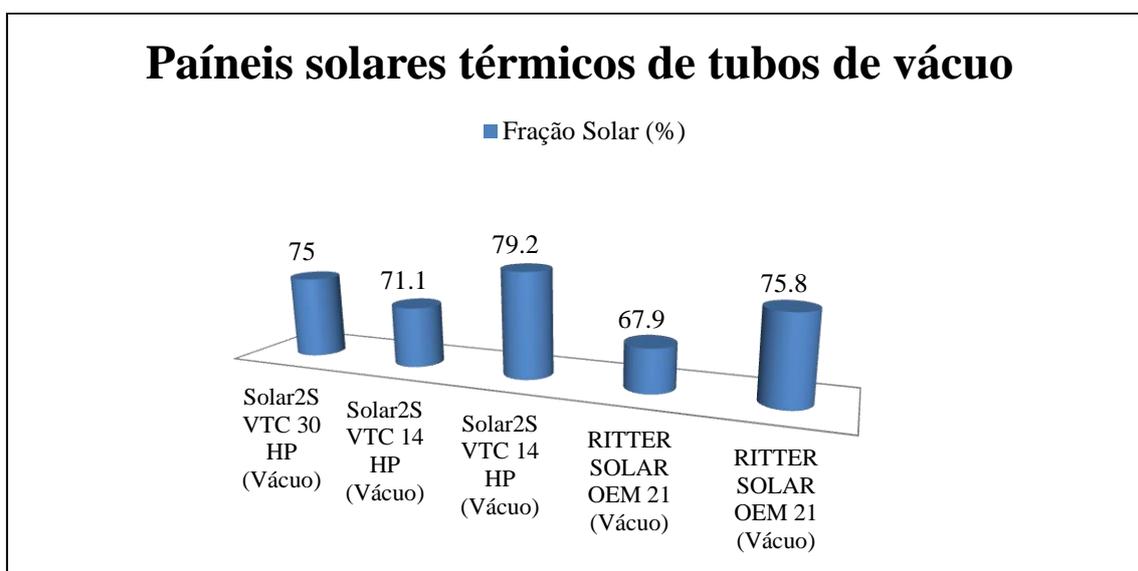


**Figura 9: Fração solar garantida pelos painéis solares térmicos em análise**

No caso de painéis solares térmicos de tubos de vácuo, como se constata na Tabela 7, a melhor opção seria o sistema Solar 2S VTC 14 HP, com área unitária de 1.31 m<sup>2</sup>, obtendo-se através da instalação de 4 painéis, uma área total de 5.2 m<sup>2</sup>. Este equipamento permite atingir fracções solares de 79.2%, conforme Figura 10. As restantes soluções analisadas apresentam rendimentos relativamente inferiores.

**Tabela 7: Tabela de selecção dos painéis solares térmicos de tubos de vácuo**

Painéis Solarés Térmicos: Tubos de Vácuo	N.º Colectores	Área Painel (m <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Inclinação	Rendimento global anual do sistema (%)	Produtividade (kWh/m <sup>2</sup> coletor)	Fornecido (kWh)	Carga (kWh)	Apoio (kWh)	Fracção Solar (%)	Ordem Eficiência "Só Vácuo"
Solar2S VTC 30 HP (Vácuo)	2	2.81	5.6	Horizontal	44	637	3577	4770	1194	75	3º
Solar2S VTC 14 HP (Vácuo)	3	1.31	3.9	Horizontal	53	863	3393	4770	1377	71.1	4º
Solar2S VTC 14 HP (Vácuo)	4	1.31	5.2	Horizontal	44	721	3778	4770	993	79.2	1º
RITTER SOLAR OEM 21 (Vácuo)	3	1.33	4	Horizontal	56	812	3240	4770	1531	67.9	5º
RITTER SOLAR OEM 21 (Vácuo)	4	1.33	5.3	Horizontal	47	680	3615	4770	1155	75.8	2º



**Figura 10: Percentagem de fracção solar garantida pelos painéis solares térmicos de tubos de vácuo**

### 3.2.2 Instalação solar térmica: conclusão

De acordo com o estudo anterior, pode concluir-se que a instalação de painéis solares térmicos de tubos de vácuo é mais interessante em termos energéticos, pois para um limite de 6 m<sup>2</sup> como área máxima disponível, conseguia-se, para este tipo de painéis, garantir cerca de 79.2 % da energia total necessária para AQS, instalando um sistema com 5.2 m<sup>2</sup>. Caso se opte pelos painéis solares térmicos planos, com 5.8 m<sup>2</sup> de área instalada consegue-se garantir apenas cerca de 65.3% da energia anual necessária para AQS. Ou seja, cabe ao projectista decidir se é mais importante o aspecto estético da cobertura ou o desempenho energético da habitação.

### 3.3 Autonomia energética da construção modular flutuante

A autonomia energética da construção modular flutuante é, sem dúvida, um requisito que deve ser analisado com todo o cuidado por parte da equipa de projectistas, uma vez que num projecto deste tipo, em que pode não existir alimentação energética através da rede pública, é necessário dar aos utilizadores garantias mínimas de autonomia energética. Além disso, a equipa de projectistas deve precaver a necessidade de armazenamento da quantidade compatível com a expectativa de uso do grupo gerador. Essa expectativa de uso está directamente ligada ao consumo energético médio diário da construção modular flutuante, já determinado no ponto 3.1, ao qual tem de se adicionar a energia necessária para apoio ao sistema solar térmico, calculado no ponto 3.2, e que também será suportado com energia eléctrica. Determinou-se, no ponto 3.1, um pico de potência de energia eléctrica de 7.43 kW para os meses frios, com um consumo médio esperado de 21.36 kWh/dia. Para os meses quentes, o pico de potência era 5.8 kW e o consumo médio de energia era na ordem dos 11.58 kWh/dia. Função destes resultados, conclui-se que o pico de potência dos meses frios obriga a que o gerador tenha uma potência mínima superior a 7.5 kW.

Ao consumo de energia eléctrica médio diário dos equipamentos deve adicionar-se a potência eléctrica necessária para apoio ao sistema de energia renovável das AQS. Na Tabela 8 encontra-se a energia mensal necessária para o funcionamento do sistema de

**Tabela 8: Balanço energético mensal e anual do sistema solar térmico**

Mês	Fornecido (kWh)	Carga (kWh)	Apoio (kWh)
Jan.	165	411	246
Fev.	198	385	188
Mar.	281	415	134
Abr.	336	380	44
Mai.	347	381	34
Jun.	351	357	6
Jul.	377	381	3
Ago.	390	392	3
Set.	357	402	45
Out.	283	415	132
Nov.	193	413	220
Dez.	156	438	282
Anual	3433	4770	1338

AQS durante cada um dos meses do ano. Analisando os valores médios diários para os meses quentes e frios obtém-se uma média mensal 22.5 kWh (0.75 kWh/dia) para os primeiros e de 200.3 kWh (6.67 kWh/dia) para os segundos.

Portanto, no total, os equipamentos e sistema de apoio às AQS apresentam, nos meses frios, um consumo médio diário de energia eléctrica igual a 28 kWh. Para os meses quentes este valor desce para os 12.33 kWh.

### **2.3.1 Balanço energético da energia eléctrica da habitação modular**

Durante a utilização, a habitação modular em estudo vai consumir energia eléctrica produzida pelos painéis solares fotovoltaicos que são apoiados por um gerador de energia eléctrica a gásóleo. Neste momento, já é possível realizar o balanço entre a percentagem de energia eléctrica produzida, via energia renovável e via energia fóssil, que se apresenta a seguir.

#### **3.3.1.1 Energia produzida anualmente via sistema fotovoltaico: localização no Gerês**

Durante um ano de funcionamento é espectável que o sistema de microgeração fotovoltaico produza 3350 kWh (simulação dinâmica apresentada na Figura 3).

#### **3.3.1.2 Consumo de energia da construção modular flutuante por ano de utilização**

O consumo energético anual da construção modular foi obtido considerando os consumos diários durante os meses de aquecimento (6 meses, aproximadamente 182.5 dias do ano) e de arrefecimento (6 meses, aproximadamente 182.5 dias). Assim sendo, temos um total dado por:  $28 \times 182.5 + 12.33 \times 182.5 = 7360.2$  kWh/ano.

#### **3.3.1.3 Balanço energético: energia eléctrica**

No que diz respeito à produção da energia eléctrica utilizada, conforme representado na Figura 11, temos as seguintes percentagens:

- Produção por via renovável: 3350 kWh → 45.5 %;
- Produção por via gerador de energia eléctrica: 4010.2 kWh → 54.5%.

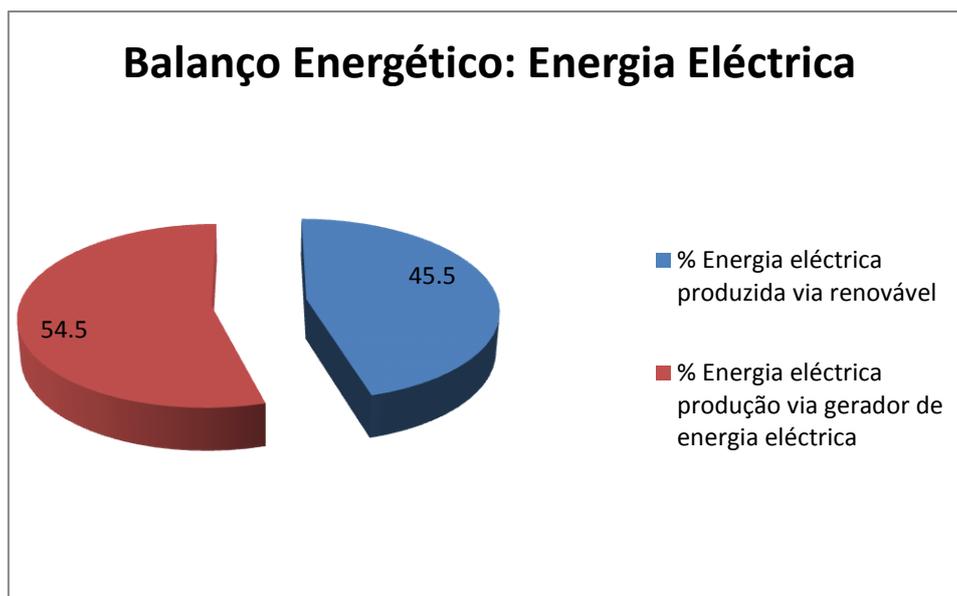


Figura 11: Balço energético - energia eléctrica

### 3.3.1.4 Cálculo do consumo de combustível do gerador por kWh energia eléctrica gerada

Um gerador de corrente eléctrica com combustível *diesel* comercial terá um rendimento entre os 36 e 41% [31], considerando que funciona em regime de carga acima de 70% da capacidade nominal do motor, logo para a realização deste estudo foi utilizado um rendimento médio de 36% . O despacho n.º 17313/2008 da Direcção-Geral de Energia e Geologia [32] fixa o Poder Calorífico Inferior do Gasóleo em 43 MJ/kg. Na Tabela 9, com base no valor referido, encontra-se o cálculo do consumo de gasóleo por cada kWh de energia eléctrica fornecida pelo gerador.

Tabela 9: Cálculo do consumo de combustível por kWh energia eléctrica

Densidade Gasóleo (kg/Litro)	PCI (MJ/kg)	PCI (kWh/kg)	Potência (kWh/litro)	Rendimento motor ( $\eta$ )	Energia produzida (kWh/litro)	Litros/kWh
0.835	43	11.94	9.97	0.36	3.59	0.279

### 3.3.1.5 Determinação do consumo médio diário de gasóleo

- Meses quentes

Na Tabela 10 encontra-se representado o cálculo do consumo médio diário de gasóleo para os meses quentes. Sabendo-se que o consumo médio diário de energia é de 12.33 kWh, e que para cada kWh de energia eléctrica produzida através do gerador é necessário 0.279 litros de gasóleo, é possível determinar o número de litros médio de

gasóleo necessários por cada dia em que o gerador tenha de assegurar o abastecimento de energia eléctrica da construção modular flutuante, que é igual a 3.44 litros/dia.

**Tabela 10: Consumo médio de gasóleo por dia: meses quentes**

Consumo médio diário de electricidade	Consumo médio diário de gasóleo
12.33 kWh	3.44 litros

- **Meses frios**

Na Tabela 11 encontra-se representado o cálculo do consumo médio diário de gasóleo para os meses frios. Sabendo-se que o consumo médio diário de energia é de 28 kWh, e cada kWh de energia eléctrica produzida requer 0.279 litros de gasóleo, é possível determinar o número médio necessário de litros de gasóleo por cada dia em que o gerador tenha de assegurar o abastecimento de energia eléctrica da construção modular flutuante. Esse número é igual a 7.8 litros/dia.

**Tabela 11: Consumo médio de gasóleo por dia: meses frios**

Consumo médio diário de electricidade	Consumo médio diário de gasóleo
28 kWh	7.8 litros

### **3.3.1.6 Simulação de autonomia para diferentes capacidades do depósito de gasóleo: situação hipotética de fornecimento de energia eléctrica usando apenas o gerador a gasóleo**

Na Tabela 12 encontra-se representada a autonomia que se obteria se o consumo médio diário fosse 3.44 e 7.8 litros, respectivamente para os meses quentes e frios. Verifica-se que, para o cenário de apenas existir o gerador a gasóleo, para uma autonomia de 1 mês nos meses frios (pior situação), seria necessário um depósito de gasóleo com uma capacidade de armazenamento de 240 litros, o que seria problemático, uma vez que o espaço disponível é reduzido, bem como o peso que iria trazer para a plataforma flutuante.

**Tabela 12: Autonomia energética da habitação modular flutuante, para os meses quentes e frios, tendo em conta diferentes capacidades de armazenamento de gasóleo**

<b>Capacidade do depósito (litros)</b>	<b>Autonomia média meses frios (dias)</b>	<b>Autonomia média meses quentes (dias)</b>
100	13	29
110	14	32
120	15	35
130	17	38
140	18	41
150	19	44
160	21	47
170	22	49
180	23	52
190	24	55
200	26	58
210	27	61
220	28	64
230	29	67
240	31	70

### **3.3.1.7 Determinação da autonomia energética média anual da construção modular flutuante**

Para obtenção do consumo médio anual de gasóleo (vd. Tabela 13), considerou-se apenas a energia eléctrica média anual produzida pelo gerador a gasóleo, que é igual a 4010.2 kWh. Note-se que dos 7360.225 kWh estimados como o consumo de energia eléctrica anual, 3350 kWh são produzidos via painéis solares fotovoltaicos.

Considerando que o ano tem 365 dias, obtém-se um consumo médio diário de 3.061 litros por dia (vd. Tabela 14).

**Tabela 13: Determinação do consumo médio anual de gasóleo**

<b>Consumo médio anual de electricidade produzida via gerador</b>	<b>Consumo médio anual de gasóleo</b>
4010.2 kWh	1117.31 Litros

**Tabela 14: Determinação do consumo médio diário**

<b>Consumo de gasóleo anual</b>	<b>Dias/ano</b>	<b>Média diária</b>
1117.31	365	3.061

Para um consumo médio diário de 3.061 litros, é possível obter uma autonomia de 1 mês com um depósito a rondar os 100 litros de gasóleo, volume esse que parece adequado para um projecto deste tipo (vd. Tabela 15).

**Tabela 15: Autonomia média da construção modular flutuante, para diferentes capacidades de acumulação de gasóleo**

Capacidade (litros)	Autonomia média (dias)
50	16
60	20
70	23
80	26
90	29
100	33
110	36
120	39

### **3.4 Opções de energia eléctrica**

Depois da análise realizada nos pontos anteriores para determinação dos consumos previsíveis de energia eléctrica e dos meios necessários para a sua obtenção, importa agora analisar as opções de energia eléctrica disponíveis para as especificações deste projecto, que podem ter implicações na selecção do tipo de equipamentos utilizados na habitação ou mesmo no tipo de iluminação. Nesse sentido, foi realizada uma análise às várias alternativas e suas implicações no projecto.

#### **3.4.1 Corrente alternada**

##### **Opção 1: Trifásica**

Nesta opção dificilmente se conseguem obter as três fases totalmente equilibradas, ou seja, debitando a qualquer momento a mesma intensidade de corrente, pelo que pode não se conseguir absorver a potência total disponível por via fotovoltaica. Por outro lado é necessário instalar um inversor mestre e outros dois escravos, de maneira a se obter um desfasamento sequencial de 120° entre fases. Este tipo de sistema é uma opção mais cara.

São também necessários 3 blocos de baterias iguais e independentes, implicando um n.º ímpar de painéis e três reguladores de carga, o que vai honrar a instalação. Na verdade, a energia trifásica apenas poderia ser necessária para o motor da bomba de calor (são de

corrente trifásica na sua esmagadora maioria), o que poderia ser ultrapassado utilizando um motor monofásico equipado com condensador.

### **Opção 2: Monofásica**

Esta opção permite um único grupo fotovoltaico, um único inversor, um único regulador de cargas de baterias e um só grupo de baterias. Trata-se, portanto, de uma instalação mais simplificada, de menor custo e na qual se pode absorver em qualquer momento a potência gerada.

#### **3.4.2 Corrente contínua**

Como obrigatoriamente tem de se ter um sistema de corrente contínua na instalação, pois é a única via possível de geração de electricidade fotovoltaica, se os equipamentos consumidores da energia eléctrica forem compatíveis com esta solução, evita-se a instalação do inversor, pelo que o sistema fica mais simplificado. Para tal, o motor da bomba de calor terá de ser de corrente contínua (muito mais dispendioso do que o equivalente em corrente alternada), assim como todos os motores das máquinas. Na situação de absorção de energia por efeito de joule não há qualquer dificuldade, podendo-se optar por lâmpadas Led de 24 V que adicionalmente é uma tensão de segurança, adequada numa construção modular flutuante com alto grau de humidade.

**CAPÍTULO 4**  
**MODELO DO EDIFÍCIO E CRITÉRIOS DE SIMULAÇÃO**

## **4. Modelo do edifício e critérios de simulação**

### **4.1 Geometria e envolvente**

#### **4.1.1 Descrição do modelo geométrico (hipóteses e simplificações)**

A construção será muito simples, tendo uma geometria paralelepípedica, com 11 m de comprimento, 4 m de largura e um pé direito de 2,4 m. No total, 3 divisões, um quarto, uma casa de banho e uma sala com *kitchenette*. É constituída por dois tipos de envolvente, opaca e transparente. Dos 30 m de perímetro da habitação, cerca de 22 m são de envidraçado, logo considera-se que a habitação terá uma taxa de infiltração de ar novo superior a 0,6 ren/h, tendo-se por este facto usado na simulação um valor de 1 ren/h por se considerar mais realista.

#### **4.1.2 Dados climáticos e pressupostos assumidos**

Pretende-se estudar o desempenho energético da construção modular flutuante em locais distintos, tendo sido seleccionados locais com características adequadas para receber este tipo de instalações, concretamente em Portugal (para as zonas de Bragança, Coimbra, Lisboa, Évora e Faro) e em alguns locais distintos da Europa (concretamente em França, Itália, Holanda e Grécia). Para a realização das simulações dinâmicas foram utilizados ficheiros climáticos em formato compatível com o EnergyPlus.

#### **4.1.3 Tipo de construção**

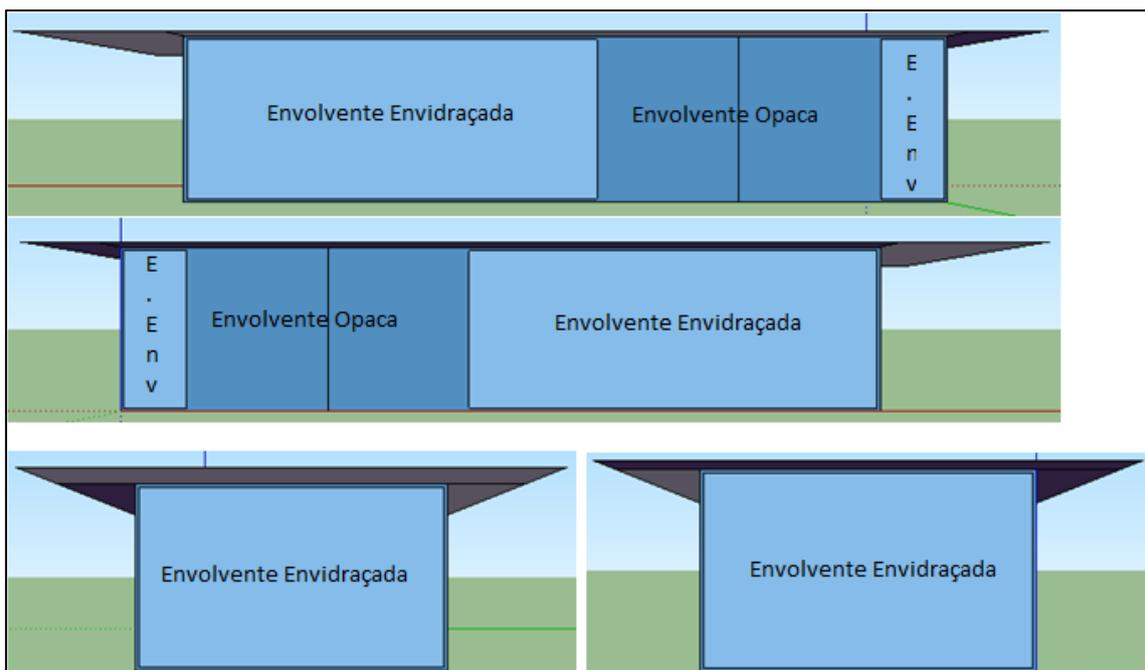
Através do EnergyPlus pretende-se testar o desempenho energético da construção modular flutuante para as envolventes seleccionadas pelo projectista. As envolventes consideradas assumem diferentes proporções entre áreas envidraçadas e opacas, conforme representado na Figura 12.

#### **4.1.4 Valores da transmitância térmica (U)**

Nos pontos seguintes são apresentados os valores de U para os diversos tipos de materiais usados na construção, nomeadamente para as paredes exteriores, paredes interiores, cobertura exterior e piso exterior.

##### **- Paredes exteriores**

A solução projectada é constituída por duas placas de contraplacado de alta densidade, uma pelo interior e outra pelo exterior, com 0.01 m de espessura, tendo no meio isolamento térmico em aglomerado negro de cortiça com 0.08 m de espessura.



**Figura 12: Alçados da habitação modular**

**Envolvente envidraçada:** A envolvente envidraçada é toda ela exterior, sendo em alumínio e vidro duplo de 8 mm com caixa-de-ar de 14 mm. Na Tabela 16 estão representadas, em detalhe, as características consideradas na simulação para cada uma das 6 áreas envidraçadas especificadas na Figura 12, bem como os respectivos valores da variável U.

**Tabela 16: Alçados da habitação modular flutuante**

Ref.	Construction	Glass Area [m <sup>2</sup> ]	Frame Area [m <sup>2</sup> ]	Glass U-Factor [W/m <sup>2</sup> ·K]	Glass SHGC	Glass Visible Transmittance	Frame Conductance [W/m <sup>2</sup> ·K]	Shade Control	Parent Surface
44AD93	EXTERIOR WINDOW	8.97	0.38	1.335	0.485	0.709	1.74	Yes	PAREDE JANELA FRONTAL
FDDB9F	EXTERIOR WINDOW	2.07	0.2	1.335	0.485	0.709	1.74	Yes	F06A05
74DFF8	EXTERIOR WINDOW	2.07	0.2	1.335	0.485	0.709	1.74	Yes	76F347
FC3760	EXTERIOR WINDOW	8.97	0.38	1.335	0.485	0.709	1.74	Yes	EA58C2
BOE02D	EXTERIOR WINDOW	13.57	0.5	1.335	0.485	0.709	1.74	Yes	529118
D156A1	EXTERIOR WINDOW	13.57	0.5	1.335	0.485	0.709	1.74	Yes	D63701

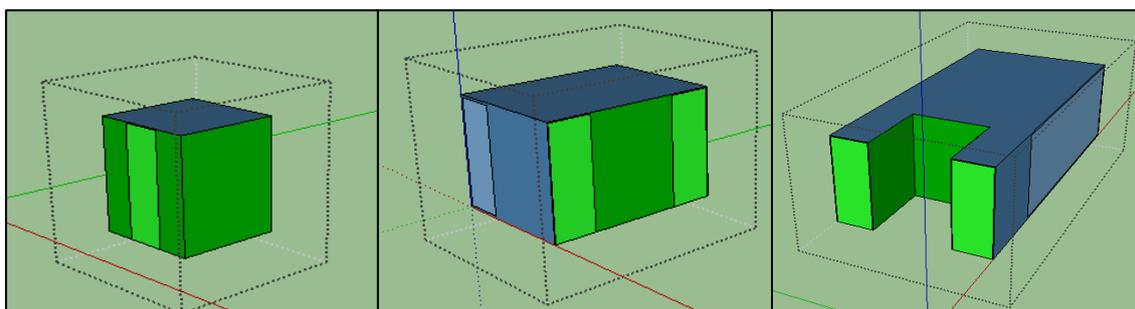
**Envolvente opaca:** O valor de U (W/m<sup>2</sup>·K) das envoltentes opacas está dependente das características térmicas dos vários materiais que a compõem e suas respectivas espessuras. Na tabela seguinte estão indicados os valores considerados neste trabalho.

**Tabela 17: Envolvente opaca da habitação modular**

	Construction	Reflectance	U-Factor with Film [W/m2-K]	U-Factor no Film [W/m2-K]	Gross Area [m2]
<b>PAREDE JANELA FRONTAL</b>	EXTERIOR WALL	0.3	0.546	0.594	9.6
<b>F06A05</b>	EXTERIOR WALL	0.3	0.546	0.594	7.2
<b>76F347</b>	EXTERIOR WALL	0.3	0.546	0.594	7.2
<b>PISO-FLUTUADORES</b>	EXTERIOR FLOOR	0.3	0.045	0.046	12
<b>39818F</b>	EXTERIOR ROOF	1	0.286	0.302	12
<b>283F87</b>	EXTERIOR FLOOR	0.3	0.045	0.046	4
<b>AB402E</b>	EXTERIOR ROOF	1	0.286	0.302	4
<b>EA58C2</b>	EXTERIOR WALL	0.3	0.546	0.594	9.6
<b>529118</b>	EXTERIOR WALL	0.3	0.546	0.594	19.2
<b>D63701</b>	EXTERIOR WALL	0.3	0.546	0.594	19.2
<b>B5EC29</b>	EXTERIOR FLOOR	0.3	0.045	0.046	28
<b>1022EA</b>	EXTERIOR ROOF	1	0.286	0.302	28

### - Paredes interiores

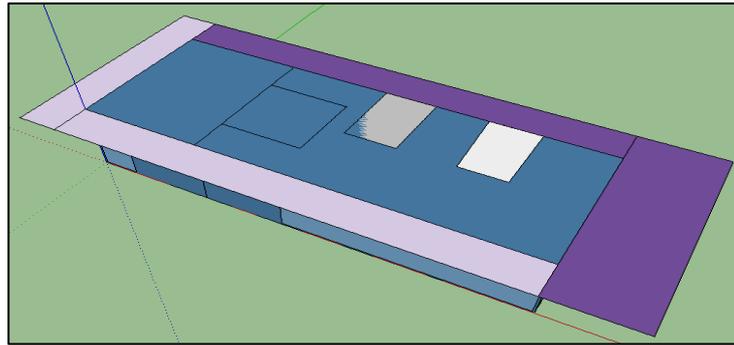
As paredes interiores são constituídas por placas de contraplacado de baixa densidade pelo interior e pelo exterior, com 0.01 m de espessura, tendo no interior isolamento térmico em aglomerado negro de cortiça com 0.08 m de espessura. Uma vez que as três zonas que compõem a habitação (Figura 13) têm sistema de climatização, a análise à qualidade da envolvente interior não tem impacto no comportamento térmico da “construção modular flutuante”.



**Figura 13: Envolvente interior da habitação modular: casa de banho, quarto e sala/cozinha (cor verde escuro)**

### - Cobertura exterior

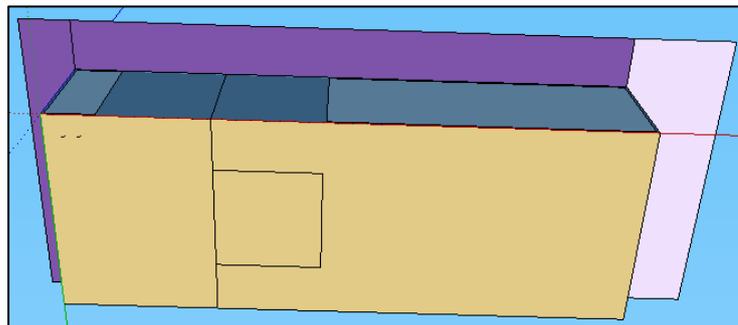
A parte superior, representada esquematicamente na Figura 14, é constituída por madeira densa tipo deque, de 0.02 m de espessura, aplicada sobre chapa fina de zinco. De notar que o deque é aplicado com espaçamento entre tábuas, logo não serve de protecção térmica à cobertura. A primeira barreira térmica à cobertura é uma camada de aglomerado negro de cortiça com 0.08 m, seguido do isolamento do tecto radiante em poliuretano rígido com 0.05 m de espessura, tendo como acabamento interior uma placa de madeira semi-densa com 0.02 m de espessura.



**Figura 14: Cobertura exterior e palas de protecção solar**

#### **- Piso exterior**

A parte inferior do piso exterior (Figura 15) é constituída por polietileno de alta densidade com 0.02 m de espessura (material dos flutuadores). Esses flutuadores estão cheios de espuma de polietileno expandido com 1 m de espessura. Na parte superior dos flutuadores está aplicado contraplacado de alta densidade com 0.01 m de espessura, onde é instalado o isolamento do piso radiante que é em poliuretano rígido de 0.08 m de espessura e acabamento interior em madeira semi-densa com 0.02 m de espessura.



**Figura 15: Piso exterior**

#### **4.1.5 Envolventes envidraçadas: protecções solares móveis**

Dos 30 m de perímetro da habitação, cerca de 22 m são de envidraçado, sendo apenas cerca de 8 m de envolvente opaca, logo é necessário ter algum cuidado na selecção do tipo de vidro e das protecções solares a aplicar. Os envidraçados instalados nesta habitação são constituídos por vidro duplo incolor com 8 mm de espessura e com uma caixa-de-ar de 14 mm. Os aros são em alumínio. Como protecção foi aplicado um *blackout* interior de elevada reflexão e baixa transmissibilidade. Considera-se que as cortinas são controladas pelos utilizadores da casa do seguinte modo:

- **Entre Maio e Setembro:** Considera-se que as cortinas estão fechadas durante o horário diurno de modo a impedir a entrada da radiação solar e assim impedir o aquecimento da casa;

- **Entre Setembro e Abril:** Considera-se que as cortinas estão abertas para maximizar os ganhos solares e assim diminuir as necessidades de aquecimento.

Para este controlo foi criado um Schedule Day Hourly e um Schedule Week Daily Hourly “Shading Verão” e “Shading Inverno” e um Schedule Year chamado “Shading” composto pelos dois anteriores (vd. Tabela 18).

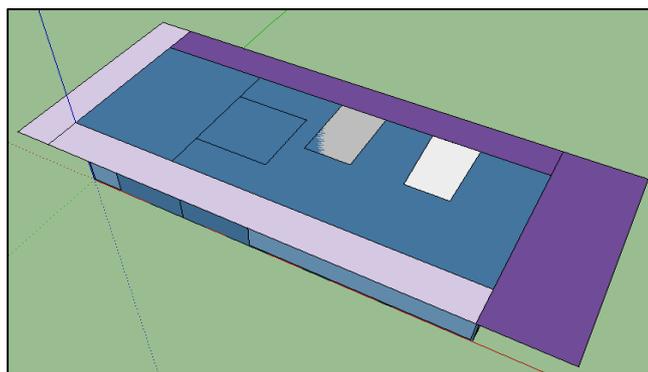
**Tabela 18: Caracterização da protecção da envolvente transparente da habitação modular**

	Name	Type	Shaded Construction	Control	Glare Control
<b>44AD93</b>	CORTINA INTERIOR	Interior Shade	EXTERIOR WINDOW WITH SHADING	OnIfScheduleAllows	No
<b>FDD89F</b>	CORTINA INTERIOR	Interior Shade	EXTERIOR WINDOW WITH SHADING	OnIfScheduleAllows	No
<b>74DFF8</b>	CORTINA INTERIOR	Interior Shade	EXTERIOR WINDOW WITH SHADING	OnIfScheduleAllows	No
<b>FC3760</b>	CORTINA INTERIOR	Interior Shade	EXTERIOR WINDOW WITH SHADING	OnIfScheduleAllows	No
<b>B0E02D</b>	CORTINA INTERIOR	Interior Shade	EXTERIOR WINDOW WITH SHADING	OnIfScheduleAllows	No
<b>D156A1</b>	CORTINA INTERIOR	Interior Shade	EXTERIOR WINDOW WITH SHADING	OnIfScheduleAllows	No

#### 4.1.6 Elementos de sombreamento

A habitação tem palas de sombreamento (Figura 16) sobre os envidraçados em todo o seu perímetro, uma vez que a habitação funciona como um barco, logo qualquer uma das envolventes pode receber radiação solar directamente.

As palas têm 2 metros de comprimento no topo, correspondente ao lado da sala de estar, e cerca de 1 metro no restante perímetro da construção modular flutuante.



**Figura 16: Elementos de sombreamento**

## 4.2 Modelo do edifício e critérios de simulação

### 4.2.1 Ocupação (densidade e perfis)

A ocupação prevista é de uma família com 4 pessoas. Foi criado um horário de ocupação por cada uma das 3 zonas, onde se pretende caracterizar a ocupação da habitação durante todos os dias. Considera-se que o perfil de utilização da habitação é semelhante em todos os dias da semana e que a casa tem ocupação durante todo o ano. Os valores médios e nominais de utilização para cada um dos espaços da casa estão indicados na Tabela 19.

**Tabela 19: Número de ocupantes da habitação modular (por zona)**

Divisão	Average number of occupants	Nominal number of occupants
Quarto	2	2
Casa de banho	1	1
Sala/Cozinha	2.15	4

Considera-se que o quarto tem um perfil nominal de ocupação máximo de 2 ocupantes, a casa de banho de 1 ocupante e a sala/cozinha de 4 ocupantes.

### 4.2.2 Iluminação (densidade e perfis)

A densidade de iluminação é bastante reduzida, estando prevista a aplicação de iluminação do tipo Led, com potência total instalada de cerca de 50 W, como se pode verificar na Tabela 20.

**Tabela 20: Iluminação interior da habitação modular**

Equipamento	Potência (W)	Tempo (h)	kWh/dia
Iluminação LED	50	6	0,3

Na Tabela 21 encontra-se representada a densidade de iluminação por divisão, bem como os horários correspondentes que definem na simulação dinâmica a ocupação diária de cada um dos espaços.

**Tabela 21: Densidade de iluminação por divisão e horários correspondentes**

Zone	Lighting Power Density [W/m <sup>2</sup> ]	Zone Area [m <sup>2</sup> ]	Total Power [W]	End Use Subcategory	Schedule Name	Scheduled Hours/Week [hr]	Hours/Week > 1% [hr]	Full Load Hours/Week [hr]	Consumption [GJ]
QUARTO	1.6667	12	20	General	ILUMINAÇÃO LED QUARTO	21	21	21	0.08
CASA DE BANHO	2.5	4	10	General	OCUPAÇÃO CASA BANHO	42	42	42	0.08
SALA-COZINHA	0.7143	28	20	General	ILUMINAÇÃO LED SALA-COZINHA	42	42	42	0.16

### 4.2.3 Equipamentos (densidade e perfis)

Na Tabela 22 estão enumerados todos os equipamentos instalados na habitação, bem como o tempo previsível de utilização diária de cada um deles. Nessa situação verifica-se que a potência total instalada é de 5900 W.

**Tabela 22: Densidade e perfis por equipamentos**

Posição	Equipamento	Potência (W)	Tempo (h)
1	Placa de fogão eléctrica	2000	2
2	Forno eléctrico	2000	1
3	Micro-ondas	800	0.75
4	Televisão	100	7
5	Máquina de lavar louça	800	1
6	Iluminação LED	50	6
7	Hidropressor	700	2
8	Bomba de calor	1630	Disponível
9	Bomba de circulação do aquecimento central	200	Disponível
10	Frigorífico	100	3
11	Exaustor	100	2

Na Tabela 23 representa-se a distribuição temporal dos consumos diários de energia eléctrica durante as 24h do dia.

**Tabela 23: Distribuição temporal dos consumos diários de energia eléctrica**

Equipamento	Potencia (W)	Tempo (h)	Horas do dia																												
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23					
Placa de Fogão Eléctrica	2000	2												1												1					
Forno Eléctrico	2000	1												0.5													0.5				
Micro-Ondas	800	0.75									0.25			0.25													0.3				
Televisão	100	7	1																							1	1	1	1	1	
MLL	800	1																										1			
Iluminação LED	50	6	1																								1	1	1	1	1
Hidropressor	500	2									0.5			0.5												0.5				0.5	
Bomba de Calor	1630	-	Disponível																												
Bomba de circulação A.Central	100	-	Disponível																												
Frigorífico	100	3	1																								1				
Exaustor	100	2													1													1			

### 4.2.4 Ventilação e infiltração de ar

Esta habitação não está equipada com ventilação forçada, logo considera-se como ventilação apenas o resultante das infiltrações provenientes de ventilação natural. No entanto, tendo em conta que a envolvente é apenas de dois tipos, opaca e transparente, onde dos 30 m de perímetro da habitação, cerca de 22 m são de envidraçado, será mais realista considerar que a habitação terá uma taxa de infiltração de ar novo superior aos 0.6 ren/h, tendo-se por este fato considerado na simulação um valor de 1 ren/h.

## 4.3 Resultados da simulação e discussão de resultados

### 4.3.1 Análise energética em Portugal

Foi analisado o desempenho energético da construção modular flutuante em várias localidades de norte a sul de Portugal, concretamente em Bragança, Coimbra, Lisboa, Évora e Faro. Foi definido que a temperatura interior deveria encontrar-se entre os 20 e os 25°C, sendo o limite de 25°C considerado durante os meses com necessidades de refrigeração e de 20°C durante os meses com necessidades de aquecimento. Impôs-se que entre os 20 e os 25°C não seria accionado qualquer sistema de condicionamento de ar interior.

### 4.3.2 Potência final de climatização, equipamentos e iluminação: Portugal

Analisando os resultados apresentados na Tabela 24, conclui-se que para os 5 locais estudados em Portugal, a potência máxima necessária para refrigeração é de 5217.83 W obtida no dia 16 de Julho, para a zona de Lisboa. Quanto ao aquecimento, a potência máxima necessária é de 2787.83 W, para a zona de Bragança, obtida no dia 19 de Janeiro. Um dado interessante que importa referir, é o facto de para as 5 zonas analisadas, o local que apresenta necessidade mínima de refrigeração é o que apresenta necessidade máxima de aquecimento, concretamente Bragança. No outro extremo encontra-se a cidade de Lisboa, apresentando maior necessidade de refrigeração e menor necessidade de aquecimento (vd. Figura 17).

**Tabela 24: Potência final de climatização, equipamentos e iluminação: Portugal**

Local	Portugal				
	Bragança	Coimbra	Lisboa	Evora	Faro
Aquecimento (W)	2787.83	2231.44	1466.79	1876.54	1694.35
Refrigeração (W)	3550.9	4345.01	5217.83	4532.47	4697.97
Iluminação interior (W)	20	20	20	20	20
Equipamentos (W)	2650	2650	2650	2650	2650
Horário de pico de energia eléctrica	01-JAN-18:10	01-JAN-18:10	01-JAN-18:10	01-JAN-18:10	01-JAN-18:10
Horário de pico de refrigeração	02-NOV-11:00	08-OCT-11:00	16-JUL-05:30	18-SEP-11:00	08-OCT-11:00
Horário de pico de aquecimento	19-JAN-06:10	02-MAR-06:10	31-JAN-06:00	31-JAN-06:10	19-FEB-06:00

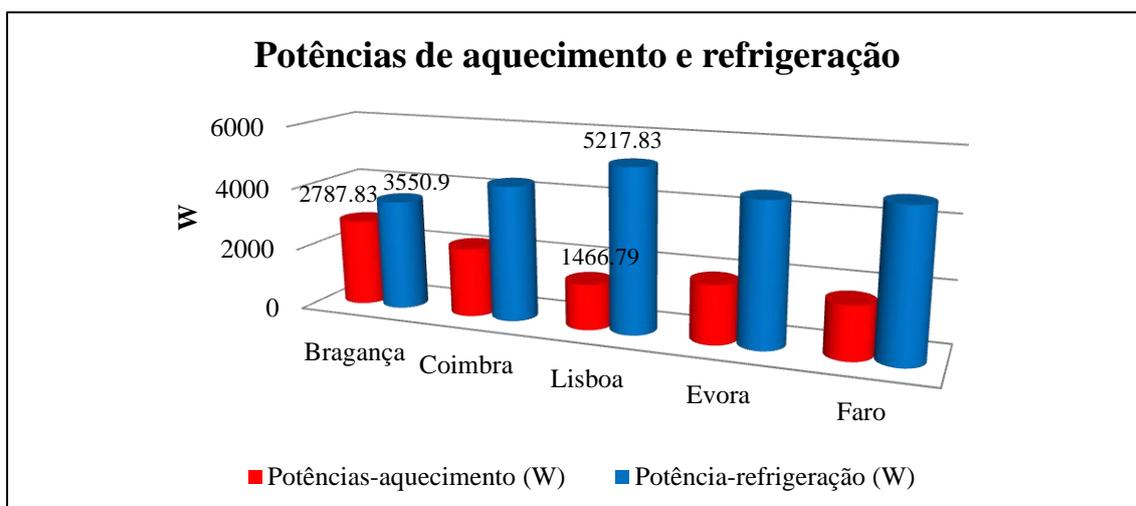


Figura 17: Potências de aquecimento e refrigeração: Portugal

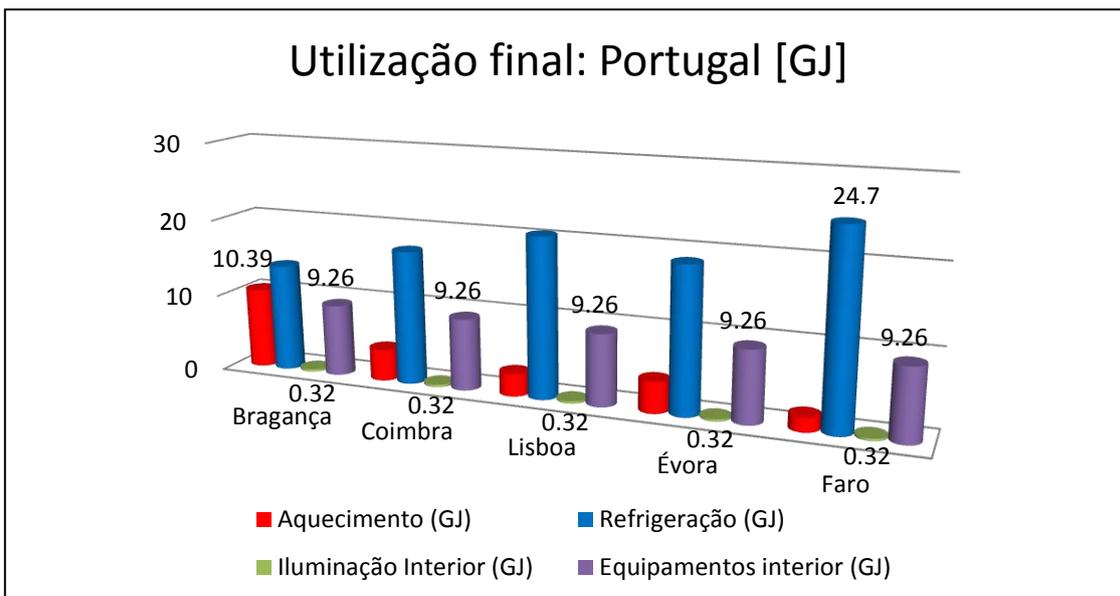
### 4.3.3 Energia final: Portugal

Na Tabela 25 encontra-se discriminado, para cada uma das 5 localizações em estudo, o consumo anual de energia para os 4 grandes consumidores de energia da habitação, concretamente, a iluminação interior, o aquecimento, a refrigeração e equipamentos.

Verifica-se que os consumos anuais da iluminação e dos equipamentos para os perfis de utilização pré-definidos são respectivamente 0.32 GJ e 9.26 GJ. Faro com um valor de 24.7 GJ é o local estudado com valor mais alto relativamente à energia consumida para refrigeração, sendo Bragança o local com maior consumo de energia para aquecimento, com 10.39 GJ. Importa referir que apesar de Lisboa ter o pico de potência para refrigeração, a localidade que apresenta maiores necessidades anuais de consumo de energia para refrigeração é Faro. Já no caso das necessidades de aquecimento, Bragança apresenta o pico de potência bem como maior consumo energético anual (vd. Figura 18).

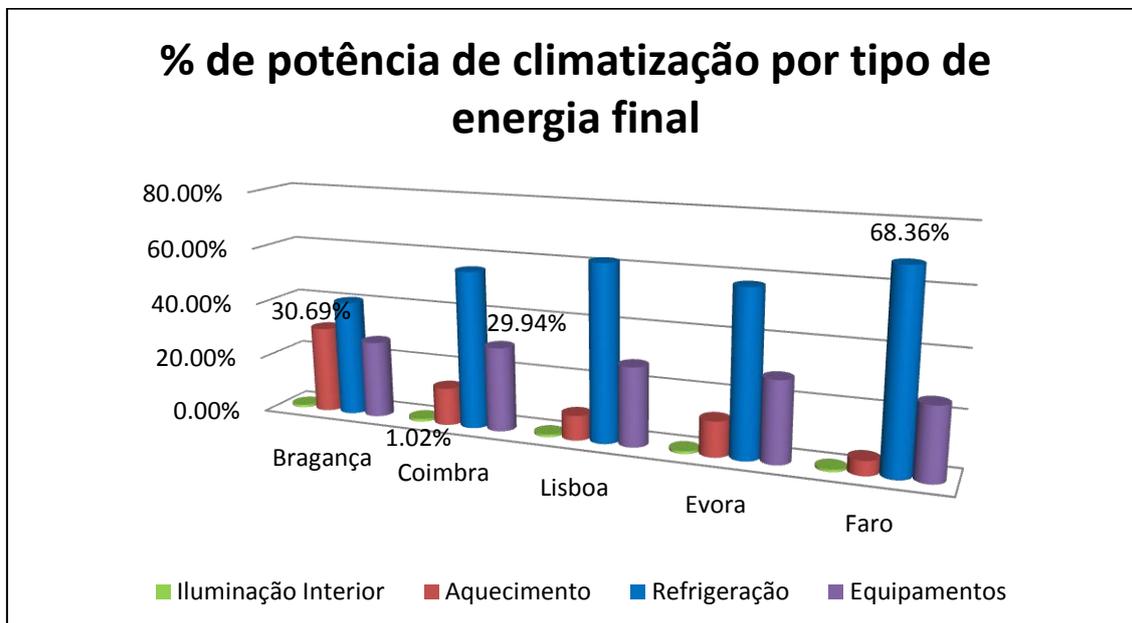
Tabela 25: Energia consumida em aquecimento, arrefecimento, iluminação interior e equipamentos: Portugal

	Local				
	Bragança	Coimbra	Lisboa	Evora	Faro
Aquecimento (GJ)	10.39	4.11	2.92	4.04	1.85
Refrigeração (GJ)	13.89	17.25	20.56	18.69	24.7
Iluminação interior (GJ)	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
Equipamentos (GJ)	9.26	9.26	9.26	9.26	9.26



**Figura 18: Energia consumida em aquecimento, arrefecimento, iluminação interior e equipamentos: Portugal**

No gráfico da figura 19 encontram-se as percentagens de cada um dos 4 grandes consumidores de energia da habitação, concretamente, a iluminação interior, o aquecimento, a refrigeração e equipamentos para as localizações em estudo.



**Figura 19: % de Energia consumida em aquecimento, arrefecimento, iluminação interior e equipamentos: Portugal**

Verifica-se que é Coimbra a zona do país onde a iluminação tem mais peso, atingindo 1,024 % da energia final consumida. O aquecimento atinge cerca de 30.69 % da energia total consumida em Bragança. No que diz respeito à componente de refrigeração, esta

tem maior peso em Faro, atingindo cerca de 68.36% da energia total consumida na construção modular flutuante. Quanto aos equipamentos, obtém-se um maior peso nos consumos totais de energia para Coimbra, onde este atinge cerca de 29.4% da energia total consumida na habitação.

Nas Figuras 20 a 22 podem-se analisar, mais pormenorizadamente, para cada uma das 5 localizações, os pesos de cada uma das 4 principais energias finais consumidas.

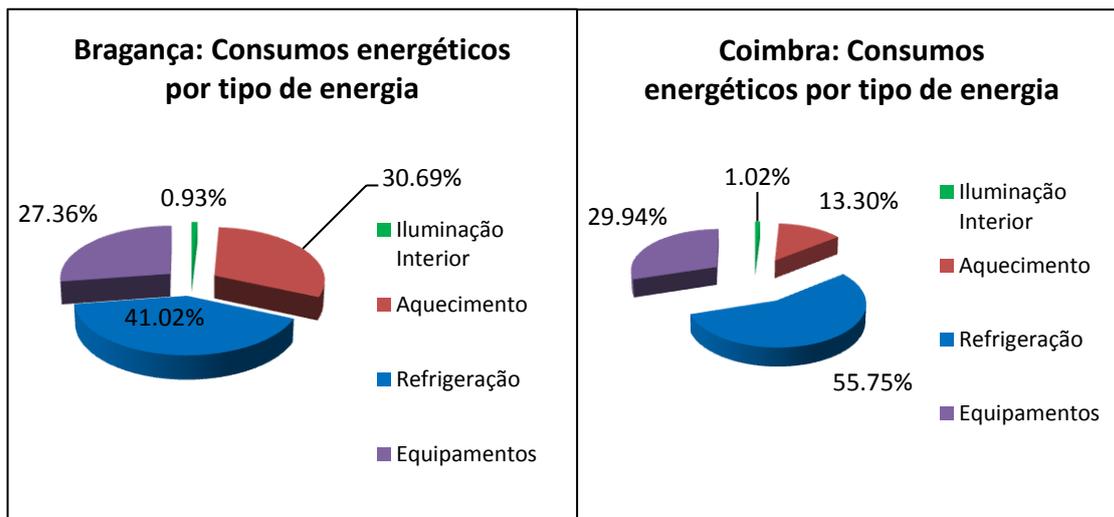


Figura 20: Consumo energético por tipo de energia, respectivamente para Bragança e Coimbra

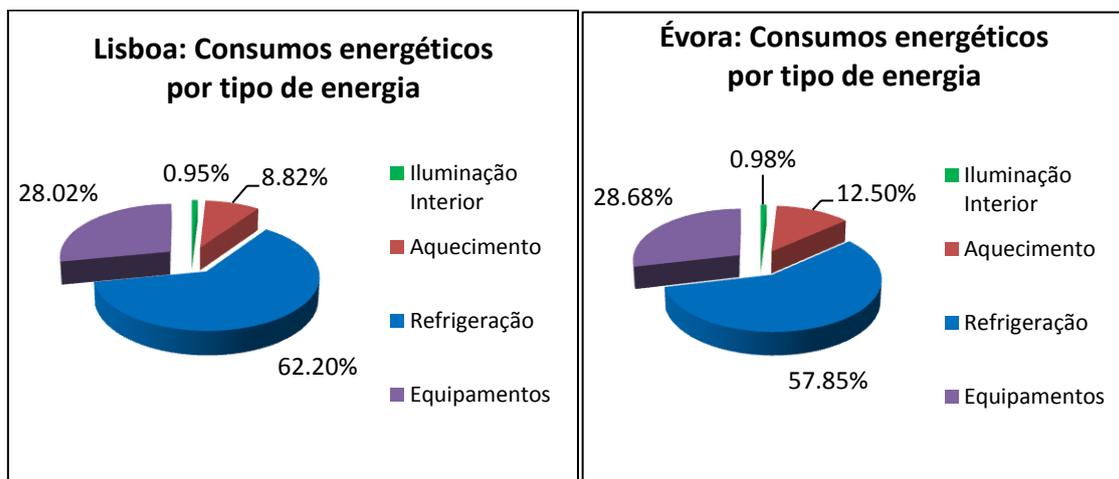
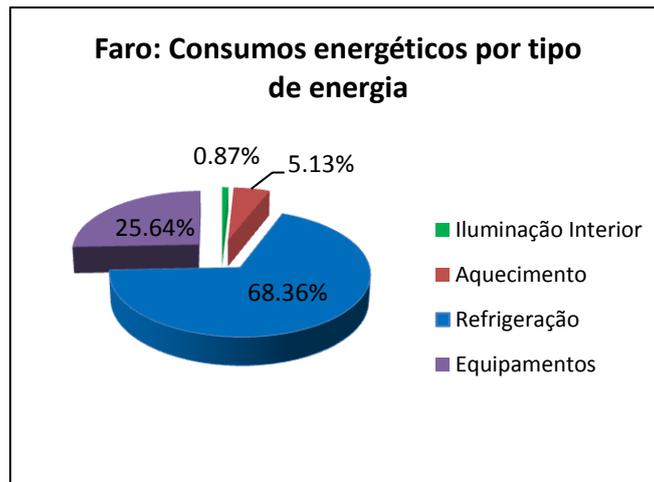


Figura 21: Consumo energético por tipo de energia, respectivamente para Lisboa e Évora



**Figura 22: Consumo energético por tipo de energia para Faro**

#### **4.3.4 Consumo de energia na construção modular, por divisão: Portugal**

Depois de analisados os parâmetros responsáveis pelos maiores consumos de energia da construção modular flutuante, foi também analisado o desempenho de cada uma das suas três divisões para as zonas de Portugal seleccionadas neste estudo. A partir destas simulações foram obtidos os consumos energéticos anuais de aquecimento e refrigeração do sistema AVAC para cada uma das divisões bem como as potências dos sistemas AVAC para as componentes de aquecimento e refrigeração. Além disso, foram ainda analisados os ganhos e as perdas energéticas das envolventes envidraçadas e opacas bem como os dias do ano em que se atingem os picos de potência para aquecimento e refrigeração. A partir das simulações referidas foram efectuados gráficos com os balanços energéticos anuais e as potências das componentes sensíveis de aquecimento e refrigeração para as 5 localidades em estudo. Estes gráficos são apresentados de forma sistemática no Anexo I.

#### **4.4 Análise energética em alguns locais da Europa**

Foi analisado o desempenho energético da construção modular flutuante em várias localizações da Europa, nomeadamente em França, Holanda, Itália e Grécia. Estas simulações foram realizadas considerando os mesmos pressupostos de conforto definidos para Portugal. De igual modo, assumiu-se como requisito de conforto interior que o sistema AVAC deveria garantir temperaturas entre os 20 e 25°C. Na Tabela 26

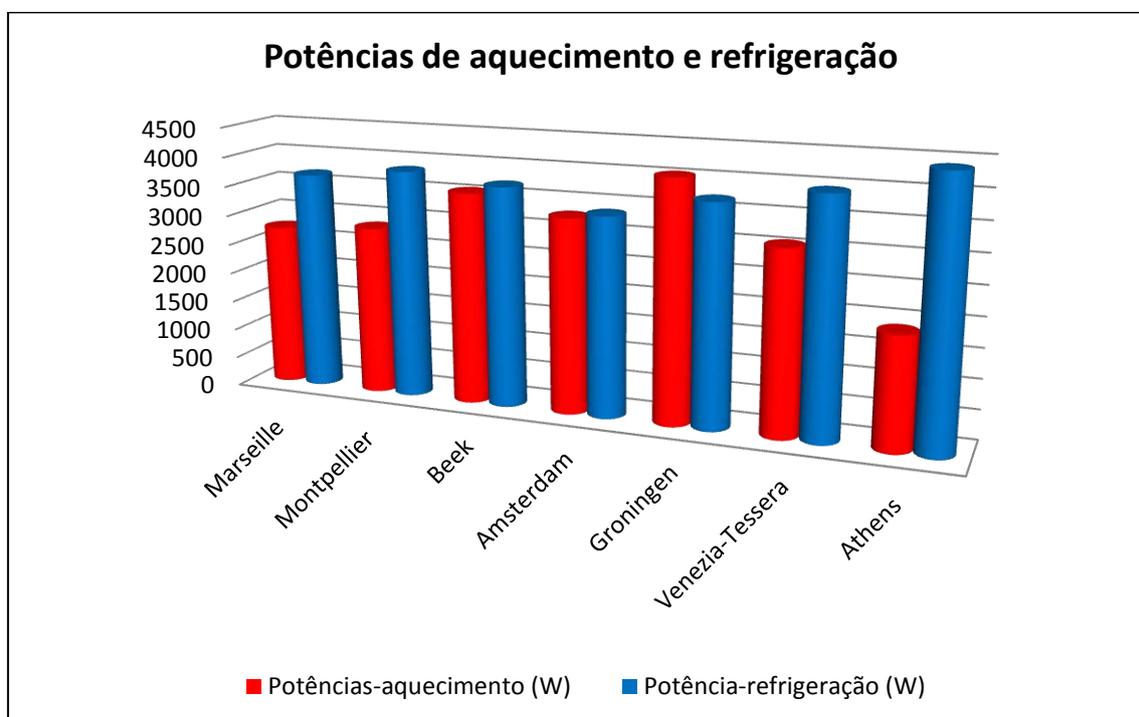
estão representadas as potências finais dos equipamentos e de iluminação consideradas nas simulações dinâmicas para os vários países da Europa estudados.

**Tabela 26: Potência final dos equipamentos e iluminação**

Local	França		Holanda			Italia	Grécia
	Marseille	Montpellier	Beek	Amsterdam	Groningen	Venez-Tessera	Athens
Aquecimento (W)	2739.72	2851.31	3565.66	3285.58	4047.51	3081.02	1894.2
Refrigeração (W)	3689.65	3853.85	3713.09	3362.04	3709.74	3957.55	4407.56
Iluminação interior (W)	20	20	20	20	20	20	20
Equipamentos (W)	2650	2650	2650	2650	2650	2650	2650
Horário de pico de energia eléctrica	01-JAN-18:10	01-JAN-18:10	01-JAN-18:10	01-JAN-18:10	01-JAN-18:10	01-JAN-18:10	01-JAN-18:10
Horário de pico de refrigeração	19-SEP-11:00	15-AUG-11:00	04-AUG-11:00	07-JUN-11:09	04-AUG-11:00	03-AUG-11:09	10-OCT-11:00
Horário de pico de aquecimento	22-JAN-06:00	31-DEC-06:00	13-FEB-06:00	14-FEB-06:00	13-FEB-06:10	30-JAN-04:00	26-DEC-06:00

#### 4.4.1 Potências aquecimento/refrigeração: Europa

Analisando os resultados apresentados na Tabela 26, conclui-se que para os 7 locais em estudo na Europa, a potência máxima necessária para refrigeração é de 4407.56 W, obtida em Atenas, na Grécia, no dia 10 de Outubro. Quanto ao aquecimento, a potência máxima calculada é de 4047.51 W, para a zona de Groningen, na Holanda, obtida no dia 13 de Fevereiro. No extremo oposto encontra-se Amsterdão, com uma potência mínima de refrigeração no valor de 3362.04 W. Para a componente de aquecimento o valor mínimo é também obtido em Atenas, com um valor de 1894.2 W.



**Figura 23: Potências de aquecimento e refrigeração: Europa**

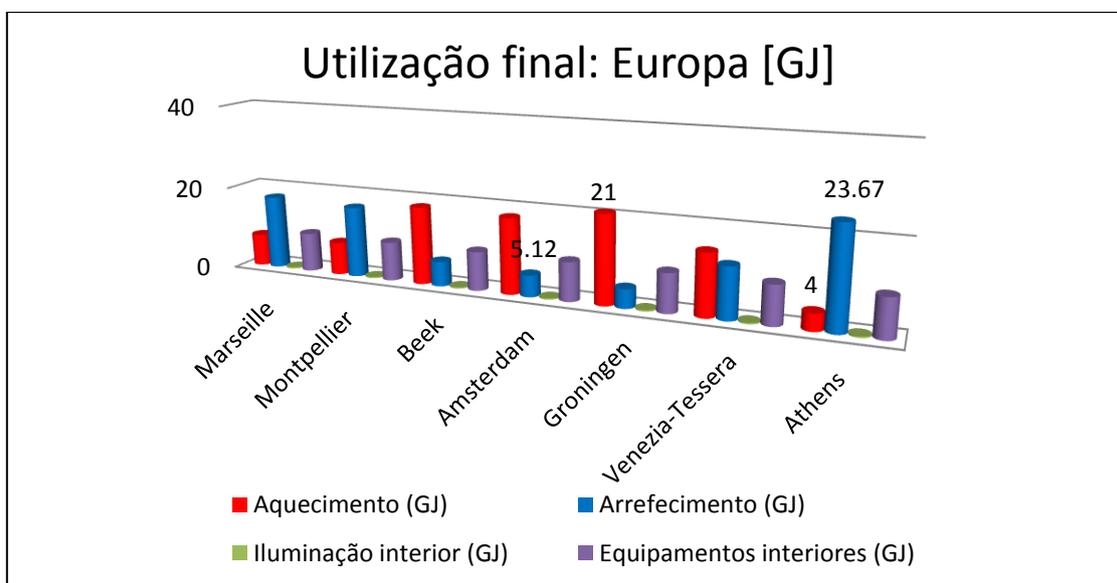
#### 4.4.2 Energia Final: Europa

Na Tabela 27 encontra-se discriminado, para cada uma das 7 localizações em estudo, o consumo anual de energia para os 4 grandes consumidores de energia da habitação, concretamente, a iluminação interior, o aquecimento, a refrigeração e equipamentos.

Verifica-se que os consumos anuais da iluminação e dos equipamentos, para os perfis de utilização pré-definidos, são respectivamente 0.32 GJ e de 9.26 GJ. Para as localidades em estudo, as que apresentam maiores necessidades energéticas anuais são Groningen para a componente de aquecimento, com um valor de 21GJ e Atenas para a componente de refrigeração com um valor de 23.67 GJ. No extremo oposto encontram-se Amesterdão com um consumo energético anual para a componente refrigeração de, apenas, 5.12 GJ, sendo mínima para a componente de aquecimento também para Atenas, com um valor de 4 GJ (vd. Figura 24).

**Tabela 27: Balanço energético anual - Europa**

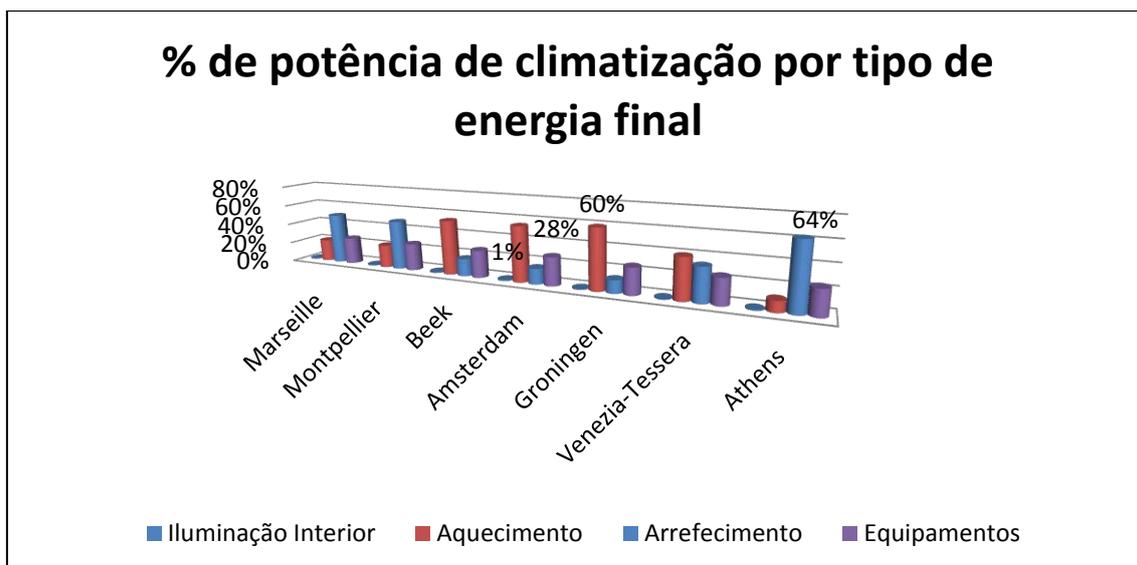
Local	França		Holanda			Italia	Grécia
	Marseille	Montpellier	Beek	Amsterdam	Groningen	Venezia-Tessera	Athens
Aquecimento (GJ)	7.71	7.82	18.46	18.01	21	14.68	4
Refrigeração (GJ)	17.54	16.87	5.88	5.12	4.52	12.14	23.67
Iluminação interior (GJ)	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
Equipamentos (GJ)	9.26	9.26	9.26	9.26	9.26	9.26	9.26



**Figura 24: Balanço energético anual**

Na Figura 25 mostra, para cada uma das 7 localizações em estudo, as percentagens de cada um dos 4 grandes consumidores de energia da habitação, concretamente, a iluminação interior, o aquecimento, a refrigeração e equipamentos.

Verifica-se que a iluminação tem mais peso na zona de Amesterdão, onde atinge 1 % da energia final consumida. O aquecimento atinge cerca de 60 % da energia total consumida em Groningen. Já a refrigeração tem uma maior percentagem em Atenas, atingindo cerca de 64 % da energia total consumida. Quanto aos equipamentos, obtém-se um maior peso nos consumos totais de energia da “construção modular flutuante” para Amesterdão, onde atinge cerca de 28 % da energia total consumida na habitação.



**Figura 25: % de energia consumida, em aquecimento, arrefecimento, iluminação interior e equipamentos: Europa**

Na Figura 26 encontra-se discriminado, para cada uma das 7 localizações, os pesos de cada uma das 4 principais energias finais consumidas.

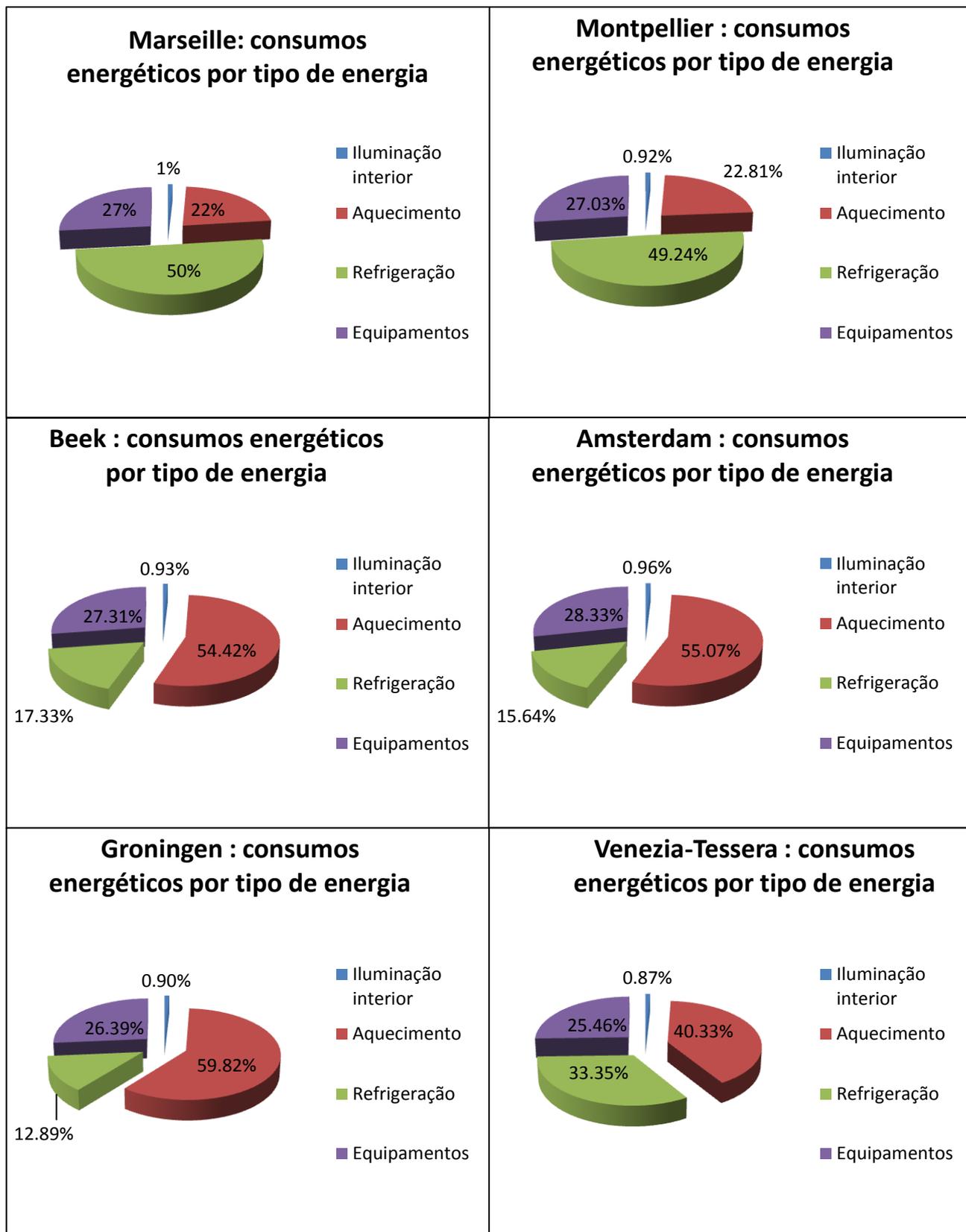
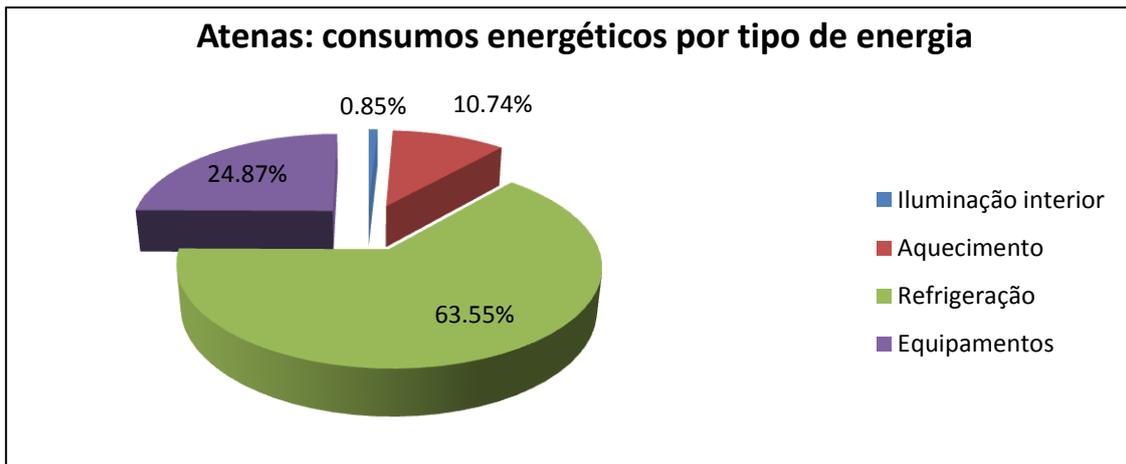


Figura 26: Consumos energéticos por tipo de energia - Europa



**Figura 26: Consumos energéticos por tipo de energia – Europa (continuação).**

#### **4.4.3 Consumo de energia por divisão da construção modular flutuante: Europa**

Depois de analisados os parâmetros responsáveis pelos maiores consumos de energia da construção modular flutuante, foi também analisado o desempenho de cada uma das suas três divisões para as 7 regiões da Europa seleccionadas neste estudo. A partir destas simulações foram obtidos os consumos energéticos anuais de aquecimento e refrigeração do sistema AVAC para cada uma das divisões bem como as potências dos sistemas AVAC para as componentes de aquecimento e refrigeração. Além disso, foram ainda analisados os ganhos e as perdas energéticas das envolventes envidraçadas e opacas bem como os dias do ano em que se atingem os picos de potência para aquecimento e refrigeração. A partir das simulações referidas foram efectuados gráficos com os balanços energéticos anuais e as potências das componentes sensíveis de aquecimento e refrigeração para as 7 localidades em estudo. Estes gráficos são apresentados de forma sistemática no Anexo II.

**CAPÍTULO 5**  
**CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO**

## **5. Caracterização do sistema de climatização**

### **5.1 Introdução**

Um dos objectivos desta dissertação de mestrado era desenvolver o esquema de princípio do sistema de climatização que ia equipar a habitação modular flutuante, tendo em conta dois requisitos principais, concretamente, que garantisse elevados parâmetros de conforto e que privilegiasse um elevado desempenho energético. Tendo em conta esses dois requisitos o sistema de climatização seleccionado foi o piso/tecto radiante a água, visto que é o sistema que garante altos índices de conforto e ao mesmo tempo uma boa eficiência energética. Esta escolha é favorecida por possibilitar a instalação de uma bomba de calor água/água, com COP muito elevado, aproveitando assim o facto da habitação modular estar instalada sobre água. O sistema radiante foi idealizado com o objectivo de funcionar em modo aquecimento e arrefecimento, utilizando o piso radiante na situação de aquecimento e o tecto radiante para refrigeração. Para a situação de refrigeração foi idealizado um sistema que permite a utilização de energia renovável, fazendo passar através de um permutador tubular, a água do lago disponível em grande escala, e assim refrigerar a água que circula no circuito fechado do piso/tecto radiante. Este esquema torna-se uma solução energeticamente muito eficiente e, ao mesmo tempo, garante conforto térmico aos utilizadores.

### **5.2 Características técnicas de conforto do sistema de piso/tecto radiante a água**

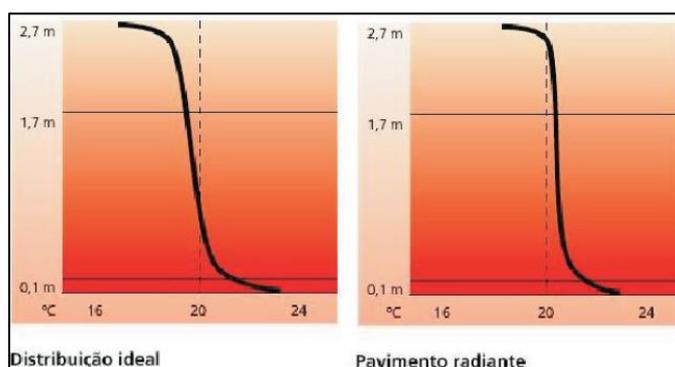
A transferência de calor do tipo radiante assegura maior conforto graças à inexistência de correntes de ar e à ausência de ruídos, que são típicos nas tradicionais instalações de ar condicionado.

Os sistemas radiantes mantêm níveis de conforto homogéneos e minimizam os diferenciais de temperatura entre as zonas envolventes e os elementos radiantes, de um determinado local. Como se pode ver na Figura 27, o perfil de temperatura deste tipo de sistemas é bastante próximo do perfil ideal.

É do conhecimento geral que as temperaturas das superfícies que nos rodeiam têm um papel muito importante na percepção da sensação de conforto. Agindo sobre a temperatura das paredes é possível obter a mesma sensação de bem-estar, utilizando temperaturas de ar interior mais próximas das do exterior, relativamente aos sistemas tradicionais. Assim, reduz-se o gradiente de temperatura entre o interior e o exterior, resultando em menores perdas e ganhos de calor.

Outras economias de energia podem ser conseguidas com a utilização de sistemas de produção de energia mais eficientes, porque as temperaturas da água são mais baixas no inverno (aquecimento) e mais altas no verão (arrefecimento), do que as utilizadas nos sistemas tradicionais de climatização.

Outra das vantagens é que permite também uma melhor utilização do espaço disponível, visto não necessitar de montagem de qualquer equipamento que ocupe espaço na área ocupada.



**Figura 27: Variação da temperatura ideal de conforto para o ser humano, com a altura**

## 5.3 Equipamentos principais

### 5.3.1 Bomba de Calor Água / Água

Uma vez que este projecto é construído sobre água, é muito vantajosa a utilização de uma bomba de calor água/água (vd. Figura 28). Neste sistema, tanto a condensação, como a evaporação, são feitos para a água, tendo normalmente valores de COP entre 5 e 6, geralmente superiores aos sistemas ar/água. Essa é uma das mais-valias para este projecto, que juntamente com o piso/tecto radiante hidráulico formam um sistema que garante um excelente desempenho, tanto ao nível de conforto como de consumos energéticos.



**Figura 28: Imagem de bomba de calor água/água**

### 5.3.2 Tubagem e isolamento térmico

As tubagens devem ser em polietileno reticulado, pois proporcionam uma maior durabilidade, flexibilidade e segurança. Possuem uma camada de etil-vinil-álcool que impede a entrada de oxigénio na instalação e preserva a água. O aspecto genérico deste tipo de solução pode ser visto na Figura 29.



Figura 29: Imagem da instalação da tubagem do piso radiante

### 5.3.3 Grupos de Impulsão

Para efectuar a circulação do fluido que transporta a energia térmica a transferir são utilizados grupos de impulsão com aspecto semelhante ao da Figura 30.



Figura 30: Grupo de impulsão do circuito do piso radiante

### 5.3.4 Sistema para a distribuição dos tubos para o aquecimento

A distribuição de fluido por cada circuito é assegurada através do sistema de distribuição (vd. Figura 31) tendo em conta a informação recolhida pelas sondas existentes na instalação.

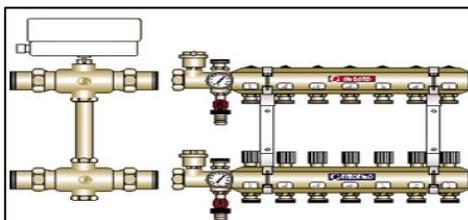


Figura 31: Colector do piso radiante

### 5.3.5 Sistema de controlo e sondas

O sistema de controlo (vd. Figura 32) permite seleccionar as temperaturas desejadas para cada zona, recebendo informação das sondas de temperatura.



Figura 32: Sistema de controlo e sondas

### 5.4 Princípios de Funcionamento

O princípio básico de funcionamento do sistema consiste na impulsão de água, que na situação de aquecimento deverá ter uma temperatura amena (à volta dos 40°C), através de circuitos de tubos de polietileno reticulado. Segundo o sistema tradicional de aquecimento por chão radiante, os tubos envolvem-se numa camada de argamassa. Esta camada, situada sobre os tubos e sob o pavimento absorve a energia térmica dissipada pelos tubos, transfere-a para o pavimento que, por sua vez, emite a energia para o local através de radiação e em menor grau que a convecção natural. Os circuitos emissores partem dos colectores de alimentação e retorno. A partir daí, os circuitos equilibram-se hidraulicamente e, através de cabeças electotérmicas, o caudal é regulado e impulsionado em função das necessidades térmicas de cada local.

A regulação dos sistemas de aquecimento por chão radiante permite enviar água à temperatura desejada e controlar de forma independente a temperatura ambiente de cada compartimento a aquecer.

### 5.5 Esquema de princípio do sistema de climatização e AQS idealizado para a construção modular flutuante

Uma casa flutuante está concebida para ser posicionada num espelho de água, logo a solução projectada no âmbito desta dissertação de mestrado pretende explorar ao máximo os benefícios energéticos que a localização da habitação permite obter, quer seja um lago, albufeira de barragem ou reentrância de um rio.

O sistema AVAC está assim condicionado a esta circunstância, pois a energia renovável fornecida pelo lago constituiu um recurso energético a considerar, quer seja para arrefecimento ambiente em estação quente de modo directo, ou para aquecimento por bomba de calor com exclusão do frio do evaporador por água de lago. Deste modo consegue-se um COP de valor superior e, como tal, um abaixamento de energia na produção de calor por melhor eficiência, ou de arrefecimento por energia renovável – água do lago.

A utilização da bomba de calor dará sempre prioridade ao aquecimento de águas sanitárias e só depois do aquecimento estar satisfeito haverá disponibilidade da máquina para aquecimento, em função das condições climatéricas existentes. Na figura 33 apresenta-se o esquema de princípio do sistema de climatização e AQS, idealizado para a construção modular flutuante, sendo depois analisadas algumas particularidades do seu funcionamento.

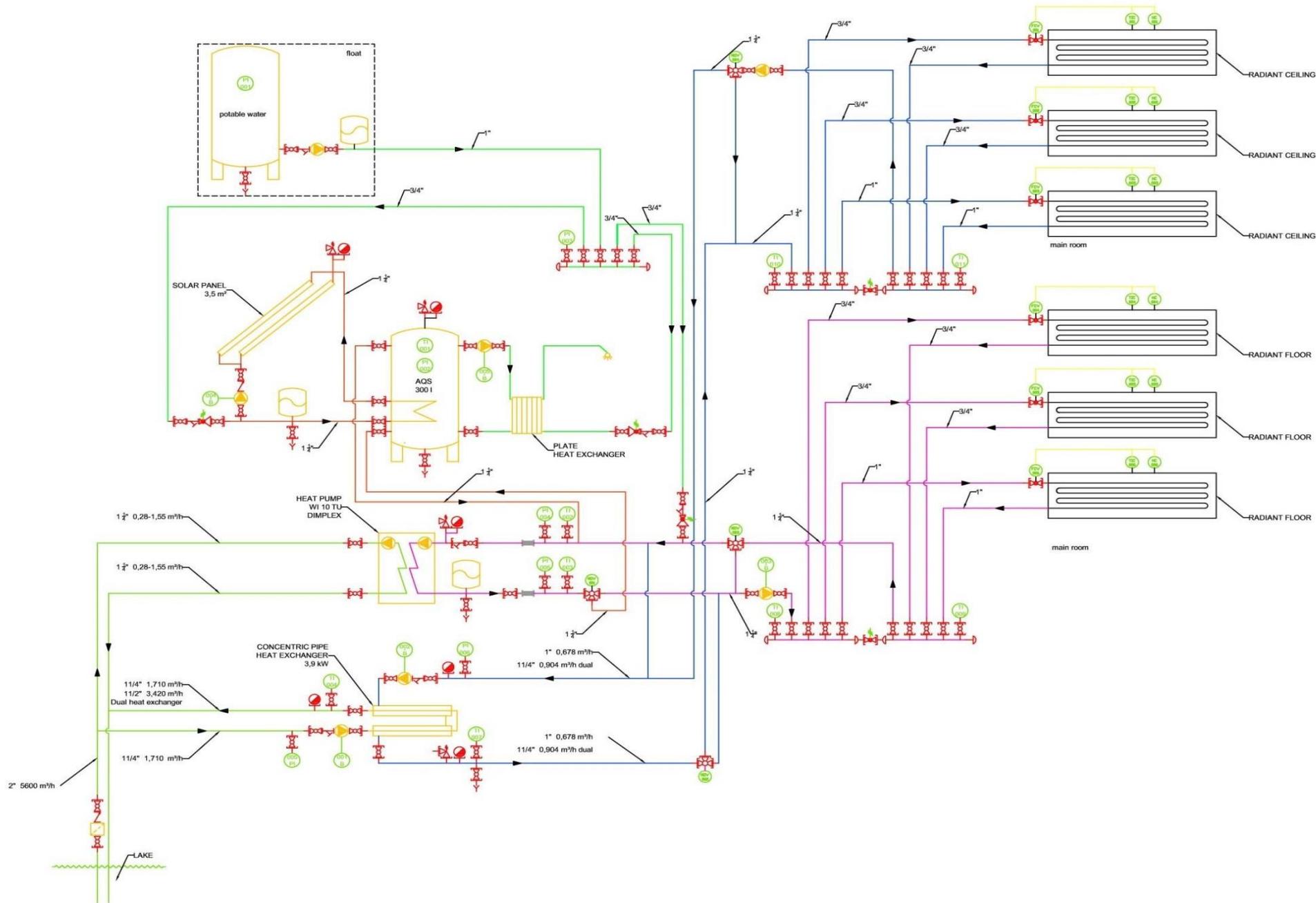


Figura 33: Esquema de princípio dos sistemas de climatização e AQS, da construção modular flutuante

### **5.5.1 Bomba de calor**

A bomba de calor terá duas funções principais, nomeadamente o aquecimento de águas sanitárias com primeira prioridade sobre as restantes funções da bomba de calor e o aquecimento do pavimento radiante na situação de aquecimento do ar interior.

### **5.5.2 Água lagunar (energia renovável)**

A água lagunar será utilizada como arrefecimento do tecto e piso radiante na situação de arrefecimento do ar interior (como energia renovável).

### **5.5.3 Radiação solar (energia renovável)**

A energia solar também estará presente como outra fonte de energia renovável. A partir dos painéis solares térmicos é captada radiação solar que é, posteriormente, utilizada para aquecimento de água quente sanitária, com as seguintes condicionantes:

- **Painel solar térmico:** Pré-aquecimento da água sanitária na eventualidade de só por si não conseguir suprir todas as necessidades térmicas. O tanque de acumulação de energia, com 300 l, horizontal de grande esbeltez, possuiu uma serpentina para permutação de calor a partir do circuito de energia solar. Além disso, conterà água primária do circuito da bomba de calor. Esta água servirá apenas para o transporte energético já que à saída deste tanque de energia dupla, existe um permutador para aquecimento rápido da água de consumo.

### **5.5.4 Arrefecimento - Água lagunar**

A água lagunar será um importante recurso energético do esquema idealizado, sendo utilizada para as seguintes situações:

#### **- Retirar frio do evaporador - bomba de calor**

A bomba de calor de pequena dimensão é arrefecida com água do lago. Trata-se duma alternativa ao arrefecimento por ar com evidentes ganhos de eficiência para a máquina.

#### **- Arrefecimento de tecto arrefecido, em estação quente, através de permutador e arrefecimento de pavimento radiante em estação quente, através de permutador**

Na estação quente, em dias em que o ar interior apresente temperaturas superiores a 25 °C, a água do lago será circulada no tecto arrefecido e, ainda, no pavimento radiante,

que só por si manterão a temperatura do ar interior em valores aceitáveis sem qualquer acréscimo de energia produzida para o efeito, à excepção da baixa energia eléctrica consumida nas bombas de circulação. Esta acção está limitada ainda pela temperatura do ponto de orvalho.

#### **5.5.5 Aquecimento**

O aquecimento do ar interior será obtido unicamente a partir da bomba de calor, fazendo recircular água quente no pavimento radiante de modo a obter uma temperatura confortável na ordem dos 20 °C (set-point ajustável).

#### **5.5.6 Modo neutro**

No intervalo de temperatura de 20 °C a 25 °C, estaremos em modo neutro, não existindo qualquer actuação para alteração da temperatura do ar interior, pelo que não haverá funcionamento da bomba de calor para esta função (apenas para AQS), nem circulação da água do lago para arrefecimento dos dissipadores de energia internos.

Para obtenção da energia contida na água lagunar, tendo em vista o arrefecimento do ar interior, será necessário um permutador para arrefecimento da água secundária que circulará pelos dissipadores de calor internos.

O permutador de calor será do tipo “tube in tube” de tipo contra-corrente total.

O permutador de calor será construído em cobre duro segundo a norma DIN EN 1057 [33], em 4 corpos que se poderão agrupar em 2 andares de dois corpos. Será cromado exteriormente.

Em função da climatologia da área de instalação, poderão ser agrupados em paralelo dois ou três permutadores hidráulicos.

O permutador de calor beneficiará da baixa rugosidade superficial obtida na produção de tubos em cobre, da sua alta condutibilidade, da sua elevada resistência à corrosão, da sua resistência à radiação ultra-violeta, sendo 100% reciclável. Do ponto de vista térmico, não será necessário o seu isolamento térmico.

## 5.6 Condições técnicas especiais

### 5.6.1 Bomba de calor

#### 5.6.1.1 Função calor

A função prioritária da bomba de calor é produzir água quente sanitária, na eventualidade do sistema solar térmico, só por si, não conseguir estabelecer as condições térmicas desejadas. Tem também a função de prevenir a Legionella assegurando a eliminação das bactérias que poderão residir na água doméstica. No presente caso, a água acumulada representa apenas energia e fisicamente não será consumida, pelo que a tradicional aparecimento desta bactéria em tanques de armazenamento não traria qualquer consequência nefasta para as pessoas. De qualquer modo, será executada uma acção contra a Legionella.

A temperatura e a duração da prevenção da Legionella obedece a ciclos para eliminar as bactérias que são tipicamente:

- 2 minutos > 70 °C;
- 4 minutos > 65 °C;
- 60 minutos > 60 °C;
- Em aquecimento permanente, acima de 57 °C, esta bactéria não existe.

Os ciclos de prevenção de Legionella são geridos directamente por controlador, com a possibilidade de definir a duração, a temperatura, dia e hora.

#### 5.6.1.2 Características técnicas da bomba de calor

As características técnicas da bomba de calor recomendada para este projecto [34] encontram-se sintetizadas na Figura 34.

**Figura 34: Características técnicas da bomba de calor**

Referência	WI 10TU
Código da bomba de calor	300 5
Cor da estrutura	Branco
Max. Temperatura de ida	62 °C
Menor temperatura de operação da fonte de calor (operação de aquecimento) / Limite operacional superior da fonte de calor (operação de aquecimento)	7 a 25 °C
Saída de calor W10/W35 / COP W10/W35	9,60 kW / 5,89
Saída de calor W10/W45 / COP W10/W45	9,07 kW / 4,34
Potência nominal consumida: EN 14511 at W10/W35	1,63 kW
Nível de potência sonora	41 dB (A)
Refrigerante / Peso do refrigerante	R410A / 2,7 kg
Caudal máx de água / Perda de pressão Max.	1,7 m³/h / 5000 Pa

Caudal fonte de calor (min.)	2,2 m <sup>3</sup> /h
Dimensão (W x H x D)**	650 x 845 x 665 mm
Peso	142 kg
Tensão Nominal	3/PE ~400 V, 50 Hz
Corrente de arranque com arranque suave	17 A
Fusível de protecção	C 10 A
Ligação – aquecimento	1 ¼ inch
Ligação – fonte de calor	1 ¼ inch
Selo de aprovação EHPA (válida até)	Sim / 12.12.2014

### 5.6.1.3 Tanque de 300 L

As características do tanque de 300 litros seleccionado para este projecto estão indicadas a seguir:

- Tubo base 273×3
- Tampos copados Kloper
- Comprimento com isolamento > 50 mm, 5500 mm
- Largura (isolado) 380 mm
- Altura (isolado) 380 mm
- Superfície serpentina 3.5 m<sup>2</sup>
- Peso em vazio 145 kg
- Peso cheio 473 kg
- Pressão máxima 6 bar
- Com ânodo de magnésio
- Kit para geração instantânea de água sanitária em aço inox AISI 316, constituído por permutador de placas, bomba de retorno, sistema de controlo e valvularia diversa.

### 5.6.1.4 Permutador lagunar

As características técnicas do permutador lagunar são as seguintes:

- Permutador “tube in tube” de contra-corrente total
- Potência por módulo 2.7 kW
- Dual módulo, em paralelo hidráulico 5.5 kW

- Triplo módulo, em paralelo hidráulico	8.2 kW
<b>• Primário - lado do lago</b>	
- Temperatura de entrada água do lago	18 °C
- Temperatura de saída água para o lago	19.4 °C
- Perda de carga lado Lago	0.5 m.c.a.
- Caudal por módulo	1700 kg/h
- Dual (3400 kg/h) ; Triplo (5100 kg/h)	
<b>• Secundário - Lado teto\piso radiantes</b>	
- Temperatura de entrada água retorno do teto/piso radiante	28.4 °C
- Temperatura de saída água para teto/piso radiante	23.2 °C
- Perda de carga lado teto\piso radiante	6 m.c.a.
- Caudal por módulo	452 kg/h
- Dual (904kg/h) ; Triplo (1356 kg/h)	

#### **5.6.1.5 Dimensões de um módulo**

-Comprimento	2.2 m
- Altura	0.260 m
- Largura	0.210 m
- Tubo exterior	35×1,5 mm
- Tubo interior	28×1,2 mm
- Soldadura	brazagem forte com prata > 40%
- Todas as juntas com entrega em gola	

**CAPÍTULO 6**  
**DETERMINAÇÃO DOS NÍVEIS DE CONFORTO PARA**  
**CADA LOCALIZAÇÃO PELO MÉTODO DO PPD**

## 6. Determinação dos níveis de conforto para cada localização pelo método do PPD

### 6.1 Conforto térmico

O conforto é uma das bandeiras deste projecto de construção modular, logo importa saber quais os níveis de conforto obtidos para cada uma das localizações em análise, tendo em conta as soluções construtivas escolhidas pela equipa de projectistas. É essencial que as soluções construtivas seleccionadas garantam conforto a todos os seus utilizadores, independentemente da época do ano ou do local. Normalmente, a manutenção das condições termo-higrométricas, que garantem um determinado padrão mínimo de conforto durante todo o ano, só é possível recorrendo a sistemas de climatização, que neste caso será garantido através da instalação de piso e tecto radiante.

Segundo a ASHRAE (2004) [35], o conforto térmico é definido como o estado de espírito em que o indivíduo expressa satisfação relativamente ao ambiente térmico, o que não é a mesma coisa que equilíbrio térmico, uma vez que pode ser atingido o equilíbrio térmico sob condições de desconforto, tendo em consideração um ponto de vista puramente fisiológico. A neutralidade térmica do corpo humano, assegurada pelos mecanismos termorreguladores, tem como objectivo conservar a temperatura interna corporal a cerca de 37°C, podendo a externa variar entre um máximo de 45°C e um valor mínimo que depende da parte do corpo.

Através da equação do balanço térmico podemos determinar o estado térmico do corpo humano. Nela podemos encontrar todo o tipo de trocas de calor entre o corpo humano e o meio ambiente, concretamente através de fenómenos de convecção, radiação, respiração e evaporação, sendo o seu balanço térmico expresso pela equação (por unidade de tempo):

$$S = M - W \pm R \pm C \pm K - E \pm Res \quad (1)$$

onde:

- S = Taxa de armazenamento de calor corporal [W]
- M = Taxa de produção de calor metabólico [W]
- W = Trabalho mecânico exterior [W]

- R = Trocas por radiação com as superfícies envolventes [W]
- C = Trocas convectivas com as camadas de ar circundantes [W]
- K = Condução de ou para o vestuário [W]
- E = Perdas por evaporação devido à transpiração [W]
- Res = Trocas de calor sensível e latente na respiração [W]

O conforto térmico é conseguido se o armazenamento de calor corporal for nulo, o mesmo é dizer que o conforto térmico global é a manutenção do valor da energia interna do corpo.

O equilíbrio interior é influenciado por dois tipos de parâmetros, concretamente parâmetros relativos ao indivíduo e parâmetros que caracterizam o clima interior. O isolamento térmico do vestuário e o nível de actividade física são os parâmetros relativos ao indivíduo. A temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade do ar e humidade relativa são os parâmetros que caracterizam o clima interior.

O conforto térmico global pode ser especificado de várias formas, indicadores simples e directos, tais como, a temperatura do ar ou parâmetros mais complexos como a temperatura operativa.

Fanger (1970) desenvolveu vários índices térmicos, dos quais se destacam o PMV (*Predicted Mean Vote*) e o PPD (*Predicted Percentage Dissatisfied*), designados na literatura portuguesa como voto médio previsível e percentagem previsível de insatisfeitos. O método desenvolvido por Fanger (1972), e adoptado na norma ISO 7730 (CEN, 2005) [36], tem por base a determinação do índice PMV, calculado a partir da equação de balanço térmico para o corpo humano e que quantifica a opinião média de um grupo de pessoas relativamente a um dado ambiente, através de um modelo de correlação entre a percepção subjectiva humana e a diferença de calor gerado e libertado pelo corpo humano, expressa através de uma votação numa escala de conforto que vai de -3 (muito frio) a +3 (muito quente). O índice PPD prevê o número de pessoas que se sentem desconfortáveis para um dado PMV, estabelecendo uma previsão da percentagem de pessoas insatisfeitas com as condições térmicas. Estão estabelecidas na norma ISO7730:2005 [37] que adopta os índices PMV e PPD, três categorias de conforto térmico global (vd. Figura 35).

Category	Thermal state of the body as a whole		Local discomfort			
	PPD %	PMV	DR %	PD %		
				vertical air temperature difference	warm or cool floor	radiant asymmetry
A	< 6	- 0,2 < PMV < + 0,2	< 10	< 3	< 10	< 5
B	< 10	- 0,5 < PMV < + 0,5	< 20	< 5	< 10	< 5
C	< 15	- 0,7 < PMV < + 0,7	< 30	< 10	< 15	< 10

Figura 35: Índices de PMV e PPD - 3 categorias de conforto térmico global

Os índices PMV e PPD são úteis na avaliação das condições de conforto ou desconforto do corpo como um todo. No entanto, isso pode ser insuficiente, devido ao desconforto térmico local, ou seja, um indesejado aquecimento ou arrefecimento de uma parte particular do corpo. Os factores que provocam o desconforto local são: correntes de ar, diferenças de temperatura de ar na vertical, pavimentos demasiado quentes ou frios e assimetrias na temperatura radiante.

O modelo de conforto térmico de Fanger é particularmente adaptado para a avaliação de ambientes interiores em edifícios com sistema de climatização. De modo a entrar em conta com outros factores, para além do balanço térmico, têm-se desenvolvido modelos adaptativos, aplicados na avaliação do conforto térmico em ambientes arrefecidos ou aquecidos de forma natural, em que os ocupantes têm actividades consideradas sedentárias e a possibilidade de adaptar o vestuário às condições interiores e exteriores. O modelo adaptativo de conforto térmico baseia-se na hipótese da temperatura operativa de conforto estar relacionada com uma média temporal ponderada da temperatura média exterior.

## 6.2 Análise e discussão de resultados

### 6.2.1 Introdução

O cálculo do conforto térmico foi realizada através do índice PPD, utilizando resultados provenientes da simulação dinâmica (temperatura do ar e humidade relativa) e fixando valores para a actividade metabólica, velocidade do ar, vestuário e trabalho mecânico. A temperatura radiante implica um cuidado especial uma vez que o sistema de climatização utilizado é o piso/tecto radiante, envolventes essas que vão ter temperaturas substancialmente diferentes dos envidraçados e envolvente opaca exterior ou mesmo envolvente interior. Assim, o valor da temperatura radiante a considerar será um valor médio calculado a partir da área correspondente a cada tipo de envolvente.

Os cálculos dos índices PMV e PPD, considerando os dados de entrada referidos anteriormente, foram efectuados numa folha de cálculo elaborada em MS Excel.

### 6.2.2 Determinação dos valores das variáveis utilizadas no cálculo do conforto térmico

Os valores a utilizar para a temperatura do ar interior e humidade relativa são provenientes de resultados da simulação dinâmica feita no software EnergyPlus, tendo sido utilizados cerca de 8760 leituras/ano. Para outros parâmetros são fixados valores, concretamente para a actividade metabólica ( $M = 1,2 \text{ met}$ ), velocidade do ar ( $v = 0,1 \text{ m/s}$ ), resistência térmica do vestuário ( $I_{cl} = 0,6 \text{ clo}$ - vestuário típico de verão;  $I_{cl} = 0,9 \text{ clo}$  - vestuário típico de inverno) e trabalho mecânico ( $W=0$ ).

Outra das variáveis a ter em conta quando se faz o estudo de conforto térmico é a temperatura radiante, que neste caso assume maior importância, uma vez que o sistema de climatização utilizado é o piso/tecto radiante, e, portanto, é necessário determinar uma temperatura radiante média, pois as várias envolventes vão ter temperaturas muito diferenciadas. Considerou-se que a temperatura do tecto/piso radiante na estação de arrefecimento é de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  e na estação de aquecimento é de  $28 \text{ }^\circ\text{C}$ , no entanto as envolventes verticais terão temperaturas substancialmente diferentes, situação agravada pelo facto de grande parte da envolvente exterior da construção modular flutuante ser constituída por envidraçado. Assim, de modo a encontrar um valor de temperatura radiante mais realista, foi determinada uma temperatura radiante média em cada uma das 3 divisões da construção modular flutuante.

Na Tabela 28 encontram-se os perímetros das paredes interiores e exteriores em cada uma das 3 zonas da construção modular flutuante.

**Tabela 28: Determinação do perímetro das envolventes verticais de cada uma das zonas**

Zona	Comprimento (m)	Largura (m)	Perímetro paredes interiores (m)	Perímetro paredes exteriores (m)
Quarto	3	4	4	10
Casa de Banho	2	2	8	0
Sala/Cozinha	6 2	4 2	8	20

Aplicando um pé direito de 2,4 m, determina-se a área de cada uma das envolventes verticais (vd. Tabela 29).

**Tabela 29: Determinação das áreas das envolventes de cada uma das zonas**

Zona	Altura (m)	A. parede interior (m <sup>2</sup> )	A. parede exterior (m <sup>2</sup> )	A. tecto (m <sup>2</sup> )	A. chão (m <sup>2</sup> )
Quarto	2.4	9.6	24	12	12
Casa de Banho	2.4	19.2	0	4	4
Sala/Cozinha	2.4	19.2	48	28	28

O passo seguinte foi determinar o percentual da área de cada uma das envolventes (vd. Tabela 30), uma vez que já são conhecidas todas as áreas das envolventes de cada uma das 3 zonas da construção modular flutuante em análise.

**Tabela 30: Determinação do perímetro das envolventes verticais de cada uma das zonas**

Zona	A. parede interior (m <sup>2</sup> )	A. parede exterior (m <sup>2</sup> )	A. tecto (m <sup>2</sup> )	A. chão (m <sup>2</sup> )	Parede interior (%)	Parede exterior (%)	Tecto (%)	Chão (%)
Quarto	9.6	24	12	12	0.17	0.42	0.21	0.21
Casa de Banho	19.2	0	4	4	0.71	0.00	0.15	0.15
Sala/Cozinha	19.2	48	28	28	0.16	0.39	0.23	0.23

O percentual calculado é depois utilizado para determinar a temperatura radiante média a considerar no estudo de conforto. As fórmulas utilizadas nas situações de aquecimento e arrefecimento são:

- **Aquecimento:**  $Tr\ média = T\ ar\ interior \times \% \text{ Parede interior} + (T\ ar\ interior - 3\ C^\circ) \times \% \text{ Parede exterior} + 28\ C^\circ \times \% (\text{tecto} + \text{chão})$
- **Arrefecimento:**  $Tr\ média = T\ ar\ interior \times \% \text{ Parede interior} + (T\ ar\ interior + 3\ C^\circ) \times \% \text{ Parede exterior} + 20\ C^\circ \times \% (\text{tecto} + \text{chão})$

### 6.2.3 Determinação da categoria de conforto

Depois da obtenção de todos os valores das variáveis utilizadas no cálculo do conforto térmico, através da folha de cálculo determinaram-se as respectivas categorias de conforto para todos os locais em estudo, quer seja em Portugal, ou nas restantes zonas da Europa em análise. Verificou-se que em nenhum período do ano existe desconforto dentro da “construção modular flutuante”, uma vez que todos os pontos analisados (mais de 8000) se encontram compreendidos entre as categorias A e C. De algum modo, pode-se considerar que não é grande surpresa, uma vez que o sistema de climatização utilizado, piso/tecto radiante, garante por si só níveis de conforto elevados.

Nos pontos 5.2.3.1, 5.2.3.2 e 5.2.3.3 encontram-se representados todos os resultados obtidos, mais especificamente para uma análise anual, para os meses de aquecimento e para os meses de arrefecimento.

## 6.2.4 Análise anual – Portugal/Europa

Os dados apresentados na Tabela 31 referem-se aos resultados da análise de conforto para um período de ocupação (0h-24h), durante um ano completo. São comparados os valores do índice PPD para cinco locais distintos em Portugal, concretamente, Bragança, Coimbra, Lisboa, Évora e Faro. Verifica-se que Bragança se destaca, pois é notório o maior número de horas em que os valores do índice permanecem nas categorias A e B. Apesar deste destaque para Bragança, 4 dos 5 locais analisados apresentam também valores superiores a 50% nas categorias A e B, à exceção de Faro que apresenta um valor na categoria C superior a 50%, nas duas zonas principais da casa, concretamente no quarto e sala/cozinha. Apenas para a casa de banho se obtém, em todos os locais um valor superior a 75% nas categorias A e B, também devido ao facto de a casa de banho não ter envolventes verticais exteriores.

**Tabela 31: Análise de conforto ano - Portugal**

Portugal	Anual								
	Quarto			Casa de Banho			Sala/Cozinha		
LOCAIS	A	B	C	A	B	C	A	B	C
<b>Bragança</b>	15%	58%	27%	29%	57%	14%	14%	45%	40%
<b>Coimbra</b>	20%	40%	39%	36%	48%	16%	20%	33%	47%
<b>Lisboa</b>	19%	36%	45%	31%	52%	17%	17%	29%	54%
<b>Évora</b>	18%	46%	36%	37%	51%	12%	17%	35%	48%
<b>Faro</b>	17%	25%	58%	26%	50%	24%	15%	24%	62%

Fazendo uma análise semelhante para os 7 locais em estudo da Europa, concretamente, Amsterdão, Beek e Groningen na Holanda, Atenas na Grécia, Marselha e Montpellier na França e Veneza na Itália, verifica-se (vd. Figura 32) que os 3 locais em estudo na Holanda se destacam, pois é notório um maior número de horas em que os valores do índice permanecem nas categorias A e B. Apesar deste destaque, com a exceção da Grécia, todos os locais analisados apresentam um valor superior a 50% nas categorias A e B. Atenas apresenta um valor na categoria C superior a 50% na zona da sala/cozinha, valor esse que pode, para já, levantar a suspeita que a casa terá um pior desempenho em climas mais quentes, situação que já se tinha verificado na análise feita para Portugal.

**Tabela 32: Análise de conforto ano – Europa**

Europa	Categoria de Conforto – Anual								
	Quarto			Casa de Banho			Sala/Cozinha		
LOCAIS	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Amesterdão	13%	64%	23%	20%	58%	22%	16%	55%	29%
Beek	13%	64%	23%	20%	59%	21%	15%	56%	29%
Groningen	12%	64%	24%	17%	57%	26%	15%	56%	29%
Atenas	14%	37%	49%	25%	61%	13%	14%	29%	57%
Marselha	14%	48%	38%	28%	59%	13%	14%	39%	47%
Montpellier	17%	48%	36%	29%	58%	13%	15%	40%	44%
Veneza	10%	52%	38%	20%	62%	18%	14%	46%	40%

### 6.2.5 Aquecimento – Portugal/Europa

Os dados apresentados na Tabela 33 referem-se ao período de ocupação (0h-24h), durante os meses de Outubro a Março, isto é, correspondem aos meses em que há necessidade de aquecimento.

Para as zonas analisadas em Portugal, podemos verificar que Bragança se destaca positivamente relativamente às restantes zonas, apresentando resultados acima dos 90% nas categorias A e B para o quarto e a rondar os 80% para a sala/cozinha. No outro extremo encontra-se Faro com resultados superiores a 50% na categoria C para a sala/cozinha. Estes resultados indicam claramente que na situação de aquecimento a construção modular flutuante apresenta melhores desempenhos em termos de conforto em zonas mais frias.

**Tabela 33: Análise de conforto para os meses de aquecimento - Portugal**

Portugal	Aquecimento								
	Quarto			Casa de Banho			Sala/Cozinha		
LOCAIS	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Bragança	15%	79%	7%	31%	65%	4%	16%	62%	22%
Coimbra	27%	52%	21%	41%	43%	16%	25%	40%	35%
Lisboa	27%	46%	27%	37%	42%	21%	22%	36%	42%
Évora	24%	59%	17%	44%	42%	13%	21%	45%	35%
Faro	27%	34%	39%	30%	37%	33%	20%	29%	51%

Fazendo uma análise semelhante para os 7 locais da Europa em estudo (vd. Tabela 34), verifica-se um resultado semelhante, ou seja, obtém-se um melhor desempenho nas zonas mais frias, neste caso nas 3 regiões da Holanda (Amesterdão, Beek e Groningen), onde se obtêm valores superiores a 90% nas categorias A e B para as 3 divisões da casa.

**Tabela 34: Análise de conforto para os meses de aquecimento – Europa**

Europa	Categoria de Conforto – Aquecimento								
	Quarto			Casa de Banho			Sala/Cozinha		
LOCAIS	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Amsterdão	9%	90%	1%	18%	81%	1%	16%	77%	7%
Beek	9%	90%	1%	19%	81%	0%	15%	79%	6%
Groningen	7%	92%	1%	15%	84%	1%	15%	80%	5%
Atenas	23%	57%	20%	36%	46%	18%	21%	45%	33%
Marselha	18%	71%	11%	34%	59%	7%	19%	57%	24%
Montpellier	22%	70%	9%	33%	60%	7%	20%	57%	23%
Veneza	11%	84%	4%	19%	78%	3%	18%	71%	10%

### 6.2.6 Arrefecimento – Portugal/Europa

Os dados apresentados na Tabela 35 referem-se ao período de ocupação (0h-24h), durante os meses de Abril a Setembro (meses com necessidades de arrefecimento).

Para as zonas analisadas em Portugal, podemos verificar que Bragança se destaca positivamente relativamente às restantes, apresentando resultados acima dos 50% nas categorias A e B, para o quarto e de 40% para a sala/cozinha. No outro extremo encontra-se Faro que apresenta resultados na categoria C na ordem dos 75%, à excepção da casa de banho, onde é semelhante aos restantes, situação explicada pelo facto da casa de banho não ter envolvente vertical exterior. Estes resultados mostram que na situação de arrefecimento a construção modular flutuante também apresenta melhores desempenhos em termos de conforto em zonas mais frias. No entanto, importa referir que para todos os locais, se obtêm percentagens muito mais alta na categoria C do que na situação de aquecimento.

**Tabela 35: Análise de conforto para os meses de arrefecimento - Portugal**

Portugal	Arrefecimento								
	Quarto			Casa de Banho			Sala/Cozinha		
LOCAIS	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Bragança	15%	37%	47%	28%	48%	24%	13%	28%	59%
Coimbra	14%	29%	58%	31%	53%	16%	14%	27%	59%
Lisboa	12%	26%	63%	24%	62%	14%	13%	21%	67%
Évora	12%	33%	55%	30%	60%	11%	12%	25%	62%
Faro	7%	17%	76%	23%	62%	15%	9%	18%	73%

Fazendo uma análise idêntica para os 7 locais da Europa em estudo (vd. Tabela 36), verifica-se um resultado semelhante, ou seja, obtêm-se um melhor desempenho nas

zonas mais frias, neste caso nas 3 regiões da Holanda (Amesterdão, Beek e Groningen) para as quais se obtêm valores a rondar os 50% nas categorias A e B para as 3 divisões da casa.

No extremo oposto, mais uma vez, encontram-se as regiões mais quentes, em especial Atenas, que apresenta resultados na categoria C superiores a 70% para o quarto e sala/cozinha, à excepção da casa de banho, onde é semelhante aos restantes, situação que pode ser explicada pelo facto da casa de banho não ter envolvente vertical exterior. Estes resultados mostram que na situação de arrefecimento a construção modular flutuante também apresenta melhores desempenhos em termos de conforto em zonas mais frias. No entanto, importa referir que para todos os locais existem percentagens muito mais altas na categoria C do que na situação de aquecimento.

**Tabela 36: Análise de conforto para os meses de arrefecimento: Europa**

Europa	Categoria de Conforto – Arrefecimento								
	Quarto			Casa de Banho			Sala/Cozinha		
LOCAIS	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Amesterdão	18%	38%	44%	22%	34%	44%	16%	33%	51%
Beek	18%	37%	45%	22%	36%	41%	15%	33%	52%
Groningen	17%	36%	47%	19%	30%	51%	15%	32%	52%
Atenas	5%	16%	78%	15%	77%	8%	6%	14%	80%
Marselha	10%	25%	65%	23%	59%	18%	9%	22%	69%
Monteplier	11%	26%	63%	25%	56%	19%	10%	23%	66%
Veneza	9%	19%	72%	21%	47%	32%	9%	21%	70%

Em modo de resumo, pode-se concluir que a habitação modular flutuante garante melhores condições de conforto aos utilizadores em climas mais frios, logo, aconselha-se a equipa de projectistas a repensar o tipo de envidraçados bem como as protecções solares seleccionadas, de modo a reduzir a percentagem de resultados na categoria C, que se apresentam com percentagens maiores para as zonas mais quentes e na estação quente. Nos anexos III e IV encontram-se traçados todos os gráficos relacionados com a categoria de conforto da habitação modular flutuante, respectivamente para Portugal e restantes países da Europa analisados.

## **CAPÍTULO 7**

### **CONCLUSÕES**

## 7. Conclusões

Na presente dissertação avaliou-se o desempenho energético de uma habitação modular flutuante, para diferentes localizações em Portugal e alguns países da Europa.

Começou-se por realizar uma análise energética onde se pretendia avaliar a possível utilização de energias renováveis que se apresentavam como sistemas prioritários a serem adoptados sempre que possível tecnicamente, tais como sistemas de microprodução fotovoltaicos e sistemas de painéis solares térmicos para aquecimento de águas sanitárias. Depois de listados todos os equipamentos existentes na habitação e que são eventuais consumidores de energia eléctrica, determinou-se o consumo energético médio diário, para a situação de aquecimento e refrigeração. Verificou-se que entre os meses de Outubro e Março, meses com maior necessidade de aquecimento, há um consumo energético diário na ordem dos 21,28 kWh/dia, e um consumo máximo de energia entre as 12 e as 13 horas, a rondar os 5.52 kWh, com um pico de potência de 7.43 kW. Entre os meses de Abril e Setembro, que são os meses com maior necessidade de arrefecimento, verifica-se um consumo energético diário na ordem dos 11.58 kWh/dia. Nesta situação, o pico de consumo ocorre também entre as 12h e as 13h, com um valor de 3.89 kWh, tendo um pico de potência de 5.8 kW. Um objectivo muito ambicioso seria tentar assegurar que toda a energia eléctrica consumida fosse produzida através de sistemas de energias renovável. No entanto, este pressuposto seria, à partida, muito difícil de atingir devido à grande limitação provocada pela falta de espaço para instalação dos painéis (apenas 22 m<sup>2</sup>) necessários para a implementação do sistema fotovoltaico.

Através do programa “Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps” foi realizada uma simulação dinâmica para a zona do Parque Natural do Gerês, obtendo-se os valores médios diários e mensais produzidos pelo sistema fotovoltaico, concluindo-se que este é capaz de produzir 3350 kWh por ano.

De seguida, foi analisada a contribuição do sistema solar térmico para o desempenho energético da habitação modular flutuante. Sabia-se, à partida, que não haveria disponibilidade para instalação de uma área superior a 6 m<sup>2</sup> e, por isso, o fornecimento de AQS por via renovável seria complementado por um sistema de apoio constituído por uma bomba de calor água/água que iria garantir o funcionamento do sistema de climatização. Para determinação das necessidades energéticas para aquecimento de

águas quentes sanitárias foi utilizado o software de simulação dinâmica “Solterm5”. Foram testados diversos tipos de modelos de painéis solares térmicos, das principais marcas existentes no mercado, tendo-se concluído rapidamente que os sistemas de tubo de vácuo têm eficiência muito superior aos colectores planos. No entanto, não foi abandonada a hipótese dos painéis solares planos pelo facto de terem um aspecto muito mais apelativo, sendo este também um dos requisitos considerados muito importantes pelos responsáveis do projecto. Verificou-se que, para uma área limite de 6 m<sup>2</sup>, a melhor opção, no caso do sistema de painéis solares térmicos planos, seria o Baxi Roca PS 2.0, com área unitária de 1.92 m<sup>2</sup>, obtendo-se através da instalação de 3 painéis uma área total de 5.8 m<sup>2</sup> (o que permite garantir cerca de 65.3% da energia anual necessária para AQS). Se a opção fosse a instalação de painéis solares térmicos de tubos de vácuo, a melhor opção seria o sistema da Solar 2S VTC 14 HP, com área unitária de 1.31 m<sup>2</sup>, obtendo-se através da instalação de 4 painéis, uma área total de 5.2 m<sup>2</sup> (o que resultaria em cerca de 79.2 % da energia total necessária para AQS). Havendo duas soluções disponíveis, cabe ao projectista decidir se é mais importante o aspecto estético da cobertura ou o desempenho energético da habitação.

A autonomia energética da construção modular flutuante é, sem dúvida, um requisito que deve ser analisado com todo o cuidado por parte da equipa de projectistas, uma vez que num projecto deste tipo, em que pode não existir alimentação energética através da rede pública, é necessário dar aos utilizadores garantias mínimas de autonomia energética. Nesse sentido ao consumo energético médio diário dos equipamentos foi adicionado o consumo energético necessário para apoio ao sistema solar térmico que também é suportado por via da energia eléctrica. Deste modo, temos um consumo total médio diário de energia eléctrica para os meses frios de 28 kWh. Para os meses quentes esse valor desce para 12.33 kWh.

O consumo energético anual da construção modular em estudo corresponde ao consumo diário durante os meses de aquecimento (6 meses, aproximadamente 182.5 dias do ano) e ao consumo diário durante os meses de arrefecimento (6 meses, aproximadamente 182.5 dias). Obteve-se, um total, dado por:  $28 \times 182.5 + 12.33 \times 182.5 = 7360.2$  kWh/ano. Logo, conclui-se:

- Produção por via renovável: 3350 kWh → 45.5 %;
- Produção por via do gerador de energia eléctrica: 4010.2 kWh → 54.5%.

Depois de conhecido o valor da energia eléctrica consumida, foi determinada a autonomia energética da construção modular flutuante, tendo em conta a dimensão do armazenamento de gasóleo. Conclui-se que o consumo médio diário de gasóleo é de 3.061 litros. Logo, para um depósito de apenas 100 litros de gasóleo, consegue-se uma autonomia média de aproximadamente 1 mês, volume esse que parece adequado para um projecto deste tipo.

Seguidamente foram analisadas as opções de energia eléctrica disponíveis que podem ser adoptadas neste projecto. Nesse sentido, foi realizada uma análise às várias alternativas de alimentação eléctrica e suas implicações no projecto com o objectivo de se conhecermos prós e contras de cada opção, nomeadamente no que diz respeito à utilização de corrente alternada trifásica, corrente alternada monofásica ou corrente contínua.

#### **i) Corrente alternada**

- **Corrente trifásica:** é difícil obter as três fases totalmente equilibradas, pelo que não se consegue absorver a potência total disponível por via fotovoltaica. Por outro lado é necessário a instalação de um inversor mestre e outros dois escravos, de maneira a se obter um desfaseamento de  $120^\circ$  e sequencial entre fases, sistema esse mais caro. São necessários 3 blocos de baterias iguais e independentes (n.º ímpar de painéis) e três reguladores de carga, o que vai honrar a instalação. Dessa análise pode-se concluir que a corrente alternada trifásica teria uma implementação mais complexa e dispendiosa. A grande vantagem seria existir um maior leque de escolha para a selecção da bomba de calor água/água, uma vez que grande parte dos equipamentos existentes no mercado são de corrente trifásica.

- **Corrente monofásica:** esta opção permite um único grupo fotovoltaico, um único inversor, um único regulador de cargas de baterias e um só grupo de baterias. Trata-se de uma instalação mais simplificada, de menor custo e em que se pode esgotar em qualquer momento a potencia gerada.

#### **ii) Corrente contínua**

Se os equipamentos consumidores da energia eléctrica forem compatíveis com esta solução, evita-se a instalação do inversor, pelo que o sistema fica mais simplificado e a iluminação teria de se optar por LED de 24 V que adicionalmente é uma tensão de segurança, adequada numa “construção modular flutuante” com alto grau de humidade.

Considera-se a corrente monofásica uma boa opção, tendo uma única limitação que é a falta de oferta no mercado de bombas de calor água/água com alimentação monofásica. A corrente contínua também tem algumas vantagens, no entanto obriga a comprar electrodomésticos de alimentação com corrente contínua, sendo muito mais onerosos, logo a equipa de projectistas deve ponderar os prós e contras e decidir o que pretende para este projecto.

Depois de concluída a análise relativa ao contributo das energias renováveis, avançou-se para a simulação dinâmica no software EnergyPlus, onde se pretendia obter dados relativos ao desempenho energético da habitação modular flutuante, em diferentes locais de Portugal (Bragança, Coimbra, Lisboa, Évora e Faro) e em alguns países da Europa (França, Holanda, Itália, Grécia). Numa primeira fase foi desenvolvido um modelo geométrico com as características da habitação em termos de envolventes (interiores, exteriores, opacas e transparentes), protecções solares móveis, funcionamento anual, palas de sombreamento, ocupação por espaço, densidade de iluminação e de equipamentos, e ventilação e insuflação de ar. Foi definido que a temperatura interior deveria encontrar-se entre 20 e 25°C, sendo o limite superior de 25°C para os meses com necessidade de refrigeração e o limite inferior de 20°C para os meses com necessidade de aquecimento. Entre os 20 e os 25°C não seria accionado qualquer sistema de condicionamento de ar interior.

Depois de realizada a simulação, conclui-se que para os 5 locais estudados em Portugal, referidos atrás, a potência máxima necessária para refrigeração era de 5217,83 W para a zona de Lisboa. Quanto ao aquecimento, a potência máxima necessária era de 2787,83 W, para a zona de Bragança. Um dado interessante que importa referir é o facto de Bragança apresentar necessidade mínima de refrigeração e simultaneamente necessidade máxima de aquecimento. No outro extremo encontra-se Lisboa, uma vez que ao mesmo tempo apresenta maior necessidade de refrigeração e menor necessidade de aquecimento.

Analisando o consumo anual de energia dos 4 grandes consumidores de energia da habitação (iluminação interior, aquecimento, refrigeração e equipamentos), verifica-se que Faro, com um valor de 24.7 GJ, é o local estudado com valor mais alto relativamente à energia consumida para refrigeração, sendo Bragança o local com maior consumo de energia para aquecimento, com 10.39 GJ. Importa referir que apesar de Lisboa ter o pico de potência para refrigeração, a localidade que apresenta maiores

necessidades anuais de consumo de energia para refrigeração é Faro. Já no caso do das necessidades de aquecimento, Bragança apresenta o pico de potência e maior consumo energético anual. Fazendo uma análise energética semelhante para os 7 locais em estudo na Europa referidos atrás concluiu-se que a potência máxima necessária para refrigeração foi de 4407.56 W em Atenas, na Grécia. Quanto ao aquecimento, a potência máxima calculada foi de 4047.51 W em Groningen, na Holanda. No extremo oposto encontra-se Amesterdão, com uma potência mínima de refrigeração de 3362.04 W. Atenas apresentou também a potência mínima de aquecimento com apenas 1894.2 W. Analisando o consumo anual de energia para os 4 grandes consumidores de energia da habitação (iluminação interior, aquecimento, refrigeração e equipamentos), verifica-se que o local que apresenta maiores necessidades energéticas anuais para a componente aquecimento ambiente é Groningen, com um valor de 21GJ. Relativamente à componente de refrigeração, Atenas apresenta um valor de 23.67 GJ. No extremo oposto encontra-se Amesterdão, com um consumo energético anual para a componente refrigeração, de apenas 5.12 GJ e Atenas com apenas 4GJ para a componente de aquecimento.

Depois desta análise de desempenho energético através da simulação dinâmica, o passo seguinte foi desenvolver o sistema de climatização a instalar na habitação modular flutuante. O sistema de climatização seleccionado pela equipa de projectistas foi piso/tecto radiante a água (funcionando em aquecimento e arrefecimento) considerando a instalação de uma bomba de calor água/água com COP muito elevado. Aproveitando-se o facto da habitação modular estar instalada sobre água, para a situação de refrigeração foi idealizado um sistema que permite a utilização de energia renovável, fazendo passar através de um permutador de placas a água do lago disponível em grande escala, e assim refrigerar a água que circula no circuito fechado do tecto radiante. Este esquema torna-se uma solução energeticamente muito eficiente e ao mesmo tempo garante conforto térmico aos utilizadores. O piso radiante é no essencial constituído por uma bomba de calor água/água, tubagens e isolamento térmico, grupo de impulsão, sistema de distribuição e sistema de controlo e sondas.

Uma das grandes vantagens deste projecto em termos energéticos é o facto da casa flutuante estar concebida para ser posicionada num espelho de água. A solução do sistema AVAC está assim condicionado a esta circunstância, pois a energia renovável fornecida pelo lago constituiu um recurso energético a considerar, seja para

arrefecimento ambiente em estação quente de modo directo, seja para aquecimento por bomba de calor com exclusão do frio do evaporador por água do lago, permitindo deste modo um COP de valor superior e como tal um abaixamento de energia na produção de calor por melhor eficiência, ou de arrefecimento por energia renovável – água do lago.

A bomba de calor dará sempre prioridade ao aquecimento de águas sanitárias e só depois desse aquecimento estar satisfeito haverá em função das condições climatéricas existentes, disponibilidade do equipamento para aquecimento ambiente.

Depois de definidas as condições técnicas especiais para a bomba de calor, tanque de AQS, permutador lagunar, características de funcionamento do circuito secundário lado do teto/piso radiante e dimensões de um módulo, passou-se para o último capítulo deste estudo, concretamente a determinação dos níveis de conforto para cada cenário e localização.

Neste trabalho, foram quantificados os índices de conforto PPD e PVM, seguindo as recomendações da norma ISO 7730 (ANO).

Verificou-se que em nenhum período do ano existe desconforto dentro da casa, já que a totalidade dos pontos analisados (mais de 8000 mil) se encontram compreendidos entre as categorias A e C. Analisando cada uma das 5 zonas em Portugal, realizando uma análise anual, verificou-se que Bragança se destaca pela positiva, pois é notório o maior número de horas em que os valores do índice permanecem nas categorias A e B.

Realizando o mesmo estudo, mas separando os meses de aquecimento dos meses de arrefecimento, verifica-se que para a situação de aquecimento Bragança continua a ter um melhor desempenho relativamente às restantes zonas, apresentando resultados acima dos 90% nas categorias A e B para o quarto e a rondar os 80% para a sala/cozinha. No outro extremo encontra-se Faro, onde a sala/cozinha apresenta resultados superiores a 50% na categoria C. Estes resultados sugerem que a construção modular flutuante apresenta melhores desempenhos, em termos de conforto, nas zonas mais frias.

Para a situação de arrefecimento, Bragança continua a destacar-se positivamente relativamente às restantes zonas, apresentando resultados também acima dos 50% nas categorias A e B para a zona do quarto e de 40% na sala/cozinha. No outro extremo continua Faro que apresenta resultados na categoria C na ordem dos 75%, à excepção da casa de banho, onde os resultados são idênticos aos das restantes regiões o que explica pelo facto da casa de banho não ter envolvente vertical exterior. No entanto, importa

realçar que existem em todos os locais percentagens muito mais alta na categoria C do que na situação de aquecimento.

Estes resultados mostram também que, tanto na situação de aquecimento, como arrefecimento, a construção modular flutuante apresenta melhores desempenhos em termos de conforto nas zonas mais frias.

Da análise efectuada aos países da Europa em estudo, retirou-se a mesma conclusão, ou seja, existe melhor conforto térmico nos países mais frios, concretamente nas regiões da Holanda. No outro extremo, mais uma vez, encontram-se as regiões mais quentes, em especial Atenas que apresenta resultados na categoria C sempre superiores aos locais com temperaturas médias anuais mais frias. Assim, aconselha-se a equipa de projectistas a repensar o tipo de envidraçados bem como as protecções solares seleccionadas, de modo a reduzir a percentagem de resultados na categoria C.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Global Energy Review; 2009, Enerdata Publication
- [2] James Gibbons (1992). Building Energy Efficiency. Stanford University, Team Engineering Center.
- [3] The Passive Solar Design and Construction Handbook (1997). Editado por Michael J. Crosbie, Steven Winter Associates.
- [4] Viorel Badescu (2005). Candida Oancea Institute of Solar energy, faculty of Mechanical Engineering,
- [5] Mahidi Nasereddin , Michael A. Mullers, Dayana cope - Automated simulator development: A strategy for modeling modular housing production
- [6] Diekmann, et al., Measuring lean conformance, International Group of lean Construction 11<sup>th</sup> Annual Conference Virginia Tech, Blacksburg, Virginia, USA, 2003
- [7] George Lóf (1993). Active Solar Systems (Solar Heat Technologies). MIT Press.
- [8] Jorge Nascimento Rodrigues (2006). Nuclear: o debate sobre o novo modelo energético em Portugal (DL 78, 79 e 80 de 2006).  
Polytechnic University of Bucharest, Spl. Independentei 313, Bucharest 79590, Romania
- [9] Decreto-Lei n.o 79/2006 de 4 de Abril - O Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) foi aprovado pelo Decreto-Lei n.o 118/98, de 7 de Maio
- [10] Decreto-Lei n.o 80/2006 de 4 de Abril - O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei n.o 40/90, de 6 de Fevereiro.
- [11] Nuclear: o debate sobre o novo modelo energético em Portugal por Jorge Nascimento Rodrigues, DL 78, 79 e 80 de 2006
- [12] Xingxing Zhang, Xudong Zhao, Stefan Smith, Jihuan Xu, Xiaotong Yu (2011) , Review of R&D progresso and practical application of the solar photovoltaic/thermal (PV/T) technologies
- [13] Solar heating and cooling for a sustainable energy future in Europe (Revised) European solar thermal technology platform (2009)
- [14] Qian Jian-Feng, Zhang Ji-Li MA, Liang-dong. Analysis of a new photovoltaic thermal building integration system and correlative technology. Build energy environ 2010; 29(2);12-6
- [15] Mirunalini Thirugnanasambandam, S. Iniyan, Ranko Goic - A review of solar thermal technologies

- [16] Hussam Jouhara, Hasnain Merchant - Experimental investigation of a thermosyphon based heat exchanger used in energy efficient air handling units
- [17] Abd El-Baky MA, Mohamed MM, Heat pipe heat exchanger for heat recovery in air conditioning. Appl Therm Eng 2007; 27:795-801.
- [18] Rotex Solaris – Energia solar para a produção de água quente sanitária e para o aquecimento – Rotex Heating Systems GmbH [16] EPIA. Solar generation 6 - Solar photovoltaic electricity empowering the world. 2011.
- [19] Planning & Installing - Solar thermal Systems - A guide for installers, architects and engineers
- [20] R.Hu, J.L. Niu (2012), A review of the application of radiant cooling & heating systems in Mainland China
- [21] X.H. Liu, Y. Jiang, Temperature and Humidity Independent Control Air-conditioning System, first ed., China Buiding Industry Press, 2006 (in Chinese).
- [22] Sobre Volta, batatas e fótons” Cláudio Galli e “Renewable Energy –Power for a sustainable future” Boyle, G. (2004)., second edition, Oxford University Press, UK.
- [23] J.K. Kaldellis\*, D. Zafirakis, E.L. Kaldelli, K. Kavadias - Cost benefit analysis of a photovoltaic-energy storage electrification solution for remote islands - Lab of Soft Energy Applications and Environmental Protection, Department of Mechanical Engineering, Technological Education Institute of Piraeus, P.O. Box 41046, Athens 12201, Greece
- [24] Quan Z, Li N, Zhao Y, Tang X. The experimete research for solar PV/T system based on flat-plate
- [25] Kalogirou SA. Solar Energy Engineering-Processes and Systems. Elsevier; 2009.
- [26] Konarka. The Evolution of photovoltaic technology. /http://www.konarka.com/2012S.
- [27] van Sark WGJHM, Brandsen GW, Fleuster M, Hekkert MP. Analysis of the silicon market: Will thin films profit? Energy Policy 2007;35:3121–5.
- [28] Mekhilef S, Saidur R, Kamalirvestani M. Effect of dust, humidity and air velocity on efficiency of photovoltaic cells. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2012;16:2920–5.
- [29] EPIA. Solar generation 6 - Solar photovoltaic electricity empowering the world. 2011.
- [30] Raugei M, Frankl P. Life cycle impacts and costs of photovoltaic systems: Current state of the art and future outlooks. Energy 2009;34:392–9.

heat pipes in: Proceeding the 17th Chinese national HVAC&R academic conference, 2010.

[31] Copel - pura energia: [www.copel.com](http://www.copel.com)

[32] Despacho n.º 17313/2008 - Factores de conversão para tonelada equivalente petróleo (tep) de teores em energia de combustíveis seleccionados para utilização final, bem como dos respectivos factores para cálculo da Intensidade Carbónica pela emissão de gases com efeito de estufa, referidos a quilograma de CO<sub>2</sub> equivalente (kgCO<sub>2</sub>e)

[33] Norma DIN EN 1057: 1996 - European Standard – Cooper and cooper alloys – seamless, round cooper tubes for water and gas in sanitary and heating applications

[34] Bomba de calor agua/agua de alta eficiência Dimplex - Ficha de dados técnicos WI 10TU

[35] ASHRAE Thermal environmental conditions for human occupancy. - Atlanta : ASHRAE Standard 55, 2004.

[36] CEN Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of the thermal confort using claculation of thePMV and PPD índices and local thermal confort criteria - Brussels : EN ISO 7730 standard, 2005.

[37] Thermal Comfort of the Human Body as a Whole – ISO 7730:2005