



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Departamento de Engenharia Mecânica

Aplicação do conceito NZEB a uma habitação e a sua importância num sistema AVAC

JORGE MENDES

(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientador (es):

Professor Doutor Filipe Rodrigues

Professor Doutor Luís Coelho

Júri:

Presidente: Doutor Silvério João Crespo Marques

Vogais:

Doutor Carlos Augusto Santos Silva

Doutor Filipe Martins Rodrigues

Abril 2021

Página deixada propositalmente em branco



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Departamento de Engenharia Mecânica

Aplicação do conceito NZEB a uma habitação e a sua importância num sistema AVAC

JORGE MENDES

(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientador (es):

Professor Doutor Filipe Rodrigues
Professor Doutor Luís Coelho

Júri:

Presidente: Doutor Silvério João Crespo Marques
Vogais:

Doutor Carlos Augusto Santos Silva
Doutor Filipe Martins Rodrigues

Abril 2021

Página deixada propositalmente em branco

*“A poupança de energia é a primeira
fonte de energia renovável”*

Pieraldo Isolani

Página deixada propositalmente em branco

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço aos meus orientadores, Eng.º Filipe Rodrigues e Eng.º Luís Coelho, pelo voto de confiança para acompanharem este trabalho, pela disponibilidade, apoio, resiliência e pelas críticas sempre construtivas ao longo desta jornada.

Um agradecimento à Dimensionar Consultoria e Projecto, Lda. por ter facultado o projeto de arquitetura e AVAC essenciais para o estudo apresentado neste trabalho e por me ajudarem a conciliar a vida profissional com os meus estudos académicos.

Quero agradecer a todos os meus amigos e colegas que me acompanharam durante a Licenciatura e no Mestrado, pela parceria nos grupos de trabalho e por proporcionarem momentos de boa disposição ao longo do meu percurso académico.

Ao meu avô que me inculuiu o gosto pela Engenharia Mecânica. A toda a minha família agradeço pelo apoio, incentivo, paciência e carinho que me deram e têm dado ao longo da minha vida. À minha namorada por todo o apoio, paciência e amor que tem demonstrado em todos os momentos bons e menos bons.

A todos, o meu mais sincero agradecimento.

Página deixada propositadamente em branco

Resumo

A constante preocupação com as alterações climáticas causadas pelo aquecimento global e pelas emissões de Gases de Efeito de Estufa (GEE), aliada à elevada dependência energética da União Europeia (UE) e dos seus Estados Membros (EM), leva à necessidade de promover uma transição energética. A promoção da eficiência energética e a produção e consumo de energia de origem renovável e são os alicerces desta mudança de paradigma.

O setor dos edifícios, conjugado com medidas de eficiência energética e medidas de utilização racional de energia, apresenta uma componente essencial no caminho da UE e seus EM para um novo paradigma energético, por isso a UE tem vindo a publicar e a implementar políticas de eficiência energética e produção de energia renovável neste setor. Com a publicação da Diretiva 2010/31/UE relativa ao desempenho energético dos edifícios surgiu o conceito de *Nearly Zero Energy Building* (NZEB), ou seja, edifícios com um balanço energético quase nulo. Os NZEB são edifícios que apresentam um elevado desempenho energético, não só pelos consumos de energia reduzidos em relação aos edifícios convencionais, mas também por possuírem sistemas de produção/aproveitamento de energia renovável que satisfaçam parte das suas necessidades energéticas. A Diretiva estabelece um quadro bastante geral na implementação dos NZEB, pelo que cabe a cada EM definir de forma quantitativa os requisitos para um edifício ser classificado como NZEB. Em 2019, Portugal publicou as Portarias n.º 42 e 98 que impõem os requisitos mínimos para os NZEB nos edifícios de comércio e serviços e nos edifícios de habitação, respetivamente.

O presente trabalho faz uma abordagem específica aos requisitos mínimos para um edifício de habitação ser caracterizado como NZEB, cumprindo com as premissas impostas pela Portaria n.º 98/2019. O caso prático apresentado mostrou que a aplicação de sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC), aliados ao aproveitamento de energia de origem renovável, é o caminho para que os edifícios de habitação sejam classificados como NZEB. Quando comparada com sistemas tradicionais, a bomba de calor ar-água apresenta elevados níveis de eficiência energética (sempre superior à unidade), é capaz de reduzir cerca de 46% das necessidades energéticas, ter um aproveitamento de energia renovável superior a 50% e ainda reduzir até cerca de 80% das emissões de CO₂.

Palavras-chave: NZEB, Eficiência Energética, Sistemas AVAC, Energia Renovável.

Página deixada propositalmente em branco

Abstract

The constant concern with climate change caused by global warming and Greenhouse Gas (GHG) emissions, combined with the high energy dependence of the European Union (EU) and its Member States (MS), leads to the need to promote an energy transition. The promotion of energy efficiency and the production and consumption of renewable energy and are the foundations of this paradigm shift.

The building sector combined with energy efficiency measures and measures of rational use of energy, presents an essential component in the path of the EU and its MS towards a new energy paradigm, which is why the EU has been publishing and implementing efficiency policies energy and renewable energy production in this sector. With the publication of Directive 2010/31/EU related with energy performance of buildings, was introduced the concept of Nearly Zero Energy Building (NZEB), which are buildings with nearly zero energy balance. NZEB are buildings that have a high energy performance, not only for their reduced energy consumption compared to conventional buildings, but also because they have systems for the production/use of renewable energy that satisfy part of their energy needs. The Directive establishes a very general framework in the implementation of NZEB, leaving to each MS to define quantitatively the requirements for a building to be classified as NZEB. In 2019, Portugal published Ordinances No. 42 and 98 that impose the minimum requirements for NZEB in commercial and service buildings and in residential buildings, respectively.

This work takes a specific approach to the minimum requirements for a residential building to be characterised as NZEB, complying with the premises imposed by Ordinance No. 98/2019. The practical case presented showed that the application of Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC) systems, combined with the use of energy from renewable sources, is the way for residential buildings to be classified as NZEB. When compared to traditional systems, the air-water heat pump has high levels of energy efficiency (always higher than the unit), can reduce about 46% of energy needs, has a harnessing of renewable energy over 50% of the energy needs and reducing CO₂ emissions by about 80%.

Keywords: NZEB, Energy Efficiency, HVAC Systems, Renewable Energy.

Página deixada propositalmente em branco

Índice

1. Introdução	1
1.1. Motivação.....	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Estrutura do Trabalho.....	2
2. Estado da Arte	5
2.1. Legislação	5
2.1.1. Europeia.....	5
2.1.2. Nacional	8
2.2. Enquadramento Energético e Ambiental	13
2.2.1. Principais Setores Consumidores de Energia	13
2.2.2. Dependência Energética	17
2.2.3. Emissão de Gases de Efeito de Estufa	22
2.3. Edifícios NZEB	24
3. Medidas de Eficiência Energética: O Caminho para os NZEB	29
3.1. Forma, Localização e Orientação do Edifício.....	29
3.2. Envolvente térmica opaca	30
3.3. Vãos Envidraçados, Dispositivos de Proteção Solar e Sombreamento.....	35
3.4. Produção de Água Quente Sanitária	37
3.5. Sistemas de Climatização.....	39
3.5.1. Princípio de Funcionamento da Bomba de Calor	40
3.5.2. Classificação	42
3.5.3. Fluídos Frigorígenos	45
3.6. Ventilação – Mecânica e Natural	47
3.7. Aproveitamento de Energia Solar	49
3.7.1. Solar Térmico	49
3.7.2. Solar Fotovoltaico.....	53
3.7.3. Painéis Solares Híbridos (PVT).....	56

4.	Apresentação do Caso de Estudo e da Metodologia Utilizada	59
4.1.	Caracterização do Edifício	59
4.1.1.	Clima e localização geográfica	59
4.1.2.	Envolvente térmica opaca e envidraçada.....	61
4.2.	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento	62
4.2.1.	Transferência de calor por transmissão através da envolvente.....	63
4.2.2.	Transferência de calor por renovação do ar.....	68
4.2.3.	Ganhos térmicos úteis	69
4.3.	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento	72
4.3.1.	Transferência de calor por transmissão através da envolvente.....	72
4.3.2.	Transferência de calor por renovação do ar.....	73
4.3.3.	Ganhos térmicos brutos	74
4.4.	Necessidades nominais anuais de energia útil para a preparação de águas quentes sanitárias	77
4.5.	Necessidades máximas anuais de energia útil para aquecimento	78
4.6.	Necessidades máximas anuais de energia útil para arrefecimento.....	80
4.7.	Necessidades nominais anuais de energia primária	81
4.8.	Necessidades máximas nominais anuais de energia primária.....	82
4.9.	Classificação Energética	83
4.10.	Emissões de CO ₂	84
4.11.	Softwares Utilizados.....	85
4.11.1.	Hourly Analysis Program.....	85
4.11.2.	SolTerm.....	87
4.11.3.	SCE.ER	88
4.12.	Conclusões.....	88
5.	Análise e Comparações de Resultados.....	89
5.1.	Resultados obtidos para necessidades anuais de energia útil.....	89
5.2.	Cálculo de Cargas Térmicas e Simulação Energética através do software Hourly Analysis Program	90

5.3. Soluções para Aquecimento, Arrefecimento e Produção de AQS	92
5.3.1. Solução nº 1	93
5.3.2. Solução nº 2	94
5.3.3. Solução nº 3	96
5.3.4. Solução nº 4	98
5.3.5. Solução nº 5	100
5.3.6. Solução nº 6	102
5.4. Comparação entre Soluções	104
6. Conclusões	111
Bibliografia.....	115
Apêndice 1	123
Apêndice 2	125
Apêndice 3	127
Apêndice 4	135
Apêndice 5	139
Apêndice 6	141
Apêndice 7	149
Apêndice 8	151
Apêndice 9	153
Apêndice 10	155
Apêndice 11	161
Apêndice 12	165
Apêndice 13	171

Página deixada propositadamente em branco

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Valor máximo admissível de U_{max} ao longo do tempo [25].....	11
Tabela 2 – Critérios para a determinação da zona climática de inverno	60
Tabela 3 – Critérios para a determinação da zona climática de verão	61
Tabela 4 – Coeficientes globais de transferência de calor adotados	62
Tabela 5 – Resultado do primeiro termo da equação (8).....	65
Tabela 6 – Resultado do segundo termo da equação (8).....	65
Tabela 7 – Resultados obtidos para o coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis	66
Tabela 8 – Resultados obtidos para o coeficiente de transferência de calor por transmissão através de elementos em contacto com o solo.....	67
Tabela 9 – Valores obtidos dos coeficientes de transferência de calor	67
Tabela 10 – Resultados obtidos para $Q_{tr,i}$, $Q_{ve,i}$, $Q_{gu,i}$ e N_{ic}	71
Tabela 11 – Resultados obtidos para $Q_{tr,v}$, $Q_{ve,v}$, $Q_{g,v}$ e N_{vc}	77
Tabela 12 – Resultados obtidos para $Q_{tr, i ref}$, $Q_{ve,i ref}$, $Q_{gu,i ref}$ e N_i	80
Tabela 13 – Intervalos de valor R_{Nt} para determinação da classe energética em pré-certificados e certificados SCE de modelo tipo Habitação	83
Tabela 14 – Fatores de conversão de energia primária para emissões de CO_2	85
Tabela 15 – Resultados das necessidades anuais de energia útil.....	89
Tabela 16 – Cargas térmicas obtidas pelo HAP	90
Tabela 17 – Comparação entre resultados obtidos pelo HAP e SCE para as necessidades de aquecimento	91
Tabela 18 – Comparação entre resultados obtidos pelo HAP e SCE para as necessidades de arrefecimento	91
Tabela 19 – Resumo dos resultados obtidos para a solução nº 1	93
Tabela 20 – Emissões de CO_2 com a solução nº 1	94
Tabela 21 – Resumo dos resultados obtidos para a solução nº 2	95
Tabela 22 – Emissões de CO_2 com a solução nº 2	96
Tabela 23 – Resumo dos resultados obtidos para a solução nº 3	97
Tabela 24 – Emissões de CO_2 com a solução nº 3	98

Tabela 25 – Resumo dos resultados obtidos para a solução nº 4	99
Tabela 26 – Emissões de CO ₂ com a solução nº 4	100
Tabela 27 – Resumo dos resultados obtidos para a solução nº 5	101
Tabela 28 – Emissões de CO ₂ com a solução nº 5	102
Tabela 29 – Resumo dos resultados obtidos para a solução nº 6	104
Tabela 30 – Emissões de CO ₂ com a solução nº 6	104
Tabela 31 – Comparação da eficiência de cada solução	105
Tabela 32 – Resumo dos resultados obtidos nas 6 soluções	106

Índice de Figuras

Figura 1 – Consumo total de energia final por setor na UE [1].	13
Figura 2 – Consumo total de energia final por setor em Portugal [2].	14
Figura 3 – Consumo de energia final por setor em Portugal, em 2017 [2].	15
Figura 4 – Consumo energia elétrica total por setor na UE [1].	15
Figura 5 – Consumo energia elétrica total por setor em Portugal [1].	16
Figura 6 – Consumo de energia por combustíveis na Europa [1].	17
Figura 7 – Produção energia primária por combustíveis, na Europa [2].	18
Figura 8 – Dependência Energética da UE e em Portugal [3].	19
Figura 9 – Percentagem do consumo de energia elétrica gerada por fontes renováveis, na EU e em Portugal [3].	20
Figura 10 – Produção de energia solar na EU e em Portugal [2].	21
Figura 11 – Emissões de GEE na Europa e em Portugal [2].	22
Figura 12 – Percentagem das emissões de GEE na Europa e em Portugal [2].	23
Figura 13 – Definição do conceito NZEB [21].	24
Figura 14 – Mapa Europeu com os Países que forneceram exemplos práticos de NZEBs em 2014 [39].	25
Figura 15 - Edifício Solar XXI, Lisboa, Portugal [39].	26
Figura 16 – Townhouses, Belas Clube de Campo, Sintra, Portugal [41].	26
Figura 17 – Zonas climáticas de inverno (lado esquerdo) e zonas climáticas de verão (lado direito), no continente.	29
Figura 18 – Tipos de paredes construídas em Portugal ao longo dos anos [42].	31
Figura 19 – Ilustração de um painel pré-fabricado [45].	33
Figura 20 - Isolamento de uma cobertura plana [47].	34
Figura 21 – Isolamento de pavimento [47].	34
Figura 22 – Ilustração de sistemas de sombreamento [50].	37
Figura 23 – Utilização de equipamentos para produção de AQS em Portugal [51].	38
Figura 24 – Utilização de equipamentos para aquecimento (a) e arrefecimento (b) ambiente [54].	40
Figura 25 – Ilustração do ciclo de compressão a vapor [55].	41
Figura 26 – Ciclo em aquecimento e arrefecimento [56].	42
Figura 27 – Ilustração de um sistema split [54].	43
Figura 28 – Ilustração de um sistema VRF [53].	43
Figura 29 – Ilustração piso radiante [59].	45

Figura 30 – Sistema de duplo fluxo com recuperação de calor [63].....	48
Figura 31 – Ventilação natural [62]	48
Figura 32 – Esquema de princípio de funcionamento de um sistema solar térmico com permutador externo [65]	50
Figura 33 – Sistemas solares térmicos: termossifão (lado esquerdo) e circulação forçada (lado direito) [65].....	51
Figura 34 – Constituintes de um coletor solar plano [68].....	52
Figura 35 – Esquema com ligação à rede (a) e sistema autónomo (b) [70].....	53
Figura 36 – Esquema dos componentes de um módulo fotovoltaico com células de silício cristalino [69].....	55
Figura 37 – Ilustração de um coletor solar PVT [72]	57
Figura 38 – Transferência de calor na estação de aquecimento.....	72
Figura 39 – Transferência de calor na estação de arrefecimento	77
Figura 40 – Determinação do contributo de energia renovável pelo sistema split para arrefecimento, através do software SCE.ER da DGEG	95
Figura 41 – Determinação do contributo de energia renovável pelo sistema split na solução 3, através do software SCE.ER da DGEG	97
Figura 42 – Determinação do contributo de energia renovável pelo sistema VRF, através do software SCE.ER da DGEG	99
Figura 43 – Determinação do contributo de energia renovável pela bomba de calor, através do software SCE.ER da DGEG	100
Figura 44 – Determinação do contributo de energia renovável pela bomba de calor para AQS, através do software SCE.ER da DGEG	101
Figura 45 – Determinação do contributo de energia renovável pela BCG	102
Figura 46 – Determinação do contributo de energia renovável pela BCG para AQS, através do software SCE.ER da DGEG	103
Figura 47 – Comparação do contributo de energia renovável entre soluções	107
Figura 48 – Contribuição de energia renovável em aquecimento, arrefecimento e AQS..	108
Figura 49 – Comparação das emissões de CO ₂	109

Lista de Acrónimos

ADENE	– Agência para a Energia;
AQS	– Águas Quentes Sanitárias;
AVAC	– Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado;
CE	– Comissão Europeia;
CFC	– Clorofluorcarbonetos;
COP21	– 21ª Conferência das Partes da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (COP21)
DGEG	– Direção Geral de Energia e Geologia;
ELPRE	- Estratégia de Longo Prazo para a Renovação de Edifícios
EM	– Estados Membros da União Europeia;
ENU	– Espaço Não Útil;
EPBD	– <i>Energy Performance of Buildings Directive</i> ;
EVA	– <i>Ethylene-Vinyl Acetate</i> ;
GEE	– Gases de Efeito Estufa;
GWP	– <i>Global Warming Potential</i> ;
HC	– Hidrocarbonetos;
HCFC	– Hidroclorofluorcarbonetos;
HFC	– Hidrofluorcarbonetos;
HCI	– Células Heterojunção de Camada Fina Intrínseca;
LNEG	– Laboratório Nacional de Energia e Geologia;
ODP	– <i>Ozone Depletion Potential</i> ;
ONU	– Organização das Nações Unidas;
PNEC30	– Plano Nacional de Energia e Clima 2030;
PV	– Painel Fotovoltaico;
PVF	– Fluoreto de Polivinila;
PVT	– PhotoVoltaicThermal;
RCCTE	– Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios;
RECS	– Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços;
REH	– Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação;
RSECE	– Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios;

- SCE – Sistema de Certificação Energética dos Edifícios;
- UE – União Europeia;

Lista de Caracteres Latinos

- A_i – Área do elemento i da envolvente medida pelo interior [m^2]
- A_{op} – Área do elemento da envolvente opaca exterior [m^2]
- A_p – Área útil de pavimento do edifício medida pelo interior [m^2]
- $A_{s,inj}$ – Área efetiva coletora de radiação solar da superfície envidraçada “n” com a orientação “j”, na estação de aquecimento [m^2]
- $A_{s,vnj}$ – Área efetiva coletora de radiação solar da superfície envidraçada “n” com a orientação “j”, na estação de arrefecimento [m^2]
- A_w – Área total do vão envidraçado, incluindo o vidro e caixilho [m^2]
- B_j – Desenvolvimento linear da ponte térmica linear “j”, medido pelo interior [m]
- b_{tr} – Coeficiente de redução de perdas de um determinado espaço não útil ou edifício adjacente [-]
- e – Espessura do material [m]
- f_{eh} – Fator de eficiência hídrica [-]
- F_f – Fator de sombreamento de elementos verticais [-]
- F_g – Fração envidraçada do vão envidraçado [-]
- F_h – Fator sombreamento do horizonte [-]
- F_{mv} – Fração de tempo que os dispositivos de proteção solar móveis se encontram ativos [-]
- F_o – Fator de sombreamento de elementos horizontais [-]
- F_s – Fator de obstrução dos vãos envidraçados [-]
- $F_{s,inj}$ – Fator de obstrução da superfície envidraçada “n” com orientação “j”, na estação de aquecimento [-]
- $F_{s,vnj}$ – Fator de obstrução da superfície envidraçada “n” com orientação “j”, na estação de arrefecimento [-]
- F_w – Fator de redução dos ganhos solares [-]
- GD** – Graus-dias de aquecimento [$^{\circ}C.dia$]
- G_{sul} – Energia solar média na estação de aquecimento, que incide numa superfície vertical orientada a sul [$kWh/m^2.mês$]
- g_{vi} – Fator solar do vidro [-]
- $g_{\perp,vi}$ – Fator solar do vidro, para uma incidência normal à superfície [-]
- g_{Tp} – Fator solar global do vão envidraçado [-]
- g_{Tp} – Fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanentes existentes [-]

g_{Tvc} – Fator solar do envidraçado com vidro corrente e um dispositivo de proteção solar, permanente ou móvel totalmente ativado, para uma incidência solar normal à superfície [-]

H_{adj} – Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com edifícios adjacentes [W/°C]

H_{enu} – Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com espaços não úteis [W/°C]

H_{ext} – Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior [W/°C]

$H_{tr,i}$ – Coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento [W/°C]

$H_{tr,v}$ – Coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento [W/°C]

$H_{ve,i}$ – Coeficiente global de transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento [W/°C]

$H_{ve,v}$ – Coeficiente global de transferência de calor por ventilação na estação de arrefecimento [W/°C]

$I_{sol,j}$ – Energia solar acumulada na estação de arrefecimento com orientação “j” [kWh/m²]

L_v – Duração da estação de arrefecimento [hora]

M – Duração média da estação convencional de aquecimento [mês]

$MAQS$ – Consumo médio diário de referência de Águas Quentes Sanitárias [litro]

N_i – Necessidade máxima nominal anual de energia útil para aquecimento [kWh/m².ano]

N_{ic} – Necessidade nominal anual de energia útil para aquecimento [kWh/m².ano]

N_v – Necessidade máxima nominal anual de energia útil para arrefecimento [kWh/m².ano]

N_{vc} – Necessidade nominal anual de energia útil para arrefecimento [kWh/m².ano]

N_t – Necessidade máxima nominal anual de energia primária [kWh/m².ano]

N_{tc} – Necessidade nominal anual de energia primária [kWh/m².ano]

P_d – Pé direito do piso [m]

P_j – Desenvolvimento da parede em contacto com o solo “j” [m]

$QAQS$ – Energia térmica útil para a preparação de Águas Quentes Sanitárias [kWh/ano]

$Q_{g,i}$ – Ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento [kWh]

$Q_{g,v}$ – Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento [kWh]

Q_{gu} – Ganho térmico útil resultante da radiação solar através dos vãos envidraçados [kWh]

q_{int} – Ganhos térmicos internos médios [W/m²]

$Q_{int,i}$ – Ganhos térmicos internos devido às fontes internas de calor na estação de aquecimento [kWh]

$Q_{\text{int,v}}$ – Ganhos térmicos internos devido às fontes internas de calor na estação de arrefecimento [kWh]

$Q_{\text{sol,i}}$ – Ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados na estação de aquecimento [kWh]

$Q_{\text{sol,v}}$ – Ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados na estação de arrefecimento [kWh]

$Q_{\text{tr,i}}$ – Transferência de calor por transmissão através da envolvente na estação de aquecimento [kWh]

$Q_{\text{tr,v}}$ – Transferência de calor por transmissão através da envolvente na estação de arrefecimento [kWh]

$Q_{\text{ve,i}}$ – Transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento [kWh]

$Q_{\text{ve,v}}$ – Transferência de calor por ventilação na estação de arrefecimento [kWh]

R_{ph} – Taxa nominal de renovação do ar interior [h^{-1}]

R_{se} – Resistência térmica superficial exterior [$\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$]

R_{si} – Resistência térmica superficial interior [$\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$]

U – Coeficiente global de transmissão de calor [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$]

$U_{\text{bf,i}}$ – Coeficiente de transmissão térmica do pavimento enterrado “i” [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$]

$U_{\text{bw,j}}$ – Coeficiente de transmissão térmica da parede em contacto com o solo “j” [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$]

X_j – Fator de orientação para as diferentes exposições [-]

z_j – Profundidade média enterrada da parede em contacto com o solo “j” [m]

Página deixada propositadamente em branco

1. Introdução

1.1. Motivação

Durante o último século, existiu um aumento progressivo no consumo de energia. A produção dessa energia tem sido feita essencialmente à custa da queima de combustíveis fósseis tais como o petróleo e seus derivados, o carvão e gás natural [1]. Com o crescimento do consumo energético, que implicou um aumento da utilização dos combustíveis fósseis, surgiram graves problemas ambientais no planeta resultantes da emissão de gases de efeito de estufa (GEE), nomeadamente, o dióxido de carbono (CO₂). Os níveis atuais de CO₂ na atmosfera apresentam uma real e constante ameaça à estabilidade do planeta, provocando alterações climáticas com consequências ambientais à escala mundial perigosas e, eventualmente, catastróficas [2]. Assim, é imprescindível alterar os hábitos de consumo e produção de energia, ou seja, reduzir consumos energéticos e promovendo a produção e o consumo de energias alternativas de origem renovável.

Aliado ao atual problema energético e ambiental, está a dependência de um pequeno grupo de países produtores, responsáveis pelo abastecimento energético a vários países que, tais como Portugal, são bastante dependentes, estando por isso vulneráveis às flutuações do mercado no que toca ao abastecimento desta matéria-prima [3]. Uma vez que o setor dos edifícios é um dos principais setores responsáveis pelo consumo de energia na Europa, este é um dos que apresenta maior potencial para a poupança energética, pois a redução de consumos neste setor, implica uma redução significativa no consumo total de energia na Europa [2].

Edifícios eficientes e capazes de produzir energia renovável, são dos principais objetivos das entidades europeias. Para o efeito, a UE tem vindo a desenvolver e implementar políticas que visam aumentar a eficiência energética dos edifícios, reduzindo as necessidades energéticas e promovendo a produção de energia de origem renovável, para alcançar edifícios com necessidades nulas ou quase nulas, os NZEBs (Nearly Zero Energy Buildings) [4]. Cabe a todos os EM a implementação destas políticas que irão reduzir consideravelmente a dependência energética, reduzir as emissões de CO₂, sem comprometer a qualidade de vida dos cidadãos.

É neste contexto que se insere o tema desta Dissertação, sendo este um tema atual que se encontra em evolução, não só a nível nacional como a nível internacional e mundial.

1.2. Objetivos

Este trabalho tem como objetivo aplicar o conceito de edifícios com necessidades energéticas quase nulas (NZEB) introduzido pela Diretiva 2010/31/UE relativa ao desempenho energético dos edifícios, transposta para a legislação nacional através da Portaria n.º 98/2019 de 2 de abril.

Os NZEB requerem soluções construtivas, sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) e dispositivos elétricos que apresentem elevados níveis de desempenho energético, bem como sistemas de produção de energia renovável.

Desta forma, um dos principais objetivos desta Dissertação é o estudo de uma habitação unifamiliar, propondo algumas soluções nos sistemas AVAC e na produção de Águas Quentes Sanitárias (AQS) que contribuam para o aumento da eficiência energética e para o aproveitamento de energia de origem renovável, de modo que a habitação possa ser classificada como NZEB.

1.3. Estrutura do Trabalho

O presente documento está organizado em seis capítulos. A motivação e os objetivos da Dissertação são abordados no presente capítulo.

No capítulo 2 é feita uma descrição das políticas energéticas, fazendo uma revisão à evolução da legislação referente ao setor energético e ambiental na Europa e em Portugal. Este capítulo aborda o panorama energético e a dependência energética, na Europa e em Portugal, bem como as emissões de gases de efeito de estufa. É feita uma abordagem ao conceito NZEB, dando alguns exemplos de edifícios em Portugal.

As medidas de eficiência energética para alcançar o conceito NZEB, são apresentadas no capítulo 3. Este capítulo pretende efetuar a caracterização de soluções construtivas e de tecnologias passíveis de integrarem os edifícios NZEB, tais como, sistemas de AVAC, produção de águas quentes sanitárias e sistemas de produção de energia renovável através da energia solar.

É no capítulo 4 que é aplicada a metodologia e é demonstrado os cálculos das necessidades de energia útil numa habitação unifamiliar.

No quinto capítulo são estudadas e comparadas seis soluções com equipamentos distintos para fornecer aquecimento, arrefecimento e produção de AQS, de modo a compreender o seu impacto na classificação NZEB da habitação.

Por fim, no capítulo 6, são retiradas conclusões sobre o trabalho realizado e apresentadas perspetivas para trabalhos futuros.

Página deixada propositadamente em branco

2. Estado da Arte

Este capítulo descreve algumas políticas energéticas, fazendo uma revisão à evolução da legislação referente ao setor energético e ambiental na Europa e em Portugal. O panorama energético e a dependência energética, na Europa e em Portugal, bem como as emissões de GEE também são abordados neste capítulo, no qual também é descrito o conceito NZEB, dando alguns exemplos de edifícios em Portugal.

2.1. Legislação

2.1.1. Europeia

As políticas energéticas que a UE tem vindo a implementar ao longo das últimas décadas, visam impulsionar não só a melhoria do desempenho energético, como também reduzir a dependência energética da UE e reduzir as emissões de GEE [4].

Em consequência do Protocolo de Quioto, discutido e negociado em 1997, em Quioto no Japão, entrou em vigor a Diretiva 2002/91/CE, a 16 de dezembro de 2002, com o objetivo de promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios da UE, tendo em conta as condições climáticas externas e as condições locais, bem como as exigências em matéria de clima interior e a rentabilidade económica [5].

Em março de 2007, o Conselho Europeu reforçou a necessidade de aumentar a eficiência energética, com o objetivo de reduzir 20% do consumo de energia até 2020, através da aplicação do “Plano de Ação para a Eficiência Energética: Concretizar o Potencial” que tinha sido criado em 2006. O Plano de Ação identifica um potencial de redução do consumo de energia em mais de 20% até 2020, face aos valores de 1990 [6].

A poupança de energia e o aumento da eficiência energética, constituem partes importantes no impacto da redução das emissões de GEE e no cumprimento do Protocolo de Quioto à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas, sendo por isso fundamental a utilização crescente de energia produzida por fontes renováveis. Desta forma, a 23 de abril de 2009, foi publicada a Diretiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis. Esta Diretiva fixa objetivos a serem cumpridos pelos EM para a quota global de energia renovável no consumo final bruto

de energia, bem como a quota de energia proveniente de fontes renováveis consumida pelos transportes [7].

Uma vez que a redução de emissões de GEE e o aumento de eficiência energética continuam a ser fundamentos políticos foi publicado, em 2009, a Diretiva 2009/125/CE relativa à criação de um quadro para definir os requisitos de conceção ecológica dos produtos relacionados com o consumo energético – Diretiva *Ecodesign* [8]. Assim, um dos principais objetivos do *ecodesign* é o desenvolvimento de produtos sustentáveis, ou seja, produtos com baixo impacto ambiental ao longo do ciclo de vida – extração das matérias-primas, fabricação, distribuição, utilização e fim de vida – e produtos com elevada eficiência energética [9].

Em maio 2010, o Jornal Oficial da UE publicou a Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho da UE, substituindo a diretiva 2002/91/CE, reforçando as exigências mínimas para os edifícios, no âmbito da eficiência energética, que tinham sido estipuladas em 2002 [4]. Comparando a nova EPBD com a versão anterior, verifica-se que a reformulação da Diretiva estabelece alterações significativas, como por exemplo, a abolição do limite de 1.000 m² na aplicação dos requisitos em caso de grandes reabilitações, a introdução de requisitos a nível dos sistemas de climatização, a intensificação dos processos de inspeção e da qualidade dos certificados energéticos, conforme é descrito pela Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) [10].

Com a entrada em vigor da Diretiva 2010/31/UE, em 2012, os requisitos mínimos têm sido muito mais exigentes e controlados a nível europeu por uma metodologia que abrange, as características térmicas, instalações de aquecimento e ar condicionado, a aplicação de energia proveniente de fontes renováveis os sombreamentos, a luz natural adequada, entre outros. Nesta Diretiva, em que os requisitos passaram a abranger as frações autónomas, elementos construtivos e sistemas técnicos, surge também o conceito “edifícios com necessidades quase nulas de energia”, ou seja, NZEB (*Nearly Zero Energy Buildings*), pelo que os EM devem elaborar planos nacionais para aumentar o número deste tipo de edifícios. De acordo com o ponto 1 do artigo 9 da mesma diretiva, os EM são obrigados a “o mais tardar em 31 de Dezembro de 2020, todos os edifícios novos sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia e, após 31 de dezembro de 2018, os edifícios novos ocupados e detidos por autoridades públicas sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia”, isto é, os novos edifícios tenham desempenhos energéticos muito elevados, reforçando assim a importância da eficiência

energética e da utilização de energia proveniente de fontes renováveis, para a dependência energética da UE e redução das emissões de GEE [4].

No dia 25 de outubro de 2012 foi divulgada a Diretiva 2012/27/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa à eficiência energética e que altera as Diretivas 2009/125/CE e 2010/31/UE. É de referir que, na Diretiva 2012/27/UE, é possível ler “o objetivo da presente diretiva, (...), não pode ser suficientemente alcançado pelos EM se não foram adotadas medidas adicionais nessa matéria” sendo então necessário um aumento da promoção de serviços energéticos e da adoção de outras medidas de melhoria da eficiência energética. Para o efeito, a Diretiva estabelece um quadro comum de medidas de promoção da eficiência energética, com o objetivo de assegurar o grande objetivo da união: atingir 20% em matéria de eficiência energética até 2020, deixando, posteriormente, o caminho aberto para novas melhorias nesse domínio [11].

Cerca de seis anos depois é publicada a Diretiva 2018/844/UE (alterações à EPBD) que altera a Diretiva 2010/31/UE e a Diretiva 2012/27/UE em diversos pontos, como por exemplo, no desempenho energético de um edifício e nas necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento de espaços. Esta Diretiva surge no âmbito de fazer cumprir os compromissos ambiciosos da UE, com vista a redução das emissões de GEE em pelo menos 40% até 2030 (face aos valores de 1990), o aumento do consumo de energias renováveis, garantir a segurança energética, a competitividade e sustentabilidade da Europa, por exemplo, através da transformação dos edifícios existentes em edifícios com necessidades quase nulas de energia. Tornar os edifícios energeticamente mais eficientes permite uma melhoria do nível de conforto térmico, qualidade do ar interior, redução da pobreza energética, entre outros. Portugal, criou a Estratégia a Longo Prazo para a Renovação de Edifícios (ELPRE) que decorre do disposto no artigo 2º-A da Diretiva 2018/844/EU [12].

A 11 de dezembro de 2018, foi publicada a Diretiva Europeia 2018/2001 que veio reformular a Diretiva 2009/28/CE, relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis, e entrará em vigor a 1 de janeiro de 2021. Esta reformulação estabelece a meta vinculativa de reduzir as emissões de GEE em, pelo menos, 40% relativamente aos níveis de 1990 até 2030, sendo que estabelece ainda a meta da União para 2030 relativa à quota de energia renovável consumida na União de, pelo menos, 32%. É nesta Diretiva que surge o conceito de comunidade de energia renovável e estabelece ainda regras sobre apoios financeiros à eletricidade produzida

por fontes renováveis, ao autoconsumo dessa eletricidade, à utilização de energia renovável nos setores de aquecimento e arrefecimento e também no setor dos transportes. Para o efeito, cabe aos EM a definição do respetivo contributo a fim de alcançar os objetivos impostos pela UE, através da aplicação e cumprimento dos seus planos nacionais em matéria de energia e clima [13].

2.1.2. Nacional

Uma das prioridades da UE é o consumo de energia sustentável através da aplicação do “Plano de Ação para a Eficiência Energética: Concretizar o Potencial”, segundo a Diretiva 2010/31/UE, reduzir a dependência dos combustíveis fósseis e as emissões dos GEE [4].

Devido à necessidade de existir um instrumento legal que regulamentasse as condições térmicas dos edifícios de modo a melhorar as condições de salubridade, de higiene e de conforto, estando estes fatores relacionados com o consumo de energia para o conforto térmico (aquecimento e arrefecimento), para o conforto visual (iluminação) e com a qualidade da construção dos edifícios em geral, foi criado e publicado, a 6 de fevereiro de 1990, o Decreto-Lei nº 40/90 relativo ao Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Este documento, atualmente revogado, teve como principal objetivo a melhoria da qualidade térmica da envolvente e vinha estabelecer as regras a verificar no projeto de edifícios de modo que as exigências de conforto térmico no seu interior pudessem ser asseguradas sem consumo excessivo de energia e os elementos de construção não sofressem efeitos patológicos derivados de condensações [14].

A 7 de maio de 1998, foi publicado o Decreto-Lei nº 118/1998, relativo aos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), uma vez que as necessidades de conforto térmico e qualidade do ar interior dos edifícios implicam o recurso a meios de ventilação, aquecimento, arrefecimento, humedificação e desumidificação, pelo que a utilização destes meios deve ser efetuada de modo a assegurar as exigências ambientais e o uso racional da energia [15].

Após a publicação da Diretiva 2002/91/CE, relacionada com o Desempenho Energético dos Edifícios, Portugal enquanto EM transpôs esta diretiva para ordem jurídica nacional através da criação dos três Decretos-Lei n.os 78/2006, 79/2006 e 80/2006, publicados em abril de 2006, relativos ao Sistema Nacional de Certificação

Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) [16], ao Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) [17] e ao Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) [18].

A Diretiva n.º 2006/32/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de abril de 2006, relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos, transposta pelo Decreto-Lei n.º 319/2009, de 3 de novembro, estabeleceu a obrigação dos EM apresentarem à Comissão Europeia planos de ação de eficiência energética. Neste contexto, o primeiro Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) para o período de 2008-2015, que contemplava um conjunto de medidas com o objetivo de alcançar até 2015, uma melhoria da Eficiência Energética equivalente a 9,8% do consumo final de energia. Para o Horizonte 2020, e à luz da Diretiva n.º 2012/27/UE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa à eficiência energética, o objetivo foi redefinido para um limite máximo ao consumo de energia primária em 2020 equivalente a uma redução de 20%, tendo sido posteriormente adotado por Portugal uma meta mais ambiciosa de redução de 25% [19].

A Diretiva 28/2009/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de abril de 2009, surge a obrigatoriedade dos países membros da UE submeterem um plano de promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis. O Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER), fixa objetivos nacionais para cada EM relativos à quota proveniente de Fontes de Energia Renováveis (FER), consumida nos setores dos transportes (FER-T), eletricidade (FER-E) e aquecimento e arrefecimento (FER-A&A) em 2020. Portugal preparou e apresentou o primeiro plano nacional de ação em 2010, no qual se comprometeu a atingir os objetivos estabelecidos, nomeadamente com uma meta global de 31,0% de renováveis no consumo final de energia e 10,0% de renováveis no consumo final de energia nos transportes. Posteriormente, Portugal reviu o seu PNAER, no qual mantém o nível de ambição e exigência. A incorporação FER foi recalculada desde 2014, com a inclusão do contributo das bombas de calor [19].

Com a criação da Diretiva 2010/31/UE, os Decretos-Lei n.os 78/2006, 79/2006 e 80/2006, foram objeto de um processo de revisão onde surgiu o Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto de 2013 (atualmente em vigor), relativo ao Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) integra o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), num único diploma. É através

do Decreto-Lei mencionado que Portugal passa a ter todo um conjunto de obrigatoriedades a nível de desempenho energético dos edifícios, tendo surgido o conceito de edifícios com necessidades energéticas quase nulas, NZEB. Devem ter necessidades quase nulas de energia [20]:

- Edifícios novos licenciados após 31 de dezembro de 2020;
- Edifícios novos na propriedade ou ocupados por uma entidade pública, após 31 de dezembro 2018;

Edifícios com necessidades quase nulas de energia (NZEB) são edifícios que têm um elevado desempenho energético onde a satisfação das necessidades de energia resulta, na sua maioria, de energia proveniente de fontes renováveis, produzidas no local ou na sua vizinhança [20]. As duas regras fundamentais para alcançar os NZEB são: proteção da envolvente (otimização do isolamento térmico) e o complemento com energias renováveis, em substituição da queima de combustíveis fósseis sólidos ou gasosos [21].

Em Portugal, a legislação que atualmente impõe requisitos sobre a envolvente térmica é o Decreto-Lei n.º 118/2013, que integra o REH, sendo através da Portaria n.º 349-B/2013 que são estabelecidos os requisitos de conceção para edifícios novos e intervenções, dos edifícios de habitação [22]. Os requisitos de qualidade térmica da envolvente são expressos em valores de coeficiente global de transmissão térmica da envolvente. Este parâmetro determina a quantidade de calor que é transmitida através de uma superfície, pelo que quanto menor for este valor, mais eficiente será a envolvente no que diz respeito a ganhos e perdas de calor [23].

A 22 de outubro de 2015, foi publicada a Portaria n.º 379-A/2015 que procede à primeira alteração da Portaria n.º 349-B/2013, que define a metodologia de determinação da classe de desempenho energético, bem como os requisitos de comportamento técnico e de eficiência dos sistemas técnicos dos novos edifícios e edifícios sujeitos a intervenções. Esta Portaria estabelece requisitos de qualidade térmica da envolvente, expressos em valores de coeficiente de transmissão térmica, mais exigentes [24].

De modo a melhor compreender a importância da otimização do isolamento térmico, elaborou-se a Tabela 1 onde se pode verificar a redução do limite máximo do

valor do coeficiente global de transferência de calor (U_{max}), para edifícios de habitação, ao longo dos anos [25].

Tabela 1 –Valor máximo admissível de U_{max} ao longo do tempo [25]

U_{max} (W/m ² .°C)				
Ano/Envolvente	Paredes	Coberturas	Pavimentos	Vãos Envidraçados
<1960	1,97 a 2,02	2,77 a 2,96	0,87 a 1,01	4,29 a 4,4
1990	1,30 a 1,36	2,67 a 2,78	1,00 a 1,02	4,20 a 4,26
2006	0,99 a 1,10	2,42 a 2,19	1,00 a 1,03	3,73 a 3,84
2013	0,49 a 0,54	0,48 a 0,54	0,73 a 0,83	2,61 a 2,94
2016	0,35 a 0,50	0,30 a 0,40	0,30 a 0,40	2,20 a 2,80

Através da Tabela 1 constata-se que ao longo das últimas décadas tem existido um enorme esforço de modo a impor requisitos cada vez mais exigentes para a proteção da envolvente térmica dos edifícios de habitação, verificando-se reduções do valor máximo do coeficiente global de transferência de calor entre 50 a 80%. Desta forma, é visível que Portugal está empenhado na proteção da envolvente cumprindo assim um dos pilares para alcançar os edifícios NZEB [25].

No entanto, só em 2019 é que o conceito NZEB aplicado aos edifícios de habitação ficou totalmente definido através da publicação da Portaria n.º 98/2019 de 2 de abril, que o caracteriza em dois pontos: necessidades energéticas e aproveitamento de fontes de energia renovável. No que diz respeito às necessidades energéticas, é imposto que o valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}) deve ser inferior ou igual a 75 % do seu valor máximo (N_i) e que o valor das necessidades energéticas nominais de energia primária (N_{tc}) deve ser inferior ou igual a 50% do seu valor máximo (N_t). No que toca ao aproveitamento de energia renovável, é imposto que os sistemas para esse fim devem suprir pelo menos 50% das necessidades anuais de energia primária dos usos regulados, ou seja, aquecimento, arrefecimento e produção de águas quentes sanitárias [26].

A determinação das necessidades energéticas anteriormente referidas e que caracterizam os edifícios de habitação NZEB, é feita através da metodologia descrita nos seguintes Despachos:

Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013 – Estabelece os fatores de conversão entre energia útil e energia primária a utilizar na determinação das necessidades nominais anuais de energia primária [27];

Despacho (extrato) n.º 15793-E/2013 – Estabelece as regras de simplificação a utilizar nos edifícios sujeitos a grandes intervenções, bem como existentes [28];

Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013 – Procede à publicação dos parâmetros para o zonamento climático e respetivos dados [29];

Despacho (extrato) n.º 15793-H/2013 – Estabelece as regras de quantificação e contabilização do contributo de sistemas para aproveitamento de fontes de energia renovável, de acordo com o tipo de sistema [30];

Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013 – Estabelece as metodologias de cálculo para determinar as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente, as necessidades nominais de energia útil para a produção de águas quentes sanitárias (AQS) e as necessidades nominais anuais globais de energia primária [31];

Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013 – Procede à publicação das regras de determinação da classe energética [32];

Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 – Publicação dos parâmetros térmicos para o cálculo dos valores que integram o presente despacho [33];

Portugal ambiciona estar na vanguarda da transição energética. Para tal, foram definidas metas exigentes para 2030, através do Plano Nacional de Energia e Clima (PNEC30), que estabelece objetivos nacionais para as emissões de GEE, energias renováveis e eficiência energética, como por exemplo, a redução de 45 a 55 % das emissões de GEE face a 2005, alcançar uma quota de 47 % de energia renovável no consumo final de energia e um aumento de cerca de 35 % da eficiência energética [34].

Com o objetivo de cumprir as metas acima referidas, surge o Decreto-Lei n.º 162/2019, de 25 de outubro, estabelecendo regras aplicadas ao autoconsumo de energia renovável e à atividade de produção associada às instalações de utilização do autoconsumidor de energia renovável. Este Decreto-Lei, que transpõe parcialmente a Diretiva 2018/2001, relativa à promoção da utilização de energias renováveis, visa também facilitar o autoconsumo de energia e comunidades de energia renovável,

criando condições para estabelecer soluções inovadoras baseadas no aproveitamento das novas oportunidades tecnológicas [35].

2.2. Enquadramento Energético e Ambiental

2.2.1. Principais Setores Consumidores de Energia

Os principais setores responsáveis pelo consumo de energia na Europa podem ser divididos em cinco, os transportes, a indústria, os edifícios de comércio e serviços, os edifícios de habitação e outros, por exemplo, a pesca e agricultura. Como se pode verificar na Figura 1, os três grandes consumidores de energia, medida em energia primária são, desde 1990 até 2017, os transportes, os edifícios de habitação e a indústria, sendo estes os que apresentam maiores variações no consumo de energia final [1].

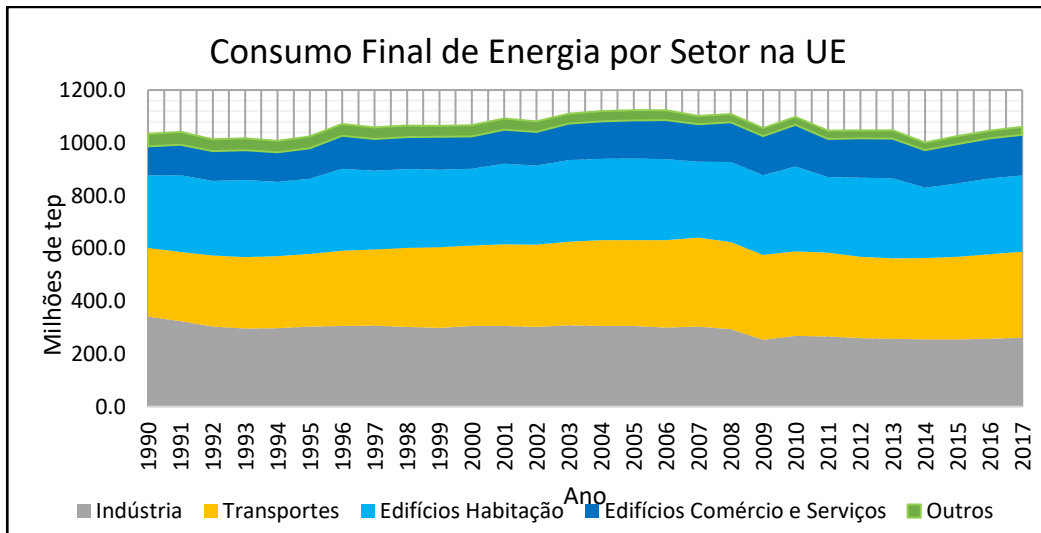


Figura 1 – Consumo total de energia final por setor na UE [1].

É possível constatar que desde a década de 90 tem havido um aumento do consumo de energia, nomeadamente, no setor dos transportes (cerca de 20%) e no setor dos edifícios de comércio e serviços (cerca de 28%), ao contrário da pesca e da agrícola que têm vindo a consumir cada vez menos energia (cerca de 35%). É também de notar que, desde 1990 até 2017, o setor da indústria tem vindo a reduzir o seu consumo de energia final, cerca de 24%, correspondendo a cerca de 80 milhões de tep. No período compreendido entre 2008 e 2009, período em que a UE e os seus EM enfrentaram a crise económica, observam-se acentuadas reduções no consumo de energia final em todos os setores, principalmente, nos três maiores consumidores de energia mencionados. A partir de 2014, verifica-se uma recuperação e o aumento da confiança

das economias europeias através do aumento gradual do consumo energético [1]. Em 2017, o setor que regista o maior consumo é o dos transportes com 31%, seguido pelos edifícios de habitação com 27% e pela indústria com 25%. O setor dos edifícios de comércio e serviços representa cerca de 15% do consumo final de energia e o setor agrícola possui cerca de 2% [1]. Apesar do setor dos edifícios (residenciais e não residenciais) representar, em 2017, cerca de 42% na UE e sendo o setor de maior consumo energético, no contingente nacional é diferente.

Em Portugal, o maior setor consumidor de energia, desde 2002, é o dos transportes e tem vindo a aumentar de forma bastante acentuada, aumentando assim o consumo total de energia, como se pode verificar na Figura 2.

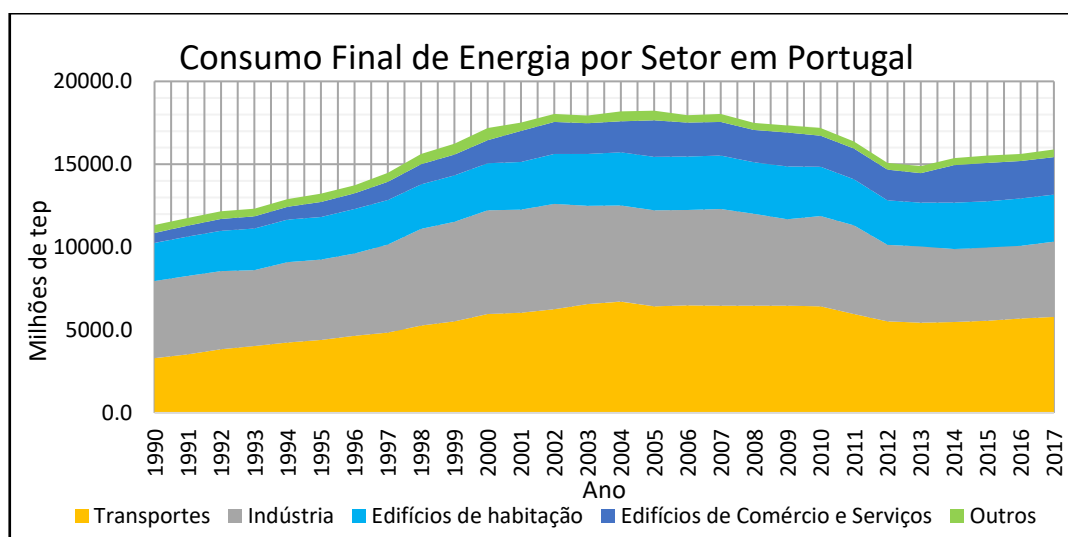


Figura 2 – Consumo total de energia final por setor em Portugal [2].

O setor da indústria, apesar de ter registado consumos mais elevados desde 1997 até 2007, a partir de 2008 o seu consumo tem vindo a diminuir [2]. É possível constatar que após o ano de 2009, houve uma quebra no consumo de energia em todos os setores, à semelhança da UE, especialmente nos setores dos transportes, indústria e edifícios de habitação, isto devido à crise económica anteriormente mencionada. Porém, desde 2013, o consumo de energia tem vindo a aumentar conforme se observa na Figura 2 [32].

Na Figura 3 é apresentado o consumo de energia em Portugal, no ano de 2017, de modo a compreender a situação do País enquanto EM. Observa-se que o setor dos transportes também é o maior consumidor (com 37 %), seguido de imediato pela indústria (com 28 %). Em Portugal, o setor agrícola e da pesca apresenta um valor diminuto, semelhante ao resto da Europa [2].

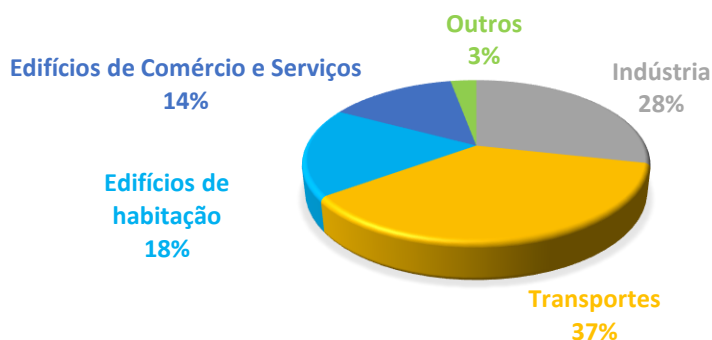


Figura 3 – Consumo de energia final por setor em Portugal, em 2017 [2]

Os edifícios de habitação, no território nacional, possuem uma quota inferior comparando com a UE, ainda assim representam um consumo energético significativo, cerca de 18 %. Os edifícios de comércio e serviços são responsáveis por cerca de 14 %, fazendo com que o setor dos edifícios, residenciais e não residenciais, representem cerca de 32 % do consumo final de energia nacional [2].

Fazendo uma análise específica ao consumo de energia elétrica na UE, verifica-se, através da Figura 4, que o consumo de eletricidade foi sempre crescente, com exceção no período da crise económica que foi decrescente (entre 2008 e 2010), atingindo, em 2016, um aumento de cerca de 20% face aos valores em 1990 [1].

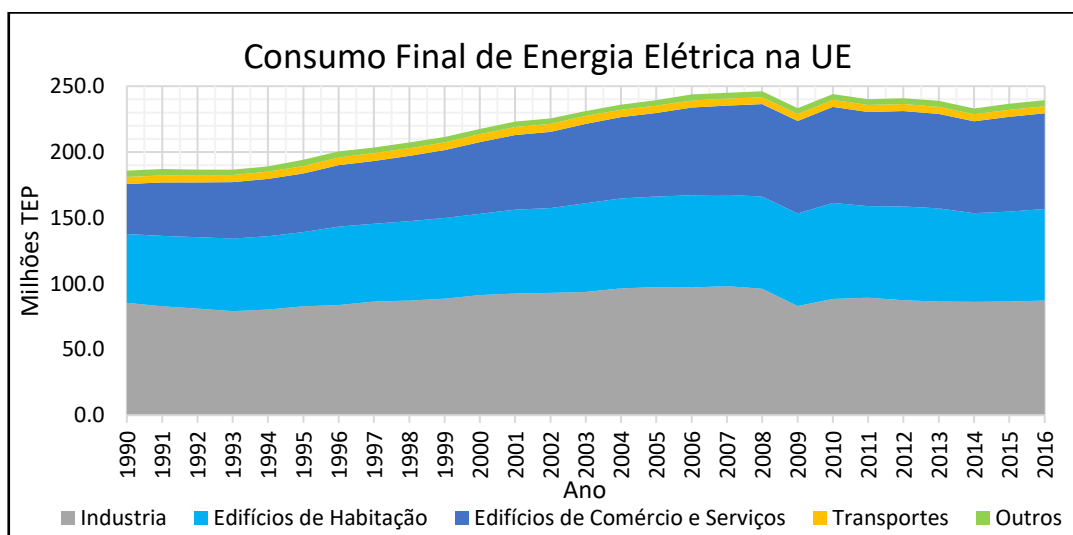


Figura 4 – Consumo energia elétrica total por setor na UE [1].

De acordo com a Figura 4 observa-se que o setor dos transportes deixou de ter tanta relevância neste tipo de consumo energético, uma vez que este setor utiliza outros tipos de fontes de energia (como por exemplo, produtos vindos do petróleo). Embora não haja um crescimento no consumo de energia elétrica a nível industrial, este setor apresenta

um consumo muito significativo na UE. É de notar que o setor dos edifícios constitui um peso bastante elevado no consumo de energia elétrica, cerca de 59% em 2016, sendo que nesse ano 30% do consumo elétrico pertenceram aos edifícios de comércio e serviços e 29% para os edifícios de habitação. No setor dos edifícios, verifica-se um crescimento na procura de energia elétrica muito expressivo, cerca de 36% em 16 anos, sendo por isso o maior consumidor de energia elétrica na EU [1].

Efetuada a mesma análise no território nacional observa-se, através da Figura 5, que o consumo de eletricidade em Portugal tem sido crescente desde 1990 até 2016 (com a exceção no período da crise económica) à semelhança do panorama europeu.

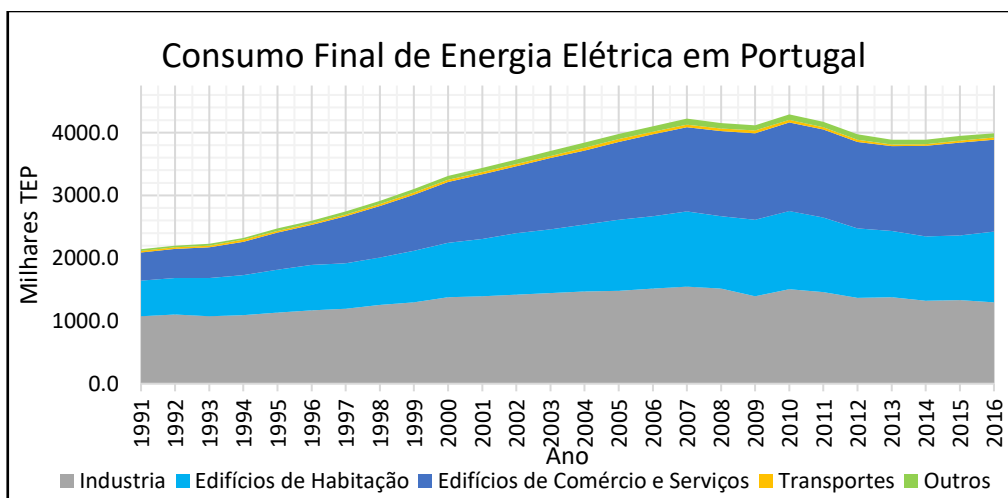


Figura 5 – Consumo energia elétrica total por setor em Portugal [1]

No entanto, o aumento do consumo elétrico em Portugal foi bem mais acentuado do que a média europeia, uma vez que durante alguns anos (2006, 2007 e 2010) o seu consumo duplicou face aos valores registados em 1990, pelo que, em 2016, verifica-se um aumento de cerca 46% face ao consumo no princípio da década de 90 [1].

Segundo a Figura 5 é possível observar que tanto no setor dos transportes como na pesca e agricultura, o consumo de eletricidade é diminuto face aos outros setores. A indústria revela ter uma fatia considerável nas necessidades elétricas do País, no entanto, desde 2013, que o setor dos serviços é quem assume o papel principal no consumo de eletricidade, apresentando um enorme aumento ao longo dos últimos 15 anos. À semelhança deste, vem o setor doméstico onde se observa também um aumento muito significativo, seguido de um decréscimo (entre 2010 e 2015) e que, posteriormente, registou um aumento contrariando os restantes setores. Em 2016 o setor com maior consumo final de energia elétrica em Portugal foi o dos edifícios de comércio e serviços

representando cerca de 37%, seguido pela indústria com 33% e pelos edifícios de habitação com 28% [1].

Desta forma, é possível concluir que em Portugal, assim como na UE, o setor dos edifícios de comércio e serviços é aquele que tem registado o maior aumento do consumo de energia elétrica. Ainda assim, o setor dos edifícios de habitação também representa uma quota bastante relevante na fatura elétrica. Conclui-se assim que o setor dos edifícios é sem dúvida o maior responsável pelo consumo de energia elétrica, na UE e em Portugal. Conforme se apurou na análise realizada, este setor tem um peso elevado no balanço energético e por isso ser tão importante a aplicação de medidas que reduzam o seu consumo de modo a contrariar a crescente evolução nas últimas décadas.

2.2.2. Dependência Energética

Uma vez que a energia pode ser produzida por diferentes tipos de combustível, é importante conhecer as fontes que produzem energia, a sua evolução e tentar prever qual a sua tendência para o futuro. As principais fontes de energia são os combustíveis fósseis (petróleo, gás natural e carvão), energia nuclear e fontes de energia renovável [1].

Analisando os vários tipos de combustíveis que são consumidos para a produção de energia, constata-se que os produtos petrolíferos estão em primeiro lugar e com uma diferença significativa para os restantes, seguido pelo gás natural, combustíveis sólidos, energias renováveis e, por último, a energia nuclear [1].

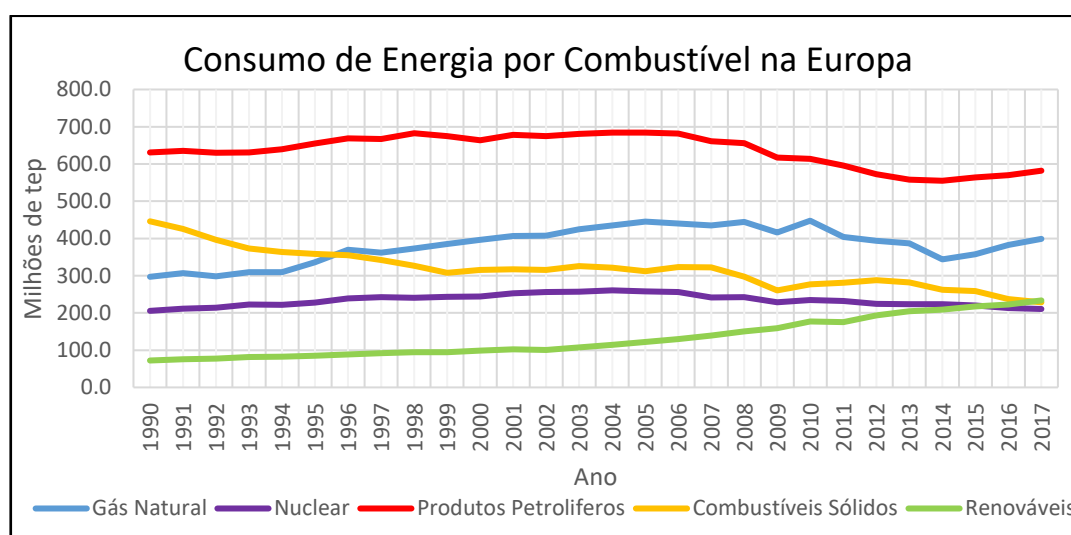


Figura 6 – Consumo de energia por combustíveis na Europa [1]

Através da Figura 6 verifica-se que, ao longo das últimas décadas, a utilização dos produtos petrolíferos e da energia nuclear, para a produção de energia, não têm sofrido

grandes variações, ao contrário dos combustíveis sólidos que apresentam uma descida na quota de mercado, cerca de 51%, desde 1990 até 2017.

A utilização de gás natural mostra um percurso com algumas oscilações no seu consumo, no entanto, é possível afirmar que o uso deste combustível para a produção de energia, desde 1990 até 2017, tem vindo a aumentar, cerca de 25%, que corresponde a 101,4 milhões de tep. No que toca às energias renováveis, esta fonte de energia demonstra um crescimento contínuo, especialmente, no ano 2003 a partir do qual se revela um incremento significativo [1].

O estudo do consumo de energia por tipo de combustível é fundamental, porém, é também de extrema importância investigar a geração de energia através destas fontes, de modo a compreender a dependência energética, a nível Europeu e Nacional. Na Figura 7 está representado a geração total de energia primária, por combustível, na Europa, entre os anos 1990 até 2017.

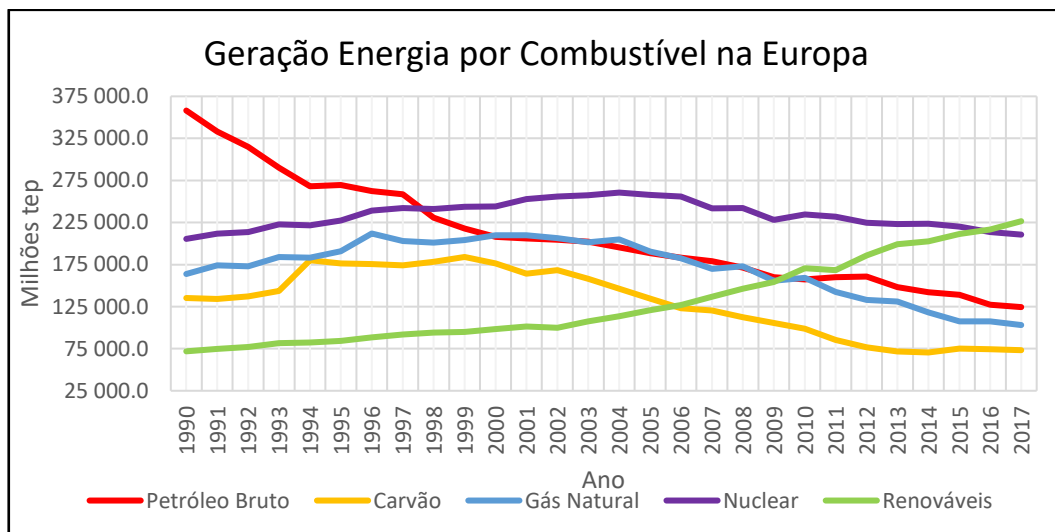


Figura 7 – Geração energia por combustíveis, na Europa [2]

Embora a diferença não seja significativa perante a energia nuclear, é a energia renovável que é mais gerada na UE que ultrapassa a produção de energia nuclear em 2016. A produção de petróleo bruto, de gás natural e carvão, para além de terem vindo a decrescer acentuadamente, atingiram valores substancialmente baixos em 2017, quando comparado com o ano de 1990 [2]. As energias renováveis demonstram, desde 1990 até 2017, um crescimento na produção de energia primária de cerca 68%, correspondendo, aproximadamente, a 155 milhões de tep. Por outro lado, o petróleo

bruto apresenta uma queda abrupta de, aproximadamente, 70% a que corresponde 233 milhões de tep [2].

Desta forma, observa-se que a UE está bastante empenhada na geração de energia por fontes renováveis, estando prestes a alcançar as metas estipuladas impostas na Diretiva 2018/2001/EU de 32% de energia renovável produzida até 2030 (em 2017 registou cerca de 31%) [2]. Contudo, para alcançar níveis de sustentabilidade mais elevados, a UE deve de facto aumentar o consumo de energia proveniente das fontes renováveis, diminuindo a utilização de fontes de energia fóssil.

Ao comparar o consumo energético e a geração de energia, por combustível na Europa, é possível chegar à conclusão de que a UE está profundamente dependente dos combustíveis oriundos do petróleo e, ao consumir mais energia proveniente desta fonte do que produz, tem de proceder à importação de elevadas quantidades de modo a satisfazer as suas necessidades energéticas.

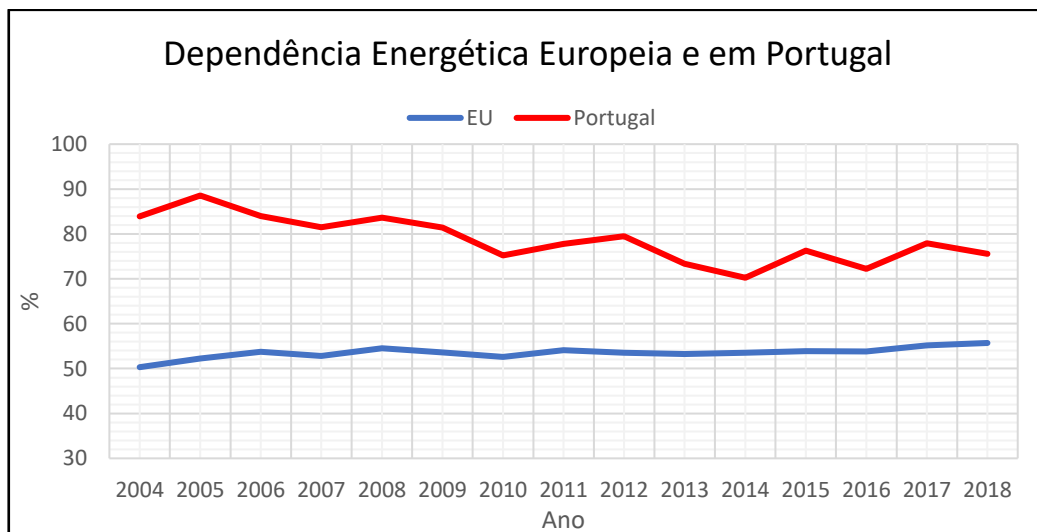


Figura 8 – Dependência Energética da UE e em Portugal [3]

Ao observar a Figura 8, onde está representada a dependência energética da UE e de Portugal, verifica-se que nos últimos 12 anos a dependência energética da UE tem vindo a aumentar gradualmente, cerca de 9%, pelo que em 2018, registou um valor de, aproximadamente, 55%. Apesar deste valor ser relativo a 2018, os registos da última década indicam de forma clara que a Europa produz menos de metade da energia que consome, comprovando assim que a diminuição da produção de energia por produtos petrolíferos não foi devidamente acompanhada pela redução do consumo desta. Em relação ao contingente nacional, observa-se uma oscilação na sua dependência

energética nos últimos 12 anos, no entanto, tem vindo a diminuir progressivamente (cerca de 9%) contrariando assim a tendência europeia. Contudo, dependência energética Nacional, que registou o valor máximo de 88% em 2005, assume valores excessivamente elevados e acima da média europeia, pelo que em 2018 apresentou uma dependência de cerca 75% [3].

Portugal ao apresentar uma dependência energética bastante elevada, tem uma excelente oportunidade em investir noutras fontes de energia, por exemplo, a energia proveniente de fontes renováveis que são uma poderosa ferramenta no combate à dependência energética. Em Portugal, o consumo de energia elétrica proveniente de fontes renováveis tem vindo a aumentar ao longo dos últimos anos, superando a média europeia, conforme se verifica na Figura 9 [3].

De acordo com a Figura 9, tanto na UE como em Portugal, o consumo de energia primária gerada por fontes renováveis tem vindo a crescer, apesar de ainda apresentar valores reduzidos. Através da Figura 9 observa-se ainda que a partir do ano de 2005 até 2008, houve um impulso no consumo de energia primária com origem renovável o que fez com que a dependência energética nacional decrescesse nesse período, o mesmo se observa entre os anos de 2013 e 2015. Comparando com a média europeia em 2018, Portugal apresenta, cerca de 30% no consumo de primária vinda de fontes renováveis, contra cerca de 19% na UE [3].

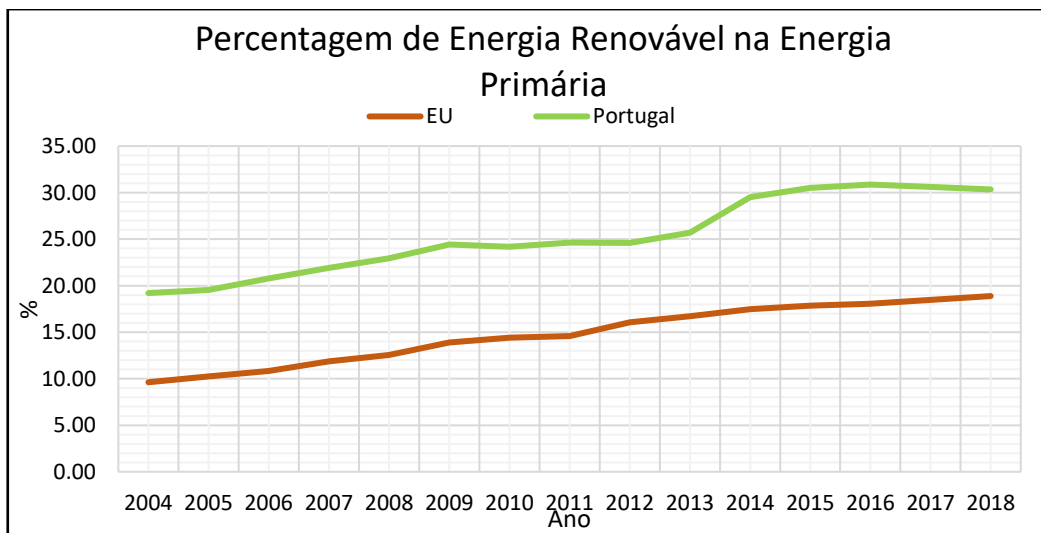


Figura 9 –Percentagem do consumo de energia primária gerada por fontes renováveis, na UE e em Portugal [3]

É de notar que as fontes de energia renováveis, que têm sido descritas como um todo, são constituídas por várias fontes, nomeadamente, a hídrica, as ondas e as marés,

geotérmica, biomassa, eólica e solar. Desta forma, é importante separar a energia renovável por diferentes tipos de produção uma vez que, na construção de edifícios NZEB não é passível de se utilizarem todas as fontes renováveis devido aos processos e mecanismos de produção e transformação de energia. A energia geotérmica, que aproveita o calor gerado pelo interior do planeta Terra, é uma fonte bastante interessante do ponto de vista energético, no entanto, no que toca à implementação e execução em obra, esta fonte de energia renovável é complexa uma vez que carece de espaço no subsolo e, conseqüentemente, torna o investimento menos atrativo. Uma vez que o sol é a principal fonte de energia, deve ser o elemento-chave a considerar para a produção de energia e, por outro lado, a energia solar é de fácil construção e implementação em obra, através de coletores solares térmicos e painéis fotovoltaicos. Assim, é evidente que a energia solar é a fonte renovável mais atrativa na construção de edifícios NZEB [36].

Na Figura 10 é apresentada a energia gerada por fonte solar na UE (lida no eixo do lado esquerdo) e por Portugal (lida no eixo do lado direito). Através da Figura 10 é possível observar que a EU tem vindo a investir de forma surpreendente na energia solar como fonte renovável e Portugal tem acompanhado esse mesmo investimento e crescimento.

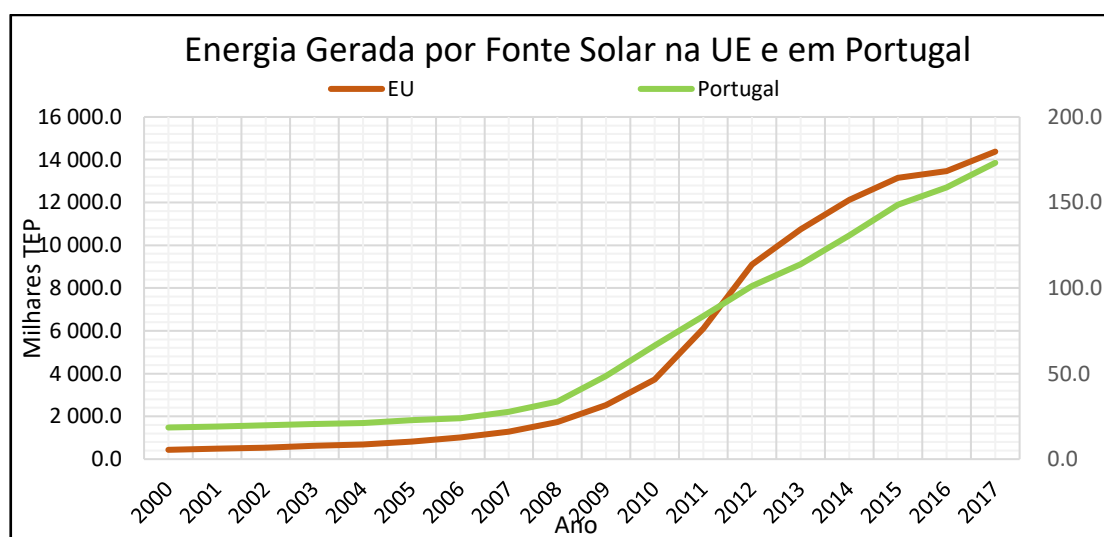


Figura 10 – Energia Gerada por fonte Solar na EU e em Portugal [2]

Note-se que, desde 2008 até 2017, a UE aumentou a sua geração de energia por fonte solar em, aproximadamente, 8 vezes (de 1.738 para 14.379 milhares de tep), enquanto Portugal aumentou cerca de 5 vezes (de 33 para 133 milhares de tep),

acompanhando assim a evolução da Europa que cresceu de uma forma súbita ao longo da última década. Em Portugal, foi em 2008 que se iniciou o novo ritmo de crescimento da produção solar, isto devido ao facto de que nesse mesmo ano deu início o regime remuneratório bonificado para a microprodução de eletricidade aplicado às fontes renováveis de energia [37].

Como foi possível observar através do estudo anteriormente exposto, as metas impostas e os objetivos pretendidos pela UE estão por alcançar, havendo ainda uma necessidade de crescimento e evolução nesse sentido. No entanto, a UE e Portugal, têm vindo a crescer no desenvolvimento sustentável nas últimas décadas, através da produção e consumo de energias renováveis, como por exemplo a energia solar. Assim, conclui-se que ambos têm um longo caminho a percorrer para alcançar os objetivos de reduzir a dependência energética e as emissões de poluentes.

2.2.3. Emissão de Gases de Efeito de Estufa

A UE está empenhada em reduzir os Gases de Efeito de Estufa (GEE) de modo a cumprir um dos principais objetivos do Protocolo de Quioto: reduzir as emissões de GEE em 20% até 2020, tendo como referência o ano de 1990. Os GEE estão agregados em dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e os gases fluorados, expressos em dióxido de carbono equivalente ($\text{CO}_2 \text{ eq}$) [3].

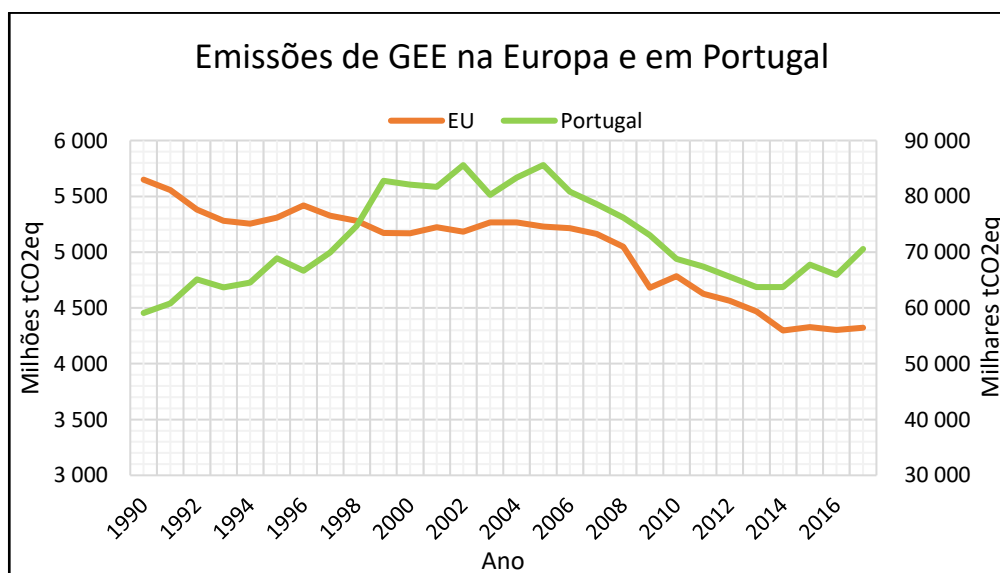


Figura 11 – Emissões de GEE na Europa e em Portugal [2]

Ao analisar as emissões de GEE na Europa verifica-se, através da Figura 11, que a UE está a diminuir de forma acentuada e, praticamente constante, as suas emissões de

poluentes para a atmosfera. Constatase que Portugal, ao contrário da média europeia, registou um aumento das emissões de poluentes entre 1990 e 2016, apesar de na última década as ter reduzido de forma significativa [2].

Fazendo uma análise percentual às emissões de GEE na UE e em Portugal ao longo das últimas décadas, considerando as emissões correspondentes a 100% no ano de 1990, observa-se que a Europa tem conseguido, em média, reduzir as emissões de poluentes, pelo que, em 2013, alcançou o seu principal objetivo ao reduzir 21% das emissões de GEE quando comparado com o ano 1990, permanecendo abaixo deste valor até 2017, conforme se verifica na Figura 12. Porém, o cenário em Portugal tem sido bastante diferente do exibido pela UE, uma vez que as emissões estiveram sempre acima dos 100% e, como visto anteriormente, com oscilações. No entanto, é de notar que a partir de 2005, as emissões de GEE em Portugal decresceram de forma intensa (cerca de 16%), período esse que se registou um forte aumento na geração de energia através do sol [2].

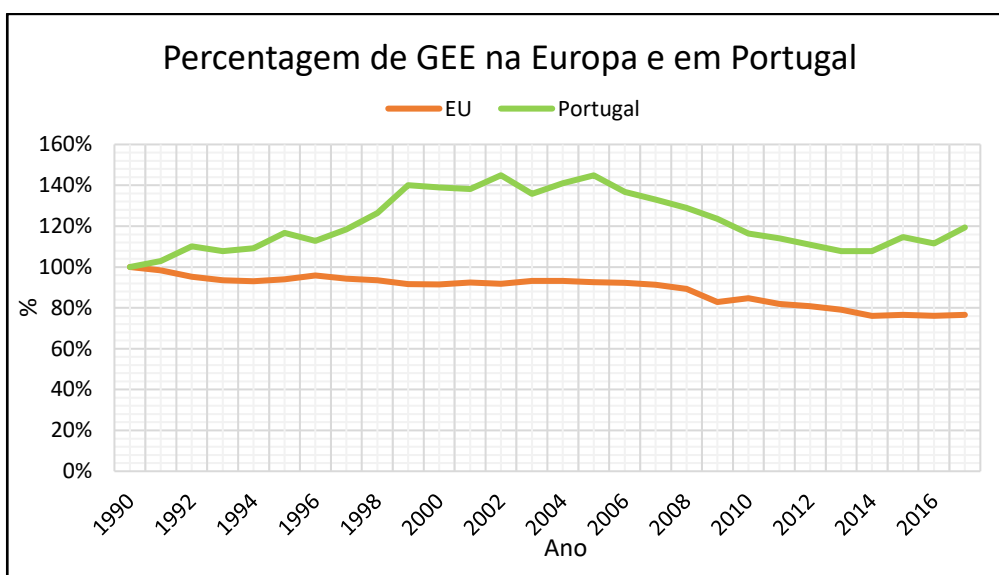


Figura 12 – Percentagem das emissões de GEE na Europa e em Portugal [2]

Assim, conclui-se que apesar da UE estar no caminho certo para a redução de GEE, deve continuar a implementar medidas de modo a alcançar valores cada vez menores se pretender alcançar os objetivos fixados na Diretiva 2018/844/UE: menos de 40% das emissões de GEE até 2030 em comparação com 1990.

Até 2020, Portugal não tinha estabelecido objetivos para a diminuição das emissões de poluentes, mas agora é extremamente necessário investir na sua diminuição se pretender atingir os objetivos estabelecidos no PNEC30, de 45 a 55% das emissões de GEE até 2030, face aos valores relativos a 1990. Uma vez que Portugal está bem acima

da média europeia neste aspeto, foi elaborada uma estratégia a longo prazo para a neutralidade carbónica da economia portuguesa, denominada como Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC2050). Este plano para a neutralidade carbónica visa, não só a redução das emissões de GEE, como também prevê medidas de sustentabilidade, eficiência energética e as alterações climáticas, como terminar a produção de eletricidade a partir de carvão até 2029, aumentar a capacidade de produção de energia solar até 50% da energia total produzida e o transporte ligeiro de passageiro é 100% elétrico em 2050, entre outros [38].

2.3. Edifícios NZEB

É perante o paradigma europeu da produção e consumo de energia, dependência energética, emissões de GEE e as alterações climáticas, que surgem os edifícios com necessidades quase nulas de energia (NZEB), ou seja, um edifício com um desempenho energético muito elevado [4].

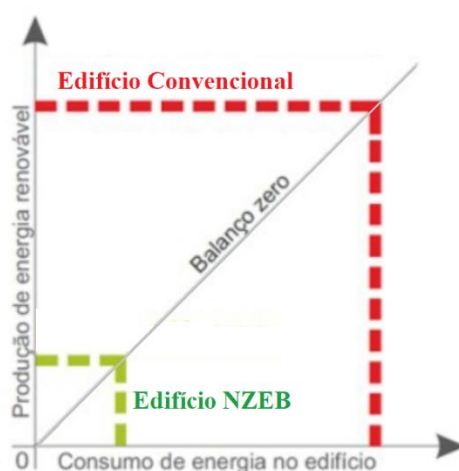


Figura 13 – Definição do conceito NZEB [21]

Na Figura 13 é apresentado um gráfico onde é possível observar o conceito NZEB. No eixo horizontal está o consumo de energia de um edifício e no eixo vertical a produção de energia renovável. É possível constatar que para atingir o balanço energético (quase) nulo num edifício convencional, é necessário ter uma elevada produção de energia renovável. O conceito NZEB mostra que o objetivo principal passa por reduzir ao máximo o consumo de energia para que a produção de energia por fontes renováveis seja tanto menor quanto possível, de modo a alcançar o balanço nulo de energia [21].



Figura 15 - Edifício Solar XXI, Lisboa, Portugal [39]

Em relação aos edifícios de habitação em Portugal, o Belas Clube de Campo, no *Lisbon Green Valley*, deu a conhecer, em 2019, as novas *townhouses* que foram distinguidas pela construção sustentável e da eficiência energética. Estes novos edifícios de habitação, ilustrados na Figura 16, possuem uma eficiência energética de, aproximadamente, 90% superior aos edifícios de referência [41].



Figura 16 – Townhouses, Belas Clube de Campo, Sintra, Portugal [41]

Estes edifícios residenciais, com cerca de 250 m², apresentam soluções de isolamento térmico e de vãos envidraçados que permitem uma redução substancial no consumo de energia para o aquecimento e arrefecimento ambiente interior, garantindo ainda que cerca de 85% das suas necessidades energéticas são geradas por fontes renováveis, através de painéis solares fotovoltaicos e coletores solares térmicos rotativos que permitem máxima captação solar. Para além do balanço quase nulo de energia, estas habitações têm depósitos para captação de água da chuva que é reutilizada e sistemas de carregamento para veículos elétricos, o que torna estes edifícios extremamente interessantes do ponto de vista construtivo, energético e ambiental [41].

Desta forma, é possível concluir que a aplicação de técnicas construtivas para a proteção da envolvente a nível térmico, a utilização de sistemas eficientes e renováveis

para a produção de energia, são estratégias para alcançar edifícios NZEB. Todavia, Portugal ao apresentar edifícios que são capazes de aproveitar outros recursos naturais e ainda conciliar a mobilidade elétrica, demonstrou ser possível ir mais longe no âmbito da sustentabilidade energética e de impacto ambiental, não ficando só pela definição e regulamentação dos edifícios com balanço energético quase nulo.

Página deixada propositadamente em branco

3. Medidas de Eficiência Energética: O Caminho para os NZEB

Este capítulo apresenta medidas de eficiência energética e utilização de fontes de energia renovável, fundamentais para um edifício residencial alcançar a classificação NZEB. Caracteriza soluções construtivas e de tecnologias passíveis de integrarem os edifícios NZEB, tais como, sistemas de AVAC, produção de águas quentes sanitárias e sistemas de produção de energia renovável através da energia solar.

3.1. Forma, Localização e Orientação do Edifício

A forma de um determinado edifício tem um forte impacto na eficiência energética do edifício. A necessidade de aquecer uma habitação no inverno está relacionada com o calor gerado no seu interior ser constantemente transmitido para o exterior através das superfícies externas do edifício (paredes, telhados, janelas). No verão a situação é inversa, sendo indesejável que o calor do exterior seja transmitido para o interior. Assim, quanto maior for a superfície que envolve o volume do edifício, maior será a transferência de calor, ou seja, para um edifício ser eficiente do ponto vista energético deve ter uma relação superfície/volume (ou fator de forma) baixa [23].

A localização do edifício é outro fator extremamente importante no que respeita às necessidades térmicas de um espaço interior. O zoneamento climático em Portugal está contemplado no Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013, ao abrigo do Decreto-Lei n.º 118/2013, conforme se ilustra na Figura 17 retirada do referido Despacho.

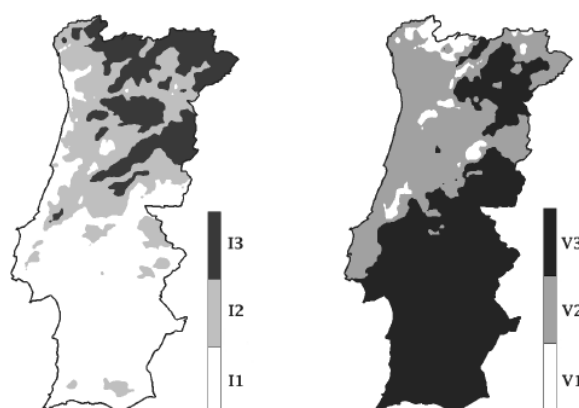


Figura 17 – Zonas climáticas de inverno (lado esquerdo) e zonas climáticas de verão (lado direito), no continente

Existem duas classificações para as zonas climáticas: inverno (I) e verão (V). No lado esquerdo da Figura 17 estão representadas as zonas climáticas no inverno, sendo que a classificação I1 corresponde a locais com menores necessidades de aquecimento no inverno, enquanto as zonas I3 terão necessidades mais elevadas. Da mesma forma, no verão (representado do lado direito da Figura 17), as zonas V3 terão necessidades de arrefecimento maiores do que as regiões V1 [23].

A captação eficaz de energia solar, isto é, a orientação do edifício, é outro fator importante a ter em consideração. O grau de conforto oferecido pelo edifício aos ocupantes e os consequentes gastos excessivos de energia, estão relacionados com a capacidade do edifício captar a radiação solar nos períodos de maior necessidade energética (no inverno) e de ter a menor superfície exposta à luz solar quando existe a necessidade de dissipar calor (no verão). Por vezes estas condições são opostas e os edifícios acabam por ser muito eficientes no verão, mas pouco eficientes no inverno, ou vice-versa. Consoante o clima local ou os diferentes objetivos concretos para o edifício, pode ser privilegiada uma condição ou a outra. Porém, existem edifícios que apresentam boas prestações nas duas estações, sendo que este objetivo pode ser alcançado, por exemplo, utilizando sistemas simples de proteção de janelas [23].

3.2. Envolvente térmica opaca

Em Portugal a maioria dos edifícios construídos, antes da entrada em vigor do RCCTE em 1990, não possuem qualquer isolamento térmico. A ausência de isolamento térmico na envolvente leva a elevadas perdas ou ganhos de calor, provocando desconforto térmico e, conseqüentemente, maior utilização dos sistemas de aquecimento e arrefecimento, que se traduz numa elevada fatura energética. Adicionalmente, a falta de isolamento faz com que as paredes desenvolvam focos de condensação, fungos e bolores, comprometendo condições de salubridade [42].

A Figura 18 ilustra a constituição das paredes dos edifícios construídos em Portugal ao longo dos anos, onde se verifica que cerca de 69 % das paredes dos edifícios Portugueses não têm isolamento. Só após 1990 surgiu a utilização do isolamento térmico, sendo que a partir desse ano a espessura do isolamento foi sempre aumentando devido à legislação sobre o comportamento térmico dos edifícios que foi sendo imposta

ao longo dos anos ser cada vez mais rigorosa, conforme se apurou na análise à legislação nacional descrita na Tabela 1.

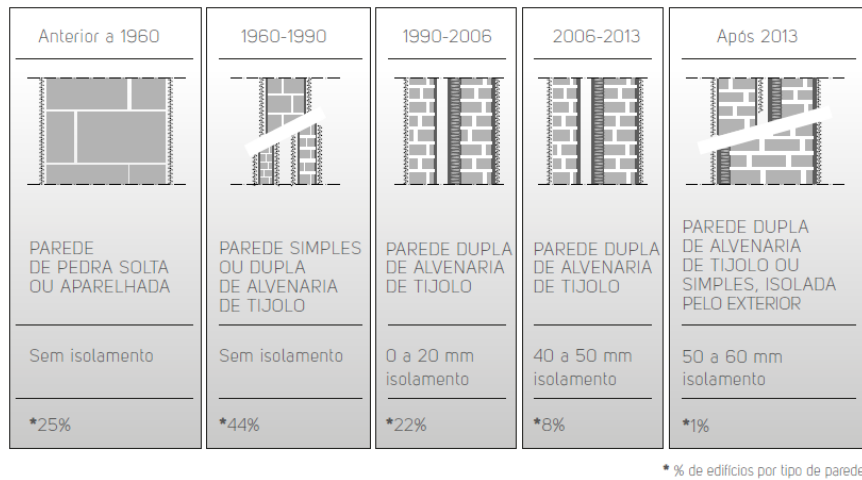


Figura 18 – Tipos de paredes construídas em Portugal ao longo dos anos [42]

É verdade que o conforto térmico interior depende de forma direta das condições do ambiente exterior, pois são estas que determinam as necessidades de aquecimento e arrefecimento interiores. Porém, existem outros fatores que também determinam as condições de conforto, como por exemplo, os tipos materiais utilizados na construção de um edifício (fachadas, coberturas, pavimento e janelas). O objetivo é minimizar as transferências de calor entre o exterior e o interior, promovendo a poupança no consumo energético por parte dos sistemas de aquecimento e arrefecimento. Assim, do ponto de vista térmico, as principais características da envolvente exterior a ter em conta são a inércia térmica e a resistência térmica, diretamente relacionada com a capacidade de isolamento do material constituinte [23].

Por um lado, a inércia térmica é uma característica comum de materiais com elevada massa específica (ou densidade), como por exemplo, o betão, o tijolo e a pedra, que permite aos materiais terem a função de acumuladores e amortecedores térmicos, permitindo contrariar os picos e grandes variações climáticas exteriores. Por outro lado, os materiais utilizados para o isolamento térmico possuem baixa condutibilidade térmica e baixa densidade (lã de rocha, poliestireno extrudido, aglomerado de cortiça etc.) e previnem a transferência de calor por condução entre o exterior e o interior do edifício [23].

É a correta conjugação e equilíbrio dos materiais constituintes da envolvente, que conduz a um coeficiente global de transferência de calor capaz de garantir uma elevada

eficiência energética. O coeficiente global de transmissão de calor (U) determina a quantidade de calor que é transmitida através de uma superfície, por unidade de área e por unidade de temperatura, pelo que quanto menor for este valor, mais eficiente será a envolvente no que diz respeito ao ganho e perda de calor [23]. Este coeficiente de elementos constituídos por um ou vários materiais, em camadas de espessura constante, é determinado, segundo o Despacho (extrato) nº 15793-K/2013, pela equação (1) em $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$,

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \quad (1)$$

onde R_{si} corresponde à resistência térmica superficial interior em $(m^2 \cdot ^\circ C)/W$, R_j representa a resistência térmica da camada “j” em $(m^2 \cdot ^\circ C)/W$ e R_{se} corresponde à resistência térmica superficial exterior também em $(m^2 \cdot ^\circ C)/W$.

O valor das resistências térmicas dos diversos materiais que compõe a envolvente opaca pode, por vezes, ser obtido diretamente através da consulta ao manual do LNEC ITE 50 [43]. Porém, o documento do LNEC nem sempre faculta o valor da resistência térmica do material mas indica o valor da condutibilidade térmica, λ em $W/(m \cdot ^\circ C)$, e com este é possível determinar a resistência térmica do material em função da espessura da camada de material, e em metros, através da equação (2) em $(m^2 \cdot ^\circ C)/W$,

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (2)$$

A envolvente opaca de um edifício (fachadas, cobertura e pavimento), geralmente, corresponde ao elemento com maior área de superfície que contacta com o exterior, sendo por isso de extrema importância o seu isolamento eficaz. As paredes exteriores podem ser isoladas pelo interior, pela caixa de ar, no caso de paredes duplas, ou pelo exterior. O isolamento pelo interior compreende a colocação de material isolante na face interior das paredes e, posteriormente, revestido, por exemplo, com placa de gesso cartonado. Este tipo de isolamento térmico não carece de mão-de-obra qualificada, pelo que a sua implementação é mais acessível em termos de custos, porém esta intervenção reduz o aproveitamento da inércia térmica das paredes e não evita pontes térmicas nas lajes e nas vigas (previne apenas nos pilares). O isolamento colocado na caixa-de-ar consiste na perfuração da parede e injeção de isolamento (espuma ou grânulos de poliestireno expandido) para o interior da caixa de ar, ou na colocação de placas de

isolamento preenchendo totalmente ou parcialmente a caixa-de-ar. O isolamento pelo exterior, normalmente utilizado em reabilitações de fachadas, é uma solução dispendiosa, no entanto, um resultado eficaz em termos de capacidade de aquecimento do edifício, uma vez que consiste na aplicação de materiais isolantes nas paredes exteriores (placas ou espuma) e cobri-los com revestimento/reforço/reboco, que posteriormente podem ser revestidos de outros materiais de acabamento ou pintados. Este tipo de intervenção, conhecido como ETICS (*External Thermal Insulation Composite Systems*), proporciona um isolamento ininterrupto eliminando praticamente todas as pontes térmicas e aumenta a espessura do isolamento, alcançando assim níveis baixos de transmissão de calor e promove o aumento da inércia térmica da parede, tornando esta solução a mais eficaz do ponto de vista térmico [23].

Atualmente, existem cada vez mais soluções inovadoras que permitem elevados níveis de isolamento térmico, como por exemplo, painéis pré-fabricados [44]. Os painéis pré-fabricados possibilitam uma conjugação de diferentes materiais, por exemplo, placa *coretech* (material reciclado, de alta durabilidade, resistente à água e ao impacto, oferece estabilidade, isolamento acústico e térmico) nas faces exteriores, madeira (bom isolamento térmico) para a estrutura do módulo (armação) e espuma de poliuretano conforme se observa na Figura 19 [45].

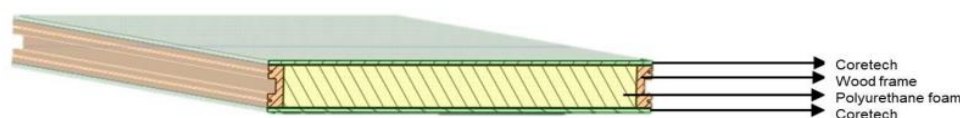


Figura 19 – Ilustração de um painel pré-fabricado [45]

As coberturas, por serem o elemento construtivo com maior exposição às condições climáticas (radiação solar, chuva e queda de granizo), são fundamentais para o conforto de uma habitação, pois estas representam, em média, cerca de 30 % das perdas de calor. Estas superfícies localizadas no topo de um edifício podem ser classificadas como coberturas inclinadas ou horizontais [46]. Na cobertura inclinada o isolamento exterior deve estar colocado entre a impermeabilização e o telhado. No caso do isolamento pelo interior, o material isolante deve ser aplicado na estrutura do telhado, ou seja, na face interior da laje [23]. Relativamente às coberturas planas (ou horizontais) a melhor solução de isolamento é a designada de cobertura invertida. As placas de isolamento térmicas (por exemplo, poliestireno extrudido) são aplicadas sobre a impermeabilização da laje de betão e são protegidas, pela parte superior, por uma

camada de betonilha e revestimento para garantir uma maior durabilidade do isolamento [23]. Nas coberturas pode ser aplicado um terreno vegetal (coberturas verdes ou ajardinadas), como se observa no lado esquerdo da Figura 20, que têm a vantagem de criar uma barreira mais sólida às transferências de calor, aumenta a vida útil da cobertura, aumenta o isolamento acústico e permite reter águas das chuvas, dependendo da espessura do substrato [48].

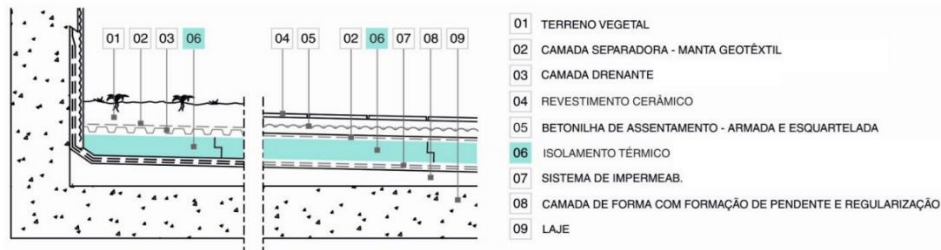


Figura 20 - Isolamento de uma cobertura plana [47]

No que toca ao pavimento, como parte inferior da envolvente de um edifício, está sujeito a fluxos de energia térmica, especialmente quando se encontra em contacto direto com o ar exterior, com o solo ou com espaços não climatizados, devido ao diferencial de temperatura existente entre os espaços. Nestes casos, o isolamento térmico ganha mais importância, uma vez que as diferenças de temperatura podem ocasionar regiões onde existe condensações e desconforto mais expressivo, pois existe contacto direto com o pavimento [23]. A Figura 21 ilustra a constituição de um pavimento, sendo que do lado esquerdo está considerado aquecimento (pavimento radiante) e do lado direito o pavimento tradicional, pelo que o isolamento térmico (por exemplo, poliestireno extrudido) é aplicado sobre a impermeabilização da laje e sob a betonilha [47].

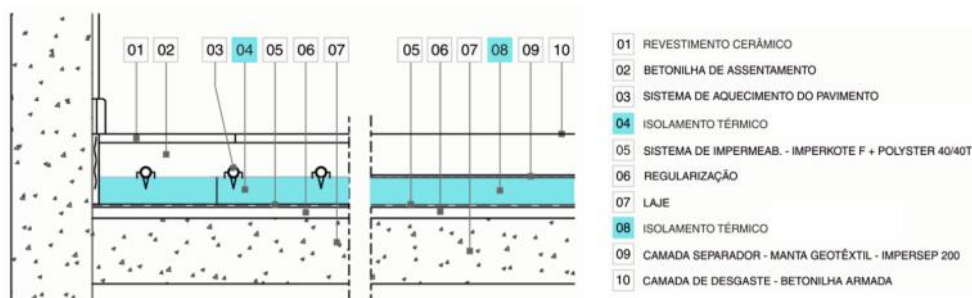


Figura 21 – Isolamento de pavimento [47]

3.3. Vãos Envidraçados, Dispositivos de Proteção Solar e Sombreamento

De acordo com Pieraldo Isolani, as necessidades de aquecimento devido a perdas de calor pelos vãos envidraçados rondam os 25 a 30%, tendo por isso um peso considerável na eficiência térmica de um edifício. Por um lado, estas superfícies vidradas podem contribuir para a entrada de calor, por outro lado, podem servir de saídas dissipando calor [23].

A área da superfície envidraçada, a sua orientação, o tipo de vidro e o tipo de caixilharia, são fatores importantes na avaliação de envidraçados. A área e orientação dos vãos envidraçados determinam a escolha do tipo de vidro e da caixilharia. As superfícies vidradas orientadas a norte devem ser isoladas termicamente de modo a mitigar perdas de calor para o exterior, contrariamente às orientadas a sul que devem evitar ganhos de calor [23].

Existem duas características térmicas a ter em consideração na seleção de um envidraçado: o coeficiente global de transferência de calor e o fator solar. À semelhança da envolvente opaca quanto menor for o valor do coeficiente de transmissão de calor, menor será a transferência de calor que ocorre através do vidro. A função do vidro para garantir a proteção solar é definida pelo fator solar, que estabelece a quantidade de radiação solar que chega ao interior do edifício, sendo que quanto menor for este fator menor serão os ganhos térmicos através do vidro. Um vidro *standard* de proteção térmica apresenta um fator solar entre 75% a 87% para vidros duplos e vidros simples respetivamente, um vidro com alguma proteção solar tem cerca de 45% e um vidro com elevada proteção à exposição solar cerca de 30%, porém, é comum encontrar no mercado valores de fatores solares para vidros entre 10 e 90% [49]. É de notar que, para além destas propriedades térmicas dos vidros, existem estratégias que também podem ser aplicadas para reduzir a transferência de calor e radiação solar, nomeadamente, vidro refletor no exterior, portadas, persianas e cortinados [23].

O isolamento térmico de uma janela depende não só da qualidade do vidro, como também tipo de caixilharia utilizado. Geralmente, as janelas que possuem vidros duplos apresentam maior capacidade de isolamento térmico (e acústico) quando comparado com os vidros simples, pois o espaço existente serve de barreira à transmissão de calor. Uma vez que as caixilhariadas das janelas podem permitir passagem do exterior para o interior e vice-versa, sendo geralmente construídas com materiais cuja condutibilidade

térmica é mais elevada do que a do vidro, estas também assumem um papel importante nos ganhos e perdas de calor, sendo as caixilharias com corte térmico as que apresentam melhores propriedades térmicas [23]. Para além disso, estas caixilharias têm uma influência na ventilação natural, ou seja, na permeabilidade ao ar envolvente.

Atualmente, existem no mercado uma variedade de vidros energeticamente eficientes que apresentam desempenho térmico superior face às superfícies envidraçadas tradicionais. Por exemplo, janelas com vidros duplos isolados com aerogel. O aerogel é um material de enchimento constituído por ar e sílica e tem baixa condutividade térmica, fazendo com que estes vidros apresentem um ótimo isolamento térmico, implicando um valor de coeficiente global de transmissão de calor diminuto [48].

Relativamente aos dispositivos de proteção solar e de sombreamento têm como finalidade a procura da sensação de conforto e a otimização do consumo dos recursos energéticos, quer por parte dos sistemas de climatização, quer por parte da iluminação artificial, através de uma estratégia bioclimática [50].

Devido às variações da posição do sol ao longo do dia e das estações ao longo do ano, os dispositivos de proteção solar podem ser mais adequados por permitirem uma adaptação desejável. Estes sistemas são compostos por portadas, estores de lâminas ajustáveis, cortinas, telas de rolos, entre outros, e podem ser controlados manualmente ou automaticamente, conseguindo alcançar satisfação individual e as condições térmicas para o ocupante, sendo que ao mesmo tempo podem proporcionar, ao longo de todo o ano, bons níveis de iluminação natural [50].

Um sistema de sombreamento, ou seja, pala horizontal ou vertical, parede reticulada, entre outros, é um elemento integrado no exterior do edificado, pelo que as suas dimensões (altura, comprimento e profundidade) e exata fixação têm de ser tomadas em consideração, de modo a obter o máximo de benefícios dos raios solares: no verão interceptá-los e, na estação de aquecimento, deixar que passem pelo vão permitindo o aquecimento no interior. Este sistema funciona como bloqueio dos raios solares, pois ao incidirem nos elementos de sombreamento dispersam antes de atingirem os vãos envidraçados, reduzindo significativamente os ganhos de calor.

Porém, do ponto de vista económico, os dispositivos de proteção solar são mais acessíveis, tanto na instalação, como na manutenção e ainda no custo, sendo por isso

duas soluções distintas, mas capazes de reduzir consumos energéticos. Na Figura 22 estão alguns exemplos de sistemas de proteção solar (portada exterior e estores de bandas horizontais) e sombreamento (pala horizontal) [50].



Figura 22 – Ilustração de sistemas de sombreamento [50]

Atualmente, existem sistemas de proteção solar que são completamente automatizados. Estes são controlados por células fotoelétricas que reagem às variações da posição e inclinação solar e também aos níveis de temperatura e luminosidade, conseguindo assim maximizar o conforto térmico com baixo consumo energético e por isso esta solução de sombreamento é de facto interessante para edifícios NZEB. Contudo, este tipo de sistema é bastante dispendioso tornando-os, por vezes, menos atrativos [50].

3.4. Produção de Água Quente Sanitária

A produção de água quente sanitária (AQS) é um dos maiores fatores de consumo de energia numa habitação, representando cerca de 23%, pelo que a utilização de sistemas eficientes para produção de AQS apresenta um grande impacto na fatura energética [51].

Segundo a Agência para a Energia (ADENE), o sistema mais comum presente nas habitações portuguesas é o esquentador a gás, representando cerca de 81%, conforme se verifica na Figura 23. O termoacumulador elétrico representa 19% dos sistemas de produção de AQS, sendo que as caldeiras são os sistemas menos utilizados [51]. Os esquentadores e as caldeiras são aparelhos de produção instantânea, ou seja, são equipamentos capazes de aquecer a água quando é necessária. Funcionam com recurso à queima de combustível (gás butano, propano, natural ou gasóleo) e por isso são responsáveis por emissões de GEE. Devido ao seu princípio de funcionamento, o rendimento dos esquentadores pode variar entre 85 a 90 % [23].

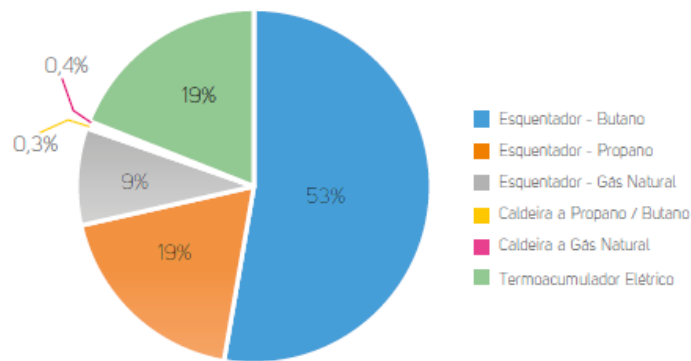


Figura 23 – Utilização de equipamentos para produção de AQS em Portugal [51]

Os termoacumuladores elétricos são depósitos de acumulação de água e possuem uma resistência elétrica que transfere energia elétrica em energia calorífica, aquecendo a água [51]. Ao contrário do esquentador e da caldeira, o aquecimento da água pelo termoacumulador elétrico não é instantâneo sendo necessário aguardar algum tempo até que a água aqueça e depois possa vir a ser utilizada. O rendimento dos termoacumuladores elétricos pode variar entre 30 a 40 % [23].

Existe a possibilidade de ter equipamentos para a produção de AQS e capazes de produzir aquecimento ambiental central. Os sistemas mais comuns de aquecimento central são constituídos pela produção de calor (geralmente uma caldeira), sistema de distribuição (bombas e tubagem), emissão de calor (radiadores ou piso radiante) e unidades de regulação e controlo para adequar a resposta do sistema às necessidades. O equipamento mais comum para produção de AQS e aquecimento central é a caldeira de condensação que aproveita o calor dos gases de combustão transmitindo-o ao circuito de AQS e/ou ao circuito de aquecimento ambiente, pelo que a caldeira de condensação apresenta rendimentos superiores a 90% [51].

Porém, na produção de AQS e aquecimento central, podem ser utilizados outros equipamentos, nomeadamente, recuperadores de calor ou salamandras e bombas de calor ar-água. Os recuperadores de calor e salamandras são dispositivos alimentados a biomassa sólida (lenha ou *pellets*) em que a produção de calor é proveniente da combustão. As bombas de calor são equipamentos elétricos que, através de um circuito frigorífico, aproveitam o calor do ar ambiente (energia renovável) para aquecer a água. Devido ao seu princípio de funcionamento, que é explicado adiante no subcapítulo 3.5.1, apresentam uma eficiência sempre superior à unidade. Dentro dos equipamentos elétricos, as bombas de calor são os mais eficientes [51].

Desde 2006 que em Portugal existe a obrigatoriedade de instalar painéis solares térmicos para a produção de AQS nos edifícios novos. Este tipo de sistemas permitem o aproveitamento da energia solar disponível (energia renovável), mas necessitam da instalação de sistemas de apoio (caldeiras, termoacumuladores elétricos, esquentadores ou bomba de calor) para a produção de AQS em períodos de menor radiação solar [51]. Este tipo de sistemas é abordado de forma mais profunda no subcapítulo 3.7.

3.5. Sistemas de Climatização

Teoricamente, um edifício energeticamente ideal não necessitava de sistemas de aquecimento e arrefecimento ambiente, pois o conforto térmico seria garantido através da conjugação entre a envolvente do edifício e a ventilação natural, numa estratégia de climatização e ventilação passivas. Atualmente, não existem condições tecnológicas e económicas suficientes para construir tal edifício e por isso são utilizados sistemas de climatização, isto é, sistemas AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado) para assegurarem o conforto térmico interior e a qualidade do ar [52]. A climatização é o processo que remove ou cede calor devido a cargas térmicas de arrefecimento ou aquecimento resultantes da energia libertada pelas pessoas, equipamentos ou pelas perdas de calor através da envolvente [53].

De acordo com a ADENE, cerca de 21,5% do consumo de energia numa habitação portuguesa é destinada ao aquecimento ambiente, sendo que apenas uma pequena porção (0,5%) é destinada ao arrefecimento. A Figura 24 ilustra os equipamentos mais utilizados pelos portugueses para aquecimento (a) e arrefecimento (b). Conforme se pode constatar o equipamento mais utilizado para aquecimento ambiente é o aquecedor por resistências elétricas, representando cerca de 39,7%, seguido pela lareira com 25,1%. Cerca de 13,6% das habitações não tem qualquer sistema de aquecimento ambiente e com uma parcela semelhante as habitações têm salamandras ou recuperadores de calor. Com uma parcela quase insignificante estão as caldeiras (3,8 %) e o ar condicionado/bomba de calor (1,9%). No que toca aos equipamentos utilizados para arrefecimento ambiente, observa-se que 68% das habitações possuem ventiladores. Com uma pequena porção, cerca de 25%, encontram-se os aparelhos de ar condicionado (ou bombas de calor) e apenas 7% das habitações têm equipamentos de ar condicionado portáteis [54].

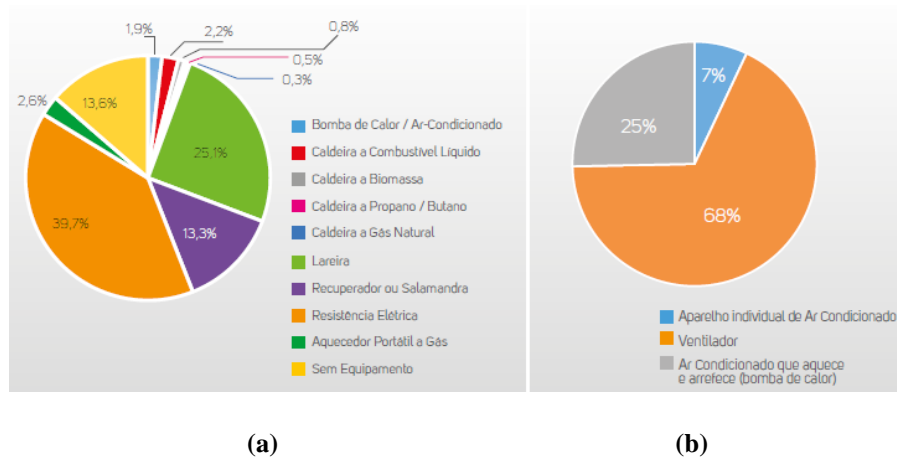


Figura 24 – Utilização de equipamentos para aquecimento (a) e arrefecimento (b) ambiente [54]

Note-se que o princípio de funcionamento entre um ventilador e um sistema de ar condicionado são significativamente diferentes, promovendo condições ambiente de conforto distintas. O ventilador consome energia elétrica que é convertida em energia cinética, através de pás associadas a um eixo que por sua vez está ligado a um motor, aumentando a pressão do ar criando assim um fluxo de ar direcionado. A movimentação do ar criada pelo ventilador promove a ventilação forçada, ou seja, este equipamento não permite controlar a temperatura desse espaço. Por outro lado, o sistema de ar condicionado (ou bomba de calor) tem um funcionamento distinto sendo capaz de controlar a temperatura de um espaço (aquece e/ou arrefece), desumidifica e filtra o ar [54].

3.5.1. Princípio de Funcionamento da Bomba de Calor

A grande maioria dos sistemas de climatização funciona segundo o ciclo de refrigeração por compressão a vapor, também designado como ciclo termodinâmico. Na Figura 25 (a) está representado num diagrama de pressão-entalpia (diagrama de *Mollier*) o ciclo termodinâmico e na Figura 25 (b) os componentes essenciais do ciclo de compressão a vapor [55].

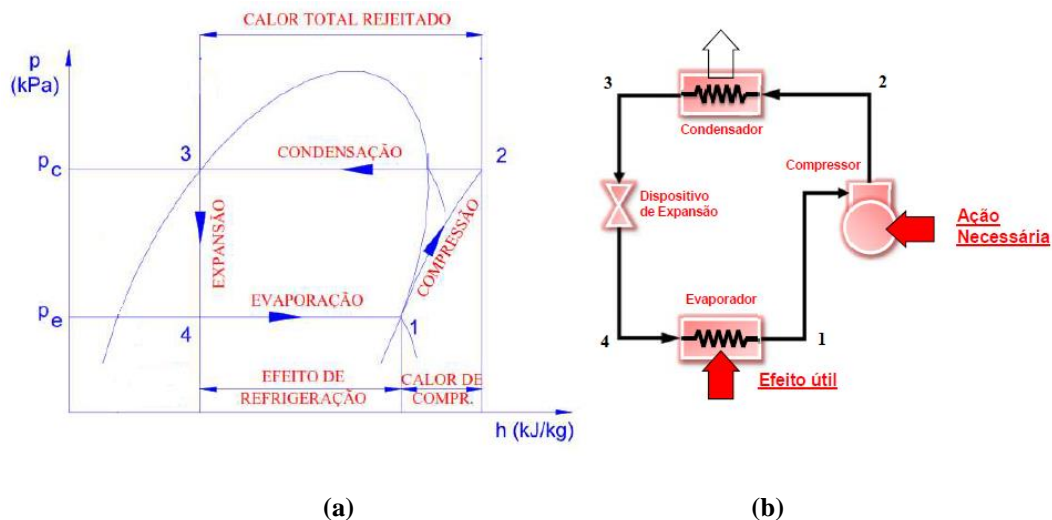


Figura 25 – Ilustração do ciclo de compressão a vapor [55]

De forma simplificada, o ciclo frigorífico é composto por quatro processos: **evaporação**, na fase líquida o fluido refrigerante absorve calor latente evaporando ($4 \rightarrow 1$, efeito útil), **compressão**, aumento de pressão e temperatura do fluido de trabalho através do compressor ($1 \rightarrow 2$, trabalho necessário), **condensação**, rejeição do calor para o exterior passando da fase gasosa para líquido ($2 \rightarrow 3$) e **expansão**, decréscimo de pressão e temperatura do fluido ($3 \rightarrow 4$) através de uma válvula expansora e, ao voltar ao evaporador, completa o ciclo [55].

No ciclo de arrefecimento (verão) o evaporador encontra-se no espaço interior e ao remover o calor ambiente, arrefece o espaço e liberta o calor através do condensador que se encontra no exterior. Neste ciclo, a eficiência energética é caracterizada pelo EER (*Energy Efficiency Ratio*) e é calculada através da razão entre o calor removido no evaporador (efeito útil) e o consumo de energia por parte do compressor. No ciclo de aquecimento (inverno) o processo é inverso, ou seja, o condensador atua no interior cedendo calor ao espaço que é removido ao exterior através do evaporador. No aquecimento a eficiência energética é denominada por COP (*Coefficient of Performance*) e é calculada através da razão entre o calor rejeitado pelo condensador e o consumo de energia por parte do compressor [55]. A entrega energética ao ambiente conta com a parcela de energia removida pelo permutador de calor (evaporador ou condensador) ao ambiente exterior e a parcela adicionada pelo compressor, fazendo com que a eficiência destes equipamentos seja sempre superior à unidade. Por outras palavras, em aquecimento, para um COP igual 3 significa que o sistema é capaz de fornecer 3 kW térmicos consumindo apenas 1 kW elétrico. Desta forma, quanto maior

for o COP ou o EER, maior é a eficiência do sistema [53]. A inversão do ciclo é feita através de uma válvula de quatro vias que atua de acordo com o modo de funcionamento (arrefecimento ou aquecimento), como se pode observar na Figura 26 [56].

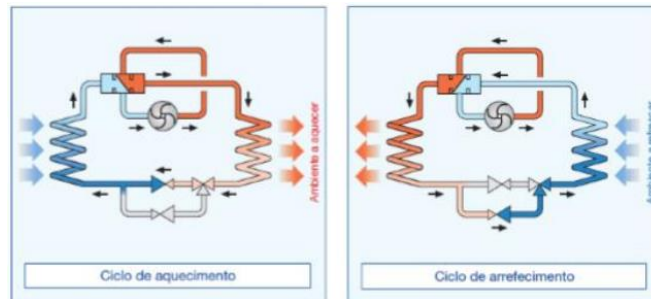


Figura 26 – Ciclo em aquecimento e arrefecimento [56]

É de salientar que os sistemas de climatização que funcionam segundo o ciclo de compressão a vapor, utilizam uma parcela energia renovável uma vez que a troca de calor entre o evaporador e o condensador pode ser feita através do ar, da água ou do solo. A classificação dos sistemas de climatização será feita no subcapítulo seguinte.

3.5.2. Classificação

Os sistemas de climatização podem ser classificados de diversas formas, sendo uma delas baseada na composição e localização das unidades produtoras de frio e calor, podendo ser dividida nos seguintes sistemas [53]:

- Sistemas Individuais – conjunto de equipamentos distintos que serve um espaço. Por exemplo, equipamentos *split*, *multisplit* e *rooftop*;
- Sistemas Centralizados – a produção de energia térmica é feita num local afastado do espaço a climatizar. Por exemplo, sistema de Volume de Fluido Refrigerante Variável (VRF);
- Sistemas Centrais – a produção de energia térmica é feita num local afastado do espaço a climatizar, mas existem dois fluidos que permutam calor, isto é, existem dois circuitos: primário (produção de energia) e secundário (distribuição energia). Por exemplo, caldeira, unidade de tratamento de ar e bomba de calor;

Os sistemas de climatização mais utilizados no setor dos edifícios de habitação são os equipamentos *split*, *multisplit*, mini VRF e bomba de calor. O sistema *split* (ou *monosplit*) liga uma unidade exterior a uma unidade interior e serve para climatizar

apenas uma divisão da habitação. O sistema *multisplit* consegue conjugar uma unidade exterior para várias unidades interiores, pelo que consegue climatizar tantas divisões quantas unidades interiores existirem, o que depende do fabricante (habitualmente até 5 unidades interiores). Este tipo de sistemas permite apenas um modo de funcionamento em simultâneo, isto é, aquecimento ou arrefecimento [54].



Figura 27 – Ilustração de um sistema *monosplit* [54]

O sistema VRF (ilustrado na Figura 28) é semelhante ao sistema *multisplit*, ou seja, uma unidade exterior ligada a várias unidades interiores, mas este possui uma capacidade mais elevada, conseguindo por isso interligar várias dezenas de unidades interiores a uma só unidade exterior. Este tipo de sistema possibilita a opção de recuperação de calor, ou seja, é capaz de produzir aquecimento e arrefecimento em simultâneo (conhecido como sistema a 3 tubos). O sistema VRF é um modelo desenvolvido para edifícios comerciais (por exemplo hotéis) e para residências amplas [53].

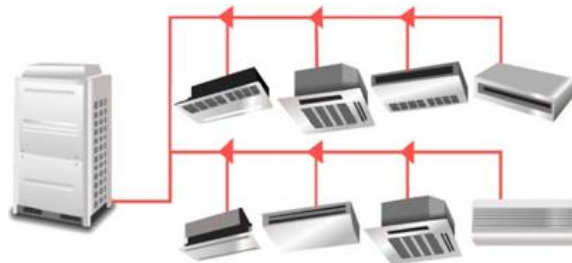


Figura 28 – Ilustração de um sistema VRF [53]

A bomba de calor é um equipamento de ar condicionado capaz de fornecer aquecimento, arrefecimento e água quente sanitária. As bombas de calor podem ser alimentadas eletricamente, a gás ou termicamente (ciclo de absorção). As bombas de calor acionadas eletricamente, ou seja, alimentadas por um compressor, podem ser classificadas segundo a natureza com que permutam energia: aerotérmicas, hidrotérmicas e geotérmicas. Desta forma podem ser divididas em [57]:

- Bomba de calor ar-ar: a permuta com o exterior e interior é feita através do ar;
- Bomba de calor ar-água: a permuta com o exterior é feita através do ar e com o

interior feita através da água;

- Bomba de calor água-ar: a permuta com o exterior é feita através da água e com o interior feita através do ar;
- Bomba de calor água-água: a permuta com o exterior e interior é feita através da água;
- Bomba de calor geotérmica: permuta exterior é feita com o solo (através de um fluido) e interior feita pela água;

As bombas de calor mais comercializadas, especialmente no setor doméstico, são as bombas de calor ar-água. Este tipo de bombas de calor oferecem a possibilidade de ter um sistema completo capaz de fornecer aquecimento, arrefecimento e produção de água quente, com elevados níveis de eficiência energética. Para além disso, estas podem ser conjugadas com outros sistemas, por exemplo, o sistema solar térmico para apoio à produção de AQS ou até mesmo o sistema solar fotovoltaico [23].

A nível doméstico, as bombas de calor geotérmicas também apresentam as suas vantagens. O solo é extraordinariamente vasto e pode ser utilizado para absorver ou libertar calor, mantendo a sua temperatura constante. A captação dessa energia é feita através de uma bomba de calor geotérmica que é semelhante à bomba de calor, mas com circuitos de tubagem enterradas onde circula um fluido de transferência térmico (fluido refrigerante ou água com anticongelante) [58]. No inverno a energia geotérmica é libertada para o espaço a climatizar e no verão o processo é inverso, sendo o excesso de calor no espaço interior libertado para o solo. Estes sistemas estão pouco difundidos em Portugal, pois têm elevados custos de instalação, tornando o investimento rentável em circunstâncias favoráveis muito específicas [23].

Muitas vezes associado às bombas de calor está uma das formas mais confortáveis e eficazes de aquecimento ambiente: o piso radiante. Em Portugal, a sua aplicação tem vindo a crescer pois permite uma elevada homogeneização da temperatura em toda a área onde se encontra, pois, o calor propaga-se de baixo para cima de modo uniforme e requer temperaturas da água de apenas 35 a 45 °C em vez dos 40 a 50 °C que costumam ser necessários num sistema de aquecimento tradicional de baixa temperatura. Desta forma é possível garantir o mesmo nível de conforto com um menor consumo de energia [23]. O piso radiante é composto por uma serpentina em tubo flexível polietileno

reticulado (tubo PEX), enterrada na laje do piso e por onde circula água quente, conforme ilustra a Figura 29.



Figura 29 – Ilustração piso radiante [59]

Devido à sua instalação este tipo de sistema é dispendioso, podendo custar aproximadamente 70 €/m². A água quente pode ser produzida por caldeiras, mas para alcançar elevados níveis de eficiência e grandes poupanças, deve ser combinado com a bomba de calor e até com energia solar térmica [59].

3.5.3. Fluidos Refrigerantes

Apesar das bombas de calor apresentarem uma baixa emissão de poluentes para a atmosfera, devido ao seu princípio de funcionamento termodinâmico utilizam um fluido refrigerante (produto químico responsável pelas trocas térmicas em sistemas de climatização e refrigeração) que tem um impacto a nível ambiental e, dependendo do tipo de fluido, pode pôr em causa a segurança das pessoas. O fluido selecionado, devido às suas propriedades, influencia diretamente quer a estrutura quer a eficiência de um equipamento de climatização (ou refrigeração) e, conseqüentemente os custos de aquisição e operação. Porém, o desenvolvimento tecnológico e os problemas ambientais que foram surgindo (destruição da camada do ozono e o aquecimento global) são outras razões que levam à existência de diversos tipos de fluidos refrigerantes. Estes podem ser classificados segundo a sua natureza: clorofluorocarbonetos (CFC), hidroclorofluorocarbonetos (HCFC), hidrofluorocarbonetos (HFC), mistura de fluidos e fluidos naturais [60].

Os CFC são constituídos por uma combinação de derivados voláteis do metano e do etano com elementos halogenados (cloro e fluor). Devido às reações dos átomos de cloro que levam à depleção da camada de ozono (ODP, *Ozone Depletion Potential*), os CFC foram os primeiros fluidos a serem proibidos pela legislação internacional. Os HCFC são moléculas compostas por hidrogénio, cloro, fluor e carbono e, embora

provoquem danos menores na camada de ozono, o seu efeito não é nulo. Os HCFC foram importantes na substituição dos CFC, mas são considerados fluídos frigorígenos transitórios existindo prazos estabelecidos para a sua descontinuação. Os HFC não têm a molécula de cloro na sua constituição e por isso não têm impacto na camada de ozono. São os mais utilizados no setor da refrigeração e climatização (frigoríficos, ar condicionado e bombas de calor) e têm vindo a substituir os CFC e os HCFC, por exemplo o R-32. No entanto, a maioria dos HFC possuem um elevado potencial aquecimento global (GWP, *Global Warming Potential*) apresentando uma ameaça ao ambiente e, por isso, a sua utilização tenderá a diminuir. A mistura de dois ou mais fluídos dá a possibilidade de ajustar as propriedades de acordo com a aplicação. As misturas de fluídos frigorígenos que apresentam menores impactos ambientais e que em simultâneo são energeticamente eficientes são consideradas a quarta e nova geração de fluídos. Os fluídos naturais como hidrocarbonetos (HC), o amoníaco e o dióxido de carbono (mais comuns na refrigeração), têm um ODP nulo, baixo ou nulo GWP. No entanto, têm outras desvantagens como a toxicidade e necessitam de equipamentos mais robustos devido às elevadas pressões de funcionamento [60].

Devido a questões ambientais e de eficiência energética, tem sido criada legislação internacional, nomeadamente, o Regulamento (UE) n.º 517/2014, do Parlamento Europeu e do Conselho que é transposto para Portugal através do Decreto-Lei n.º 145/2017, de 30 de novembro [61], relativo aos gases fluorados com efeito de estufa. As legislações internacionais e nacionais têm vindo a ser cada vez mais exigente e é necessário criar urgentemente mais fluídos para encontrar soluções ambientalmente seguras e energeticamente mais eficientes [60].

A bomba de calor é uma tecnologia que está em constante evolução, tanto nos fluídos frigorígenos a utilizar, como na conjugação com outros sistemas, especialmente com tecnologias renováveis. Atualmente, já se encontram no mercado bombas de calor integradas com sistema solar fotovoltaico, fornecendo também energia elétrica para consumo dos equipamentos elétricos domésticos. Este equipamento apresenta uma solução única para produção de água quente sanitária e climatização, pode ser integrado com diversas fontes de energia renovável coisa que os sistemas convencionais não permitem. Constituí uma solução versátil, garante conforto térmico com menor consumo energético, reduz significativamente a fatura energética, mitiga o impacto ambiental e, apesar do seu elevado custo de investimento inicial, este pode ser

recuperado em poucos anos, devido aos elevados níveis de eficiência energética que a bomba de calor oferece [59].

O futuro dos sistemas AVAC é promissor devido à interligação destes sistemas com outras tecnologias domésticas inteligentes e evolução da automação de AVAC que irão permitir novas formas de gestão dos sistemas [53].

3.6. Ventilação – Mecânica e Natural

A ventilação é o meio mais importante para assegurar qualidade do ar interior adequada, possibilitando renovação do ar dentro do edifício e reduzindo problemas de saúde relacionados com humidades, bolores e patologias [23]. O processo de introdução de ar novo (ar exterior) e a extração do ar interior do edifício, permite controlar diferentes parâmetros do estado do ar, nomeadamente a temperatura, humidade, pureza e movimento. Assim, um sistema de ventilação pode ser classificado como natural ou forçada, existindo também a ventilação híbrida que consiste na conjugação da ventilação natural e forçada [62].

A ventilação forçada (ou mecânica) consiste na insuflação ou extração de ar por meio de ventiladores associados a uma rede de condutas, obtendo uma ventilação permanente com um caudal relativamente estável independentemente das condições exteriores. Existem dois tipos de sistemas de ventilação mecânica em habitações: de simples fluxo e de duplo fluxo. Num sistema de simples fluxo só a extração do ar é efetuada por ventiladores, sendo que a admissão de ar novo na habitação é feita através de fendas, das soleiras das portas ou de grelhas, devido ao efeito da depressão criada pela extração do ar viciado nos compartimentos (por exemplo, cozinhas e instalações sanitárias). Num sistema de duplo fluxo, para além da extração de ar (nas cozinhas e instalações sanitárias), o ar novo é insuflado nos compartimentos (sala de estar, quartos e escritórios) por um segundo ventilador, respetiva rede de condutas e dispositivos de insuflação (grelhas ou difusores) [63]. Os sistemas de duplo fluxo permitem recuperação de energia através de permutadores de calor dentro dos quais os fluxos de admissão e extração de ar se cruzam sem se misturarem, como se observa na Figura 30. Assim, no inverno, o frio do exterior permuta com o ar quente viciado da habitação e é aquecido, sendo que no verão o processo é inverso [23].

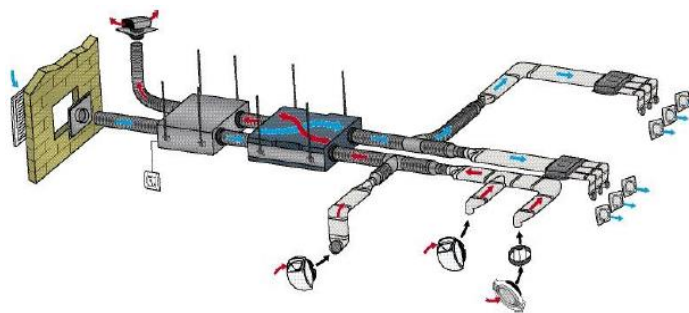


Figura 30 – Sistema de duplo fluxo com recuperação de calor [63]

Na ventilação natural a circulação do ar é efetuada através da utilização da pressão e depressão resultantes da ação do vento na superfície exterior do edifício. Desta forma, a ventilação natural depende da diferença de pressões entre fachadas, da existência e direção de ventos, da diferença de temperaturas entre o ar exterior e interior do edifício, da localização e área das entradas e saídas do ar e da existência de obstáculos entre as entradas e saídas de ar, pelo que todos estes parâmetros dificultam o controlo da renovação do ar [62].

Quando uma parede de um edifício é exposta à ação do vento esta fica sujeita a uma forte pressão enquanto a parede do lado oposto sofre uma depressão, sendo esta diferença de pressões entre os dois lados do edifício promove uma ventilação natural entre as divisões [23]. Existem várias formas de proporcionar a ventilação natural, tais como, janelas, orifícios na fachada e condutas específicas, conforme se verifica na Figura 31.

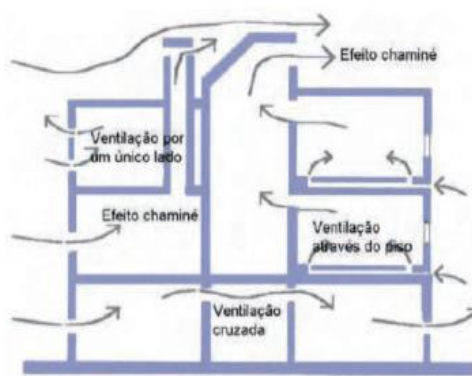


Figura 31 – Ventilação natural [62]

Porém, de modo a obter o máximo proveito da ventilação natural, deve existir pelo menos duas aberturas em fachadas opostas (ventilação cruzada). Outro método eficaz neste tipo de sistemas, é o efeito da impulsão térmica (ou efeito chaminé) que consiste na diferença de temperaturas e, conseqüentemente, na diferença de densidades do ar, ou

seja, o ar quente (menos denso) sobe e em contrapartida o ar frio (mais denso) desce. Devido às diferenças de temperaturas entre as divisões do edifício, é originada a ventilação natural, favorecendo uma renovação do ar interior desde que haja aberturas para o exterior que permitam a entrada de ar novo [23].

De acordo com o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), o valor mínimo de taxa de renovação horária de ar deve ser igual ou superior a 0,4 renovações por hora [22]. Este valor é relativamente baixo quando comparado com os valores de renovação de ar estabelecidos para os edifícios de comércio e serviços [64], podendo ser alcançado com facilidade num sistema de ventilação natural desde que sejam previstas as aberturas necessárias para a circulação do ar. É de salientar ainda que a ventilação natural, para além de assegurar a renovação do ar, pode também contribuir para o arrefecimento gratuito [62].

Tendo em conta que o paradigma futuro dos NZEB contempla uma maior qualidade do ambiente exterior devido à implantação de veículos elétricos, proporcionando maior viabilidade de sistemas de ventilação natural, o sistema de ventilação que melhor se adequa a um edifício de habitação com um balanço energético quase nulo será a ventilação natural, pois utiliza o meio ambiente disponível para promover uma adequada qualidade do ar interior sem qualquer consumo energético [52].

3.7. Aproveitamento de Energia Solar

A energia solar é um recurso endógeno que pode proporcionar importantes poupanças aos seus utilizadores e, sendo uma fonte de energia renovável, contribui para a redução das emissões de CO₂. Em Portugal, a disponibilidade do recurso solar é elevada e está acima da média europeia, apresentando um elevado potencial para aproveitamento de energia solar. Para o efeito, podem ser utilizados dois tipos de sistemas para aproveitamento de energia solar: solar térmico e solar fotovoltaico [65].

3.7.1. Solar Térmico

O sistema solar térmico converte energia solar em energia térmica. De uma forma geral, os componentes constituintes destes sistemas são: painel solar (ou coletor solar) que recebe a energia solar aquecendo o fluido térmico, depósito de acumulação onde a

água é aquecida pelo fluido e é armazenada, e o permutador de calor por onde circula o fluido de aquecimento entre o painel e o depósito [23].

Na Figura 32 é ilustrado a integração dos componentes de um sistema solar térmico com maior detalhe, onde está considerado o circuito hidráulico (tubagens, bombas circuladoras e válvulas), regulação e controlo (sistema de comando diferencial) e ainda um outro permutador ligado ao sistema de apoio energético (bomba de calor, caldeira, resistência elétrica ou termoacumuladores) para fazer face a períodos de menor insolação, sendo que o sistema de apoio deve ser instalado por forma a dar sempre prioridade ao funcionamento do sistema solar [65].

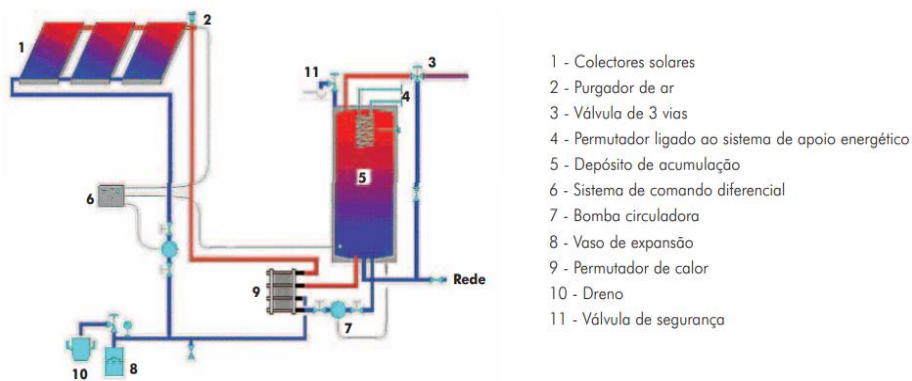


Figura 32 – Esquema de princípio de funcionamento de um sistema solar térmico com permutador externo [65]

Existem dois tipos principais de sistemas solares térmicos e que se encontram representados na Figura 33: circulação em termossifão (lado esquerdo na figura) e circulação forçada (lado direito na figura). No sistema de termossifão a água aquecida pelo sol no painel sobe e desloca a água mais fria do depósito, forçando-a a descer para subir novamente quando for aquecida (correntes de convecção). Relativamente aos sistemas de circulação forçada, normalmente utilizado em situações onde não é viável a colocação de um depósito na parte superior dos coletores, é necessário recorrer a bombas circuladoras, comandadas automaticamente (comando diferencial) para movimentar o fluido térmico. O funcionamento destas bombas está regulado para quando se atingir uma diferença de temperatura entre o coletor solar e o depósito da ordem dos 5°C [66].

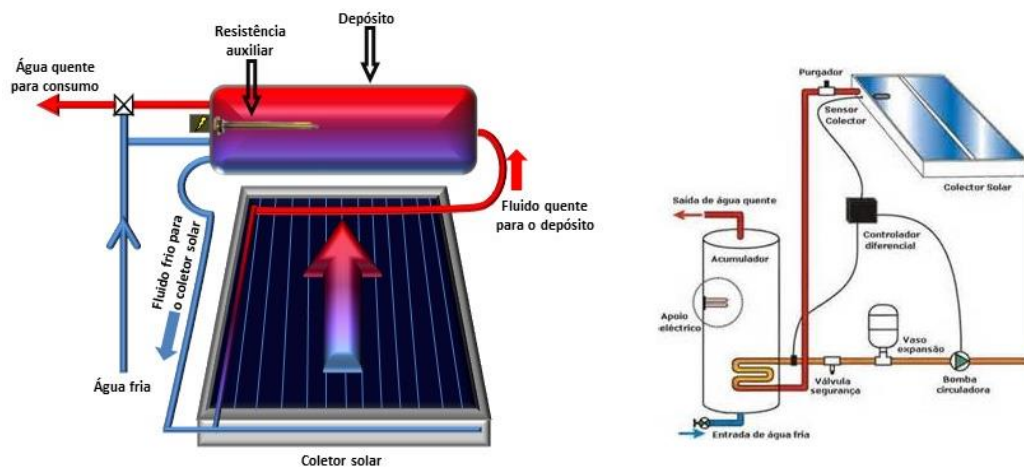


Figura 33 – Sistemas solares térmicos: termostifão (lado esquerdo) e circulação forçada (lado direito) [65]

Os sistemas de termostifão são os sistemas mais comuns em habitações e apresentam uma solução compacta, tornando a instalação mais simples e por isso um custo mais reduzido. Por outro lado, os sistemas de circulação forçada estão divididos entre os coletores localizados no exterior e o depósito no interior do edifício, pelo que é necessário prever infraestruturas para fazer a ligação entre estes equipamentos. Em adicional são precisas bombas circuladoras que consomem eletricidade tornando assim uma instalação mais dispendiosa. Contudo, este sistema permite interligar ao depósito de acumulação uma outra fonte, por exemplo alimentada a gás natural, reduzindo assim o consumo de energia elétrica por parte do sistema de apoio [67].

Os coletores são os componentes mais importantes de um sistema solar térmico, pois são responsáveis por estabelecerem a ligação entre a energia proveniente do sol e os consumidores de água quente. Existem vários tipos de coletores solares térmicos e a sua seleção deve ser adequada à gama de temperatura pretendida. Normalmente, em edifícios convencionais de habitação, apenas é necessário produzir água quente sanitária até 60°C, pelo que nestes casos são utilizados os painéis solares planos [68]. Os tipos de coletores solares podem ser divididos em [68]:

- Coletor plano, permite produção de água quente até 60°C;
- Coletores Parabólicos Compostos, também designados por coletores CPC ou Winstom, permitem produção de água quente superior a 70°C;
- Coletores de vácuo, permitem produção de água quente superior a 70°C;

- Seguidores solares térmicos, coletores com rendimento mais elevado, pois orienta o painel na direção do sol a longo do dia, por forma a captar mais energia solar;

Como já foi referido os painéis solares mais utilizados no setor dos edifícios residenciais são os painéis planos e, por isso, serão abordados com maior detalhe. Os tamanhos mais comuns são de 2 m² e pesam entre 15 a 20 kg/m², ou seja, cada coletor apresenta um peso de cerca de 40 kg. Na Figura 34 é apresentado em pormenor os constituintes de um painel plano. Estes têm isolamento na parte inferior e nas laterais, sendo que na parte superior existe uma cobertura transparente e, no lado do coletor, estão colocados dois tubos para a alimentação e retorno do fluido de transferência térmica. Este líquido é composto por uma mistura de água e glicol (anticongelante) que circula num circuito fechado fazendo a transferência de calor através de um permutador [68].

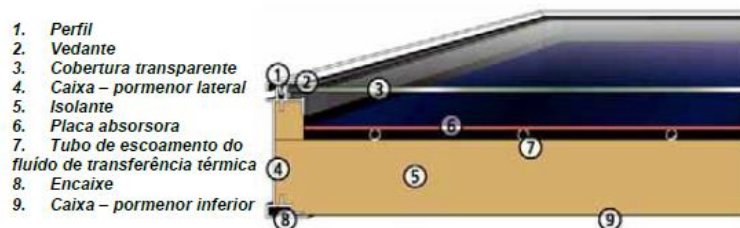


Figura 34 – Constituintes de um coletor solar plano [68]

O correto dimensionamento de todo o sistema solar térmico é o primeiro passo para retirar o máximo proveito deste tipo de sistema. Uma aproximação à área de coletores solares planos para a produção de AQS em habitações pode ser de 1,5 m² por pessoa e o dimensionamento do tanque de armazenamento deve ter em conta a cobertura de 1,5 a 2 vezes a quantidade de água quente utilizada diariamente. Desta forma, o volume deverá ser de 50 a 70 litros por pessoa [68]. Outro aspeto é a manutenção básica aos sistemas de energia solar que pode significar uma vida útil superior a 15 anos. A nível de instalação existem diversos métodos para tirar o máximo partido do sistema em termos de eficiência, tais como [23]:

- ✓ Coletores devem ficar orientados para sul;
- ✓ O ângulo dos coletores relativamente à linha horizontal deve ser ligeiramente superior à latitude do local;

- ✓ As tubagens devem ser devidamente isoladas para minimizar perdas de calor;
- ✓ Prever fácil acesso para manutenção e limpeza dos coletores;

Em síntese, é essencial existir um sistema de apoio energético ao sistema solar para garantir a produção de água quente em períodos de menor insolação. Estes sistemas de apoio apresentam um rendimento bastante superior aos dos coletores solares, por exemplo, uma caldeira mural cerca de 90% ou um esquentador simples com cerca de 65%, comparados com os coletores solares com cerca de 35%. Todavia, estes rendimentos têm significados distintos uma vez que a caldeira e o esquentador consomem recursos petrolíferos e produzem emissão de poluentes, enquanto o sistema solar térmico aproveita energia solar gratuita disponível e sem qualquer emissão de poluentes [68].

3.7.2. Solar Fotovoltaico

Ao contrário do sistema solar térmico que funcionam segundo os princípios da termodinâmica, os sistemas fotovoltaicos funcionam através da conversão direta da luz em eletricidade (efeito fotovoltaico), utilizando células fotovoltaicas fabricadas com material semicondutor [69].

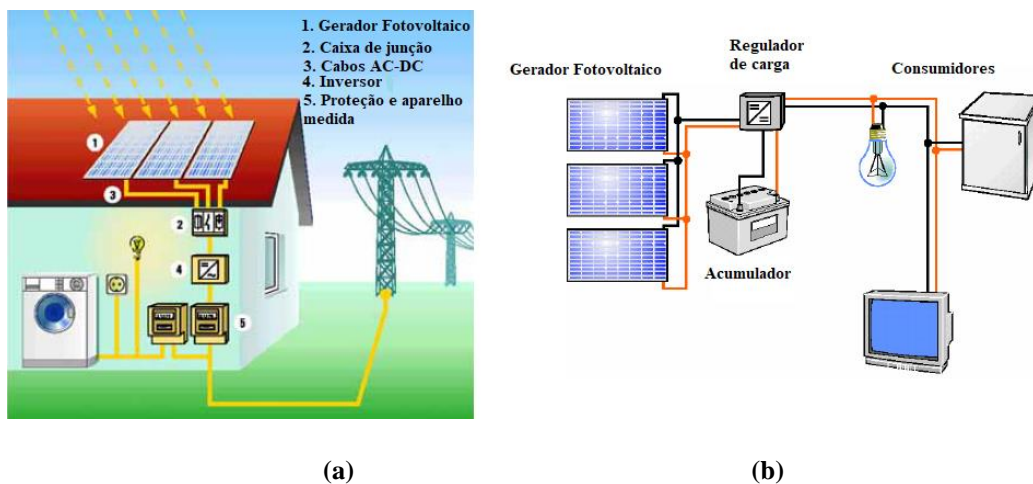


Figura 35 – Esquema com ligação à rede (a) e sistema autónomo (b) [70]

Os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos em sistemas ligados à rede e em sistemas autónomos. No primeiro caso, a rede pública de distribuição de eletricidade funciona como um acumulador da energia elétrica produzida. Este tipo de sistema é composto, normalmente, por gerador (módulo fotovoltaico), caixa de junção, cabos de corrente alternada e contínua (AC/DC), inversor (dispositivo que converte sinal elétrico

de corrente contínua para corrente alternada), mecanismo de proteção e aparelho de medida. Para fazerem o aproveitamento da energia solar, os sistemas autônomos precisam de ser ajustados à procura energética, uma vez que a produção de energia, na maior parte das vezes, não corresponde à procura. Por isso, estes tipos de sistemas exigem capacidade de armazenamento (baterias), o que obriga a utilização de um regulador de carga para fazer a gestão do processo de carregamento, por forma a proteger e prolongar a vida útil dos acumuladores [70].

Todos os componentes de um sistema fotovoltaico são essenciais para o seu bom funcionamento, porém, os painéis fotovoltaicos (PV) são componentes de maior importância uma vez que são responsáveis pela produção de eletricidade através da captação da luz solar. Os módulos fotovoltaicos são constituídos por várias células fabricadas em materiais semicondutores, como por exemplo, o silício, o arsenieto de gálio, telurieto de cádmio ou disselenieto de cobre e índio. O material utilizado nas células solares deve ser da maior pureza possível e, até aos dias de hoje, os fabricantes destas células têm conseguido o material purificado proveniente do desperdício da indústria eletrónica de semicondutores. De um modo geral, os tipos de células podem ser divididos em [70]:

- Células de silício cristalino (monocristalinas ou policristalinas);
- Células de película fina;
- Células híbridas, também designadas como células de Heterojunção de Camada Fina Intrínseca (HCD);

As células fotovoltaicas são fabricadas, na sua maioria, usando o silício, pois, o processo de fabrico atinge um grau de pureza da ordem de 97 e 99% o que é bastante eficiente sob o ponto de vista energético e económico. O módulo com células de silício cristalino é constituído por uma sanduíche de vidro temperado de alta transparência, acetato de etil vinila (EVA, do inglês *Ethylene-Vinyl Acetate*) estabilizado para a radiação ultravioleta e um filme isolante, por exemplo, fluoreto de polivinila (PVF). A Figura 36 mostra um esquema com os principais constituintes de um módulo com células de silício cristalino [69].

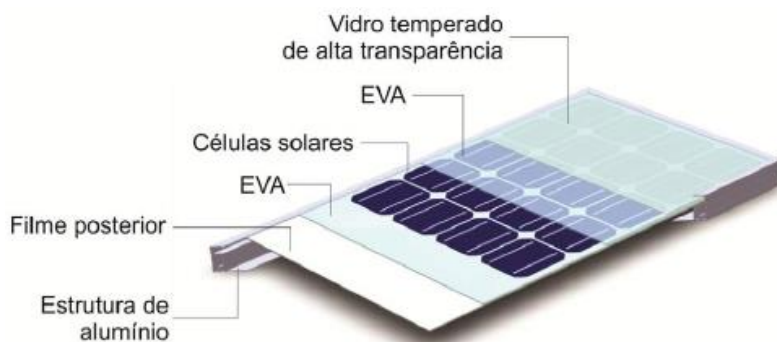


Figura 36 – Componentes de um módulo fotovoltaico com células de silício cristalino [69]

Os PV convencionais (presentes no mercado) são fabricados com o objetivo de obter a máxima capacidade de produção por metro quadrado, ao menor custo possível, pelo que os módulos de células de silício têm uma eficiência que varia entre 13 a 25%, dependendo das condições climatéricas, manutenção, limpeza e orientação das coberturas. Geralmente, um módulo típico de células cristalinas é composto por 36 a 72 células podendo alcançar uma potência nominal entre 50 e 140 Wp (Watt-pico, potência no pico da atividade solar). Estas células normalmente são dispostas em quatro fileiras consecutivas, formando um módulo retangular com dimensões aproximadas de 1 m x 0,5 m. Atualmente, existem módulos comercializados com potências nominais máximas de 340 Wp (220 células) e com dimensões de 2,5 m x 1,25m, devido ao maior aproveitamento de material, possibilidade de novos desenhos dos sistemas e maior simplicidade na montagem. Desta forma, a tendência dos sistemas solares fotovoltaicos é de aumentar a sua eficiência, alcançando capacidades de produção cada vez mais elevadas e a um custo mais acessível. [70].

Desde o ano 2000 que o custo de investimento dos sistemas fotovoltaicos tem vindo a apresentar uma trajetória de redução de preços, custando em média entre 6 a 10 € por Wp e, atualmente, custam entre 0,5 a 1 € por Wp, dependendo do tipo de sistema a utilizar (ligados à rede ou autónomos), da potência nominal a instalar, do fabricante, dos materiais utilizados nas células fotovoltaicas, do número de módulos, das condições de instalação, etc. [69].

Independentemente do tipo de sistema solar fotovoltaico instalado, este permite a geração de energia elétrica, isto é, energia solar disponível diariamente que não é aproveitada. Como referido anteriormente, Portugal tem um enorme potencial solar e que pode aproveitar para a produção de energia térmica e elétrica. Na análise à dependência energética, observou-se que Portugal apresenta uma elevada dependência

na produção e consumo de energia, apesar de estar a crescer no domínio da utilização de fontes de energia renovável, em particular, na energia solar. Constatou-se também que o setor dos edifícios constitui uma boa parte do consumo de energia no país (cerca de 30%) [2], reunindo assim várias razões para investir cada vez mais em sistemas solares térmicos, para produção de águas quentes sanitárias (reduzindo consumo de eletricidade, gás natural, gás butano e gás propano), e em sistemas solares fotovoltaicos, para a produção de eletricidade (em edifícios e em parques industriais). Só assim é possível reduzir, de forma significativa, a dependência energética nacional e as emissões de GEE, otimizando a economia e atingindo as metas impostas pela UE.

3.7.3. Painéis Solares Híbridos (PVT)

Com o desenvolvimento de novas tecnologias na energia fotovoltaica, foi possível juntar dois sistemas num único painel: produção de energia elétrica e água quente. Um painel solar híbrido, definido como um coletor de PVT (*PhotoVoltaicThermal*), é um dispositivo composto por um coletor fotovoltaico ao qual está associado a permutador de calor capaz de aquecer um fluido devido à parte da radiação solar que não é convertida em energia elétrica [71].

A taxa de conversão da radiação solar em energia elétrica depende da temperatura da célula solar fotovoltaica, isto é, o desempenho do painel diminui com o aumento da temperatura da célula. Este aspeto apresenta uma enorme desvantagem uma vez que o painel solar tem como objetivo passar o maior tempo possível ao sol, fazendo com que a sua eficiência seja bastante reduzida (entre 15 a 20 %) [72]. Porém, verificou-se que a restante energia solar que não era convertida em energia elétrica, é convertida em energia térmica que é responsável pelo aquecimento da célula fotovoltaica. Para mitigar este efeito, foi identificada uma solução para arrefecer as células utilizando um fluido de termodinâmico para remover o calor produzido. Este fluido ao remover parte da energia solar (não convertida em energia elétrica) incidente no painel seria capaz de utilizar esse mesmo calor para satisfazer alguma necessidade térmica, conjugando assim a energia [71].

Na Figura 37 está ilustrado um coletor solar híbrido onde se observa as células fotovoltaicas na camada superior e por trás a tubagem por onde circula o fluido de transferência de calor que arrefece as células [72].

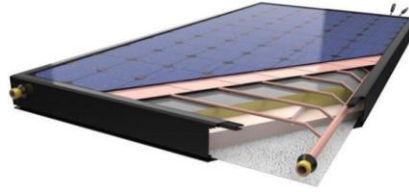


Figura 37 – Ilustração de um coletor solar PVT [72]

Geralmente, eficiência energética geral do coletor PVT (considerando a energia elétrica produzida e o calor recuperado) excede os 40%. Porém, este tipo de painéis ainda está em fraca expansão, não são muito comercializados e apresentam um custo elevado. Todavia, devido aos seus benefícios, é possível prever que os painéis PVT irão crescer no mercado e a sua tecnologia irá progredir nos próximos tempos [72].

Página deixada propositadamente em branco

4. Apresentação do Caso de Estudo e da Metodologia Utilizada

Neste capítulo é aplicada a metodologia e é demonstrado os cálculos das necessidades de energia útil numa habitação unifamiliar, de acordo com o Sistema de Certificação Energética. A metodologia de cálculo apresentada é baseada em dois guias disponibilizados pela ADENE [73,74]. Por último, são abordados os softwares que integram a metodologia utilizada, tais como o *Hourly Analysis Program* (HAP) para o cálculo de cargas térmicas e simulação energética [75], o SolTerm para o cálculo do aproveitamento de energia solar [76] e o SCE.ER para determinar o contributo de energia renovável por parte dos sistemas de climatização [77].

4.1. Caracterização do Edifício

O caso de estudo assenta num edifício habitacional localizado numa zona urbana no Pinhal das Freiras, freguesia da Amora, concelho do Seixal. Esta habitação está inserida num lote com uma área total de 831 m², sendo que a área bruta de construção é de cerca 270 m². Apesar do edifício ter sido construído em 2009, para o caso de estudo será considerado como um edifício novo. Este edifício residencial enquadra-se na tipologia T5 onde foi considerado uma família composta por 6 pessoas e é constituída por 3 pisos.

No Apêndice 13 estão representadas as plantas dos pisos -1, constituída por um escritório, uma instalação sanitária, dois arrumos e uma sala, do piso 0, que corresponde ao piso de entrada, é composto pelo vestíbulo, uma instalação sanitária, um quarto, sala de estar e sala de jantar, uma cozinha, uma lavandaria e no exterior existe ainda uma área técnica, e por fim a planta do piso 1 que é constituída por quatro quartos e três instalações sanitárias, tendo ainda um terraço e uma varanda exterior. No Apêndice 1 encontram-se os diferentes espaços em cada piso, bem como a sua área de pavimento e pé direito, sendo que a área útil de pavimento total é de 264,9 m².

4.1.1. Clima e localização geográfica

O edifício está localizado numa zona urbana no Pinhal das Freiras, freguesia da Amora, concelho do Seixal e possui fachadas orientadas a nordeste, noroeste, sudeste e sudoeste, localizado a uma altitude de 49 m.

A determinação da zona climática é importante pois define o número de graus-dia, a temperatura exterior média, a energia solar média mensal, a energia solar acumulada e, com base na sua classificação, determina os requisitos mínimos da envolvente exterior opaca e envidraça. A metodologia utilizada para determinar a zona climática do edifício habitacional segue o Despacho (extrato) 15793-F/2013, sendo que o zoneamento climático do País é baseado na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III e, de acordo com o referido Despacho, Seixal pertence à Península de Setúbal.

Para a aplicação dos requisitos de qualidade térmica da envolvente, são definidas três zonas climáticas de inverno (I1, I2 e I3) e três zonas climáticas de verão (V1, V2 e V3), conforme foi exposto no subcapítulo 3.1. Na estação de aquecimento as zonas climáticas são definidas a partir do número de graus-dias (GD) na base de 18 °C, sendo que na Tabela 2, retirada do Despacho (extrato) 15793-F/2013, estão os critérios para a determinação da zona climática de inverno.

Tabela 2 – Critérios para a determinação da zona climática de inverno

Critério	GD ≤ 1300	1300 < GD ≤ 1800	GD > 1800
Zona	I1	I2	I3

Para determinar o número de graus-dias recorreu-se à equação (3) em meses, segundo o mesmo Despacho,

$$GD = GD_{ref} + a \cdot (z - z_{ref}) \quad (3)$$

onde GD representa o número de graus-dias, na base de 18 °C, correspondente à estação convencional de aquecimento, GD_{ref} representa o número de graus-dias de referência em função da região e toma o valor de 1045 °C, o parâmetro “a” representa o declive relacionado com as correções de altitude lineares e toma o valor de 1.500 °C/km e z_{ref} é a altitude de referência da região e tem o valor de 47 m. Os termos GD_{ref} , “a” e z_{ref} foram obtidos através da Tabela A 2 do Apêndice 2, retirada do Despacho (extrato) 15793-F/2013. O termo “z” é a altitude do local que é de 49 m como mencionado anteriormente.

Tendo todos estes parâmetros definidos é possível calcular os GD, através da equação (3), tendo-se obtido o valor de 1.048 graus-dias. Consultando a Tabela 2 verifica-se que

o valor obtido é inferior a 1.300 graus-dias e por isso a zona climática de inverno do edifício é II.

Na estação de arrefecimento as zonas climáticas são definidas a partir da temperatura média exterior correspondente à estação convencional de arrefecimento ($\theta_{ext,v}$), sendo que na Tabela 3, retirada do Despacho (extrato) 15793-F/2013, estão os critérios para a determinação da zona climática de verão.

Tabela 3 – Critérios para a determinação da zona climática de verão

Critério	$\theta_{ext,v} \leq 20^{\circ}\text{C}$	$20^{\circ}\text{C} < \theta_{ext,v} \leq 22^{\circ}\text{C}$	$\theta_{ext,v} > 22^{\circ}\text{C}$
Zona	V1	V2	V3

Para determinar temperatura média exterior correspondente à estação convencional de arrefecimento recorreu-se à equação (4) em °C, segundo o mesmo Despacho,

$$\theta_{ext,v} = \theta_{ref} + a \cdot (z - z_{ref}) \quad (4)$$

em que θ_{ref} corresponde à temperatura média exterior de referência e tem o valor de 22,8 °C e o termo “a” toma o valor de -5 na estação de arrefecimento, pelo que estes parâmetros foram obtidos através da Tabela A 3 do Apêndice 2 retirada do Despacho (extrato) 15793-F/2013. Os restantes termos são os mesmos considerados para a estação de aquecimento.

Tendo todos estes parâmetros definidos é possível calcular o $\theta_{ext,v}$, através da equação (4), tendo-se obtido o valor de 22,79 °C. Consultando a Tabela 3 verifica-se que o valor obtido é superior a 22 °C e por isso a zona climática de verão do edifício é V3.

4.1.2. Envolvente térmica opaca e envidraçada

Os coeficientes globais de transferência de calor dos elementos constituintes da envolvente térmica opaca foram determinados com base nas equações (1) e (2), tendo em consideração os requisitos mínimos impostos pela Portaria n.º 379-A/2015, de 22 de outubro, ao abrigo do Decreto-Lei n.º 118/2013.

Os elementos da envolvente térmica considerados neste caso de estudo são: parede exterior, cobertura exterior, pavimento, pilares e vigas, parede interior em contacto com espaços não úteis (ENU) e vãos envidraçados. Os vãos envidraçados não possuem caixa de estore, mas têm portadas exteriores de cor branca.

Os elementos constituintes da envolvente opaca encontram-se definidos no Apêndice 3, bem como a determinação dos coeficientes globais de transmissão de calor em cada elemento construtivo. É de salientar que o valor das resistências térmicas interiores e exteriores encontram-se na Tabela A 4 do mesmo apêndice, tendo sido retiradas do Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013. Na Tabela 4 estão resumidos os resultados obtidos e o valor máximo regulamentar para o coeficiente de transmissão térmica, o qual se pode verificar na Tabela A 13 do Apêndice 3, retirada da Portaria n.º 379-A/2015, considerando a zona climática II.

Tabela 4 – Coeficientes globais de transferência de calor adotados

Elemento construtivo	Solução adotada U (W/m².°C)	Valor máximo regulamentar U (W/m².°C)
Parede Exterior	0,43	0,50
Cobertura Exterior	0,34	0,40
Pavimento	0,33	0,40
Pilar/viga	0,69	0,90
Parede interior em contacto com ENU	0,42	0,50
Vão envidraçado	2,70	2,80

Todos os vãos envidraçados possuem uma altura de 2 m e uma largura de 1,6 m, à exceção dos vãos envidraçados das instalações sanitárias e o quarto n.º 21 no piso 1 que têm 0,8 m de largura.

4.2. Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

A metodologia que foi utilizada para a determinação das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento da habitação, segue o Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013 nos termos do Decreto-Lei n.º 118/2013, de acordo com as disposições da norma europeia EN ISO 13790, considerando:

- O método sazonal de cálculo de necessidades de arrefecimento de edifícios e as adaptações permitidas pela referida norma;

- Cada edifício e/ou fração autónoma do edifício como uma única zona, com as mesmas condições interiores de referência;
- A ocorrência dos fenómenos envolvidos em regime permanente, integrados ao longo da estação de arrefecimento.

O valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}) é calculado através da equação (5), em kWh/m².ano,

$$N_{ic} = \frac{(Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i})}{A_p} \quad (5)$$

onde $Q_{tr,i}$ representa a transferência de calor por transmissão através da envolvente do edifício na estação de aquecimento em kWh, $Q_{ve,i}$ representa a transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento em kWh, $Q_{gu,i}$ representa os ganhos térmicos úteis (na estação de aquecimento) resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes também em kWh. O termo A_p corresponde à área interior útil de pavimento do edifício medida pelo interior em m².

4.2.1. Transferência de calor por transmissão através da envolvente

A transferência de calor através da envolvente ocorre devido à diferença de temperatura que existe entre o exterior e o interior do edifício. Segundo o Despacho (extrato) n° 15793-I/2013 é calculada através da equação (6) em kWh,

$$Q_{tr,i} = 0,024 \cdot GD \cdot H_{tr,i} \quad (6)$$

onde GD representa o número de graus-dias de aquecimento especificados para a região da Península de Setúbal, em °C.dia, e toma o valor de 1.048 °C.dia calculado no subcapítulo 4.1.1, de acordo com o Despacho (extrato) n° 15793-F/2013. A parcela $H_{tr,i}$ representa o coeficiente global de transferência de calor por transmissão durante a estação de aquecimento e tem como unidades W/°C.

4.2.1.1. Coeficiente global de transferência de calor por transmissão

Este parâmetro traduz a condutância através de toda a superfície dos elementos da envolvente, considerando paredes, envidraçados, pavimentos, coberturas, pontes térmicas planas e lineares. O cálculo do referido parâmetro é dado pela equação (7), de acordo com o Despacho (extrato) n° 15793-K/2013,

$$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{enu} + H_{adj} + H_{ecs} \quad (7)$$

em que H_{ext} é o coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior em $W/^\circ C$, H_{enu} é o coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis em $W/^\circ C$, H_{adj} é o coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com edifícios adjacentes em $W/^\circ C$, que toma o valor nulo por não existirem edifícios adjacentes, e por fim H_{ecs} é o coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo, também em $W/^\circ C$.

Através do Despacho precedente obtêm-se as equações necessárias para a determinação das quatro parcelas da equação (7), sendo que o seu método de cálculo é demonstrado nas alíneas que se seguem.

- a) o coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior é calculado de acordo com a equação (8),

$$H_{ext} = \sum_i [U_i \cdot A_i] + \sum_j [\psi_j \cdot B_j] \quad (8)$$

onde U_i representa o coeficiente de transmissão térmica do elemento i da envolvente em $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$, A_i é a área do elemento i da envolvente medida pelo interior em m^2 , ψ_j é o coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica linear j em $W/(m \cdot ^\circ C)$ e B_j corresponde ao desenvolvimento linear da ponte térmica linear j , medido também pelo interior em m .

O cálculo dos coeficientes de transmissão térmica (U) dos diferentes elementos construtivos encontra-se no Apêndice 3, sendo que estes se encontram resumidos na Tabela 4 do subcapítulo 4.1.2. Salientar que nas paredes exteriores onde existem vigas foi considerada uma altura da viga de 33 cm que foi subtraída no cálculo da área da parede exterior de alvenaria- Notar ainda que existem três coberturas a considerar, duas no piso 0 (cobertura da instalação sanitária e sala de estar) e outra no piso 1 (cobertura do edifício).

A Tabela 5 apresenta os resultados do cálculo do primeiro termo da equação (8) e que toma o valor de 298,91 $W/^\circ C$. Note-se que os elementos da envolvente térmica em contacto com o solo não são considerados neste cálculo pois este apresenta outro método de cálculo que será abordado na alínea c).

Tabela 5 – Resultado do primeiro termo da equação (8)

Elemento	U (W/m²°C)	Área (m²)	U.A (W/°C)
Parede exterior	0,43	254,65	109,50
Vão envidraçado	2,70	46,40	125,28
Viga	0,69	15,47	10,68
Cobertura	0,34	157,21	53,45
		$\sum_i [U_i \cdot A_i]$	298,91

Em relação à segunda parcela da equação (8), o valor de ψ é obtido a partir do Despacho (extrato) nº 15793-E/2013 como pode ser observado na Tabela A15 do Apêndice 4 retirada do referido Despacho. Para o cálculo do valor de B foi tido em consideração as alturas de cada piso, o piso -1 com 2,45 m, o piso 1 com 2,75 m, sendo que no piso 0 foi considerado um pé direito médio de 2,57 m devido às diferentes alturas entre os espaços. Desta forma obteve-se o resultado de 155,23 (W/°C) conforme se pode verificar na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultado do segundo termo da equação (8)

Piso	Tipo de Ligação	B (m)	ψ (W/m.°C)	B.ψ (W/°C)
-1	Fachada com varanda	5,92	0,70	4,14
	Fachada com pavimento térreo	4,70	0,70	3,29
	Fachada com caixilharia	12,00	0,30	3,60
0	Fachada com varanda	13,04	0,70	9,13
	Duas paredes verticais em angulo saliente	17,99	0,50	9,00
	Fachada com pavimento intermédio	28,27	0,70	19,79
	Fachada com caixilharia	55,60	0,30	16,68
1	Fachada com varanda	6,61	0,70	4,63
	Duas paredes verticais em angulo saliente	19,25	0,50	9,63
	Fachada com pavimento intermédio	35,75	0,70	25,03
	Fachada com cobertura	49,95	0,70	34,97
	Fachada com caixilharia	51,20	0,30	15,36

$\sum_j [\psi_j \cdot B_j]$	155,23
-----------------------------	--------

Obtidos os valores necessários para o cálculo da equação (8), chegou-se ao valor do coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior, H_{ext} , de 454,13 W/°C.

- b) o coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis (H_{enu}) é calculado através da equação (9),

$$H_{enu} = b_{tr} \cdot \left(\sum_i [U_i \cdot A_i] + \sum_j [\psi_j \cdot B_j] \right) \quad (9)$$

onde b_{tr} representa o coeficiente de redução de perdas de um espaço não útil e é calculado de acordo com o Despacho (extrato) 15793-K/2013, cujo a metodologia de cálculo e os valores obtidos encontram-se no Apêndice 4. De acordo com o Despacho (extrato) nº 15793-K/2013 o cálculo das pontes térmicas lineares que pertencem à envolvente interior não é contabilizado para valores $b_{tr} < 0,7$, que se confirma.

Uma vez que a segunda parcela da equação (9) toma valor nulo, o resultado do coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis, H_{enu} , é de 10,29 W/°C, conforme se verifica na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultados obtidos para o coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis

Piso	Espaço	b_{tr}	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	$b_{tr} \cdot U \cdot A$ (W/°C)
0	14 Lavandaria	0,40	21,55	0,42	3,62
0	Área Técnica	1,00	15,89	0,42	6,67
$b_{tr} \cdot \sum_i [U_i \cdot A_i]$					10,29

- c) o coeficiente de transferência de calor por transmissão através de elementos em contacto com o solo é calculado de acordo com a equação (10),

$$H_{ecs} = \sum_i [U_{bf,i} \cdot A_i] + \sum_j [z_j \cdot P_j \cdot U_{bw,j}] \quad (10)$$

onde $U_{bf,i}$ representa o coeficiente de transmissão térmica do pavimento enterrado em $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ neste caso de estudo é o pavimento no piso -1 e ainda o pavimento no piso 0 na instalação sanitária nº 8, no quarto nº 9 e na sala de jantar nº 13. A_i é a área do pavimento em contacto com o solo medida pelo interior do edifício em m^2 , z_j é a profundidade média enterrada da parede em contacto com o solo em m, P_j é o desenvolvimento total da parede em contacto com o solo medido pelo interior e por fim $U_{bw,j}$ é o coeficiente de transmissão térmica da parede em contacto com o solo em $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$. O valor de z no piso -1 foi considerado como sendo a altura nesse piso (2,35 m) e no piso 0 z toma o valor nulo.

Tabela 8 – Resultados obtidos para o coeficiente de transferência de calor por transmissão através de elementos em contacto com o solo

Piso	U_{bf} ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)	Área (m^2)	z (m)	P (m)	U_{bw} ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)	$U_{bf} \cdot A + z \cdot P \cdot U_{bw}$ ($W/^\circ C$)
-1	0,33	70,20	2,35	32,40	0,43	55,91
0	0,33	34,30	0,00	0,00	0,43	11,32
H_{ecs} ($W/^\circ C$)						67,23

Desta forma é possível determinar o valor final do coeficiente de transferência de calor por transmissão através de elementos em contacto com o solo, H_{ecs} , através da equação (10), onde se obtém o valor de 67,23 $W/^\circ C$ conforme se observa na Tabela 8. Com os valores das parcelas que compõem a equação (7) determinado e resumidos na Tabela 9, é possível calcular o valor final do coeficiente global de transferência de calor por transmissão, H_{tr} , de 531,65 $W/^\circ C$.

Tabela 9 – Valores obtidos dos coeficientes de transferência de calor

Coeficiente global de transferência de calor por transmissão	Valor Obtido ($W/^\circ C$)
Através da envolvente exterior (H_{ext})	454,13
Através da envolvente em contacto com espaços não úteis (H_{enu})	10,29
Através de elementos em contacto com o solo (H_{ecs})	67,23
Coeficiente global de transferência de calor por transmissão final (H_{tr})	531,65

Com o valor final do coeficiente global de transferência por transmissão (H_{tr}), é possível finalizar a equação (6) de forma a determinar a transferência de calor através da envolvente, na estação de aquecimento, $Q_{tr,i}$, o qual se obteve o valor de 13.372,17 kWh necessário para calcular as necessidades anuais de aquecimento de acordo com a equação (5).

4.2.2. Transferência de calor por renovação do ar

Devido à renovação do ar interior da habitação existem perdas de calor por ventilação que podem ser calculadas segundo a equação (11), em kWh, de acordo com o Despacho (extrato) 15793-I/2013,

$$Q_{ve,i} = 0,024 \cdot GD \cdot H_{ve,i} \quad (11)$$

onde $H_{ve,i}$ representa o coeficiente global de transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento em $W/^\circ C$ e é determinado através da equação (12),

$$H_{ve,i} = 0,34 \cdot R_{ph,i} \cdot A_p \cdot P_d \quad (12)$$

onde $R_{ph,i}$ representa a taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento em h^{-1} , A_p é a área útil de pavimento medida pelo interior em m^2 e tem o valor de 264,9 m^2 . P_d é o pé direito médio da fração em m e para o efeito considerou-se um valor médio de 2,75 m.

O valor da taxa nominal de renovação do ar interior da habitação foi obtido com recurso à aplicação do LNEC para a ventilação no âmbito do REH e do RECS, versão 2.0 de 12/02/2014, desenvolvida pelo Eng. Armando Pinto do LNEC. Uma vez que a habitação não garante a taxa de renovação do ar interior mínima ($0,4 h^{-1}$) foi necessário prever aberturas de admissão de ar na envolvente (grelhas de transferências) com uma área livre de 950 cm^2 . O cálculo da taxa de renovação do ar interior pode ser consultado no Apêndice 5.

Desta forma, o valor obtido para coeficiente global de transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento através da equação (12) foi de 99,07 $W/^\circ C$. Desta forma, conhecendo o valor de graus-dias de aquecimento para a região, 1.048 $^\circ C \cdot dia$, obtém-se 2.491,87 kWh para a transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento, $Q_{ve,i}$, através da equação (11).

4.2.3. Ganhos térmicos úteis

A quantidade de energia térmica proveniente dos ganhos térmicos brutos que se traduz em ganhos térmicos úteis é calculada de acordo com o Despacho (extrato) 15793-I/2013 através da equação (13) em kWh,

$$Q_{gu,i} = \eta_i \cdot Q_{g,i} \quad (13)$$

onde η_i é o fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento. Neste caso de estudo o fator de utilização foi calculado de acordo o Despacho (extrato) 15793-K/2013 e que está descrito no Apêndice 7.

O termo $Q_{g,i}$ representa os ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento em kWh e é calculado de acordo com a equação (14)

$$Q_{g,i} = Q_{int,i} + Q_{sol,i} \quad (14)$$

onde $Q_{int,i}$ é o termo que diz respeito aos ganhos térmicos associados a fontes internas de calor em kWh e $Q_{sol,i}$ diz respeito aos ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados na estação de aquecimento em kWh.

4.2.3.1. Ganhos térmicos devido a fontes internas de calor

Os ganhos térmicos internos consideram as fontes de calor associadas ao metabolismo dos ocupantes, calor dissipado pelos equipamentos e pelos dispositivos de iluminação. É de notar que os ganhos térmicos associados ao sistema de aquecimento não são considerados, de acordo com Despacho (extrato) 15793-I/2013 e segundo o mesmo, o cálculo dos ganhos térmicos internos podem ser obtidos através da equação (15) em kWh,

$$Q_{int,i} = 0,72 \cdot q_{int} \cdot M \cdot A_p \quad (15)$$

onde q_{int} é o termo referente aos ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície e toma o valor de 4 W/m^2 segundo o Despacho referido, M é a duração média da estação convencional de aquecimento em mês na região da Península de Setúbal, que pode ser consultada na Tabela A 2 do Apêndice 2 retirada do Despacho (extrato) 15793-F/2013 e tem o valor de 4,7 meses. A_p é a área interior útil de pavimento medida pelo interior e que toma o valor de $264,9 \text{ m}^2$ obtido anteriormente.

Tendo em consideração os valores acima mencionados, obtém-se o valor de 3.585,69 kWh para $Q_{int,i}$, segundo a equação (15).

4.2.3.2. Ganhos térmicos solares

Os ganhos térmicos associados à radiação solar que incide sobre os vãos envidraçados na estação de aquecimento são calculados através da equação (16) em kWh, de acordo com o Despacho (extrato) 15793-I/2013,

$$Q_{sol,i} = G_{sul} \cdot \sum_j \left[X_j \cdot \sum_n F_{s,inj} \cdot A_{s,inj} \right] \cdot M \quad (16)$$

onde G_{sul} é o valor médio mensal de energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a sul, durante a estação de aquecimento, por unidade de superfície em kWh/(m².mês). G_{sul} toma o valor de 145 kWh/(m².mês) para a região da Península de Setúbal de acordo com a Tabela A 2 do Apêndice 2 retirada do Despacho (extrato) 15793-F/2013. O parâmetro X_j é o fator de orientação para as diferentes exposições de acordo com a Tabela A 18 presente no Apêndice 6 retirada do Despacho (extrato) 15793-I/2013, $F_{s,inj}$ é o fator de obstrução do vão envidraçado “n” com a orientação “j” na estação de aquecimento e é determinado segundo a metodologia descrita no Apêndice 6, de acordo com o Despacho (extrato) 15793-K/2013. O termo $A_{s,inj}$ corresponde à área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado na superfície “n” com a orientação “j” e é calculada segundo o Despacho (extrato) 15793-I/2013 através da equação (17) em m²,

$$A_{s,inj} = A_w \cdot F_g \cdot g_i \quad (17)$$

onde A_w representa a área total do vão envidraçado, incluindo o vidro e caixilho em m², F_g representa a fração envidraçada do vão envidraçado e tem o valor de 0,7 considerando um caixilho de alumínio sem quadrícula. Por último g_i representa o fator solar do vidro na estação de aquecimento e é determinado através da equação (18) de acordo com o Despacho (extrato) 15793-K/2013,

$$g_i = F_{w,i} \cdot g_{\perp,vi} \quad (18)$$

onde $F_{w,i}$ corresponde ao fator que traduz a variação da incidência da radiação solar consoante a orientação pelo que na estação de aquecimento toma o valor de 0,9 de acordo com o Despacho (extrato) 15793-K/2013. O $g_{\perp,vi}$ é o fator solar do vidro aplicado no vão envidraçado para uma incidência solar normal à superfície e que toma o valor de 0,52 de acordo com o vidro selecionado através da ferramenta *CalumenLive*, conforme mostra a Figura A 1 do Apêndice 3. Assim, o fator solar do vidro na estação

de aquecimento, g_i , é de 0,468. Note-se que o fator solar do envidraçado não pode ultrapassar o valor máximo admissível que neste caso é de 0,5 conforme é indicado na Tabela A 14 do Apêndice 3.

O cálculo dos ganhos térmicos solares descrito na equação (16) encontra-se resumido no Apêndice 6 na Tabela A 24 pelo que o valor final obtido para $Q_{sol,i}$ é de 2.849,23 kWh.

Com os ganhos térmicos devido a fontes internas de calor ($Q_{int,i}$) e os ganhos térmicos solares ($Q_{sol,i}$) calculados, é possível determinar os ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento ($Q_{g,i}$) através da equação (14), pelo que se obteve o valor de 6.434,92 kWh.

Para calcular os ganhos térmicos úteis ($Q_{gu,i}$) através da equação (13) é ainda necessário determinar o fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento (η_i). A metodologia de cálculo deste termo encontra-se no Apêndice 7 tendo sido obtido o valor de 0,99 de acordo com a Tabela A 34 do mesmo apêndice. Desta forma, a quantidade de energia térmica proveniente dos ganhos térmicos brutos ($Q_{gu,i}$), calculada através da equação (13), é de 6.268,36 kWh.

Por fim, uma vez calculados todas as parcelas necessárias para determinar as necessidades nominais anuais de energia útil (N_{ic}), resumidas na Tabela 10, onde se obteve o valor de 35,92 kWh/m².ano de acordo com a equação (5).

Tabela 10 – Resultados obtidos para $Q_{tr,i}$, $Q_{ve,i}$, $Q_{gu,i}$ e N_{ic}

$Q_{tr,i}$ (kWh)	$Q_{ve,i}$ (kWh)	$Q_{gu,i}$ (kWh)	A_p (m²)	N_{ic} (kWh/m².ano)
13.372,17	2.491,87	6.434,92	264,90	35,92

Na Figura 38 é apresentado um gráfico com os vários fatores que contribuem para as necessidades de energia útil para aquecimento. É possível constatar que a envolvente é o principal meio de transferência de calor da habitação com cerca de 71%, sendo por isso importante ter em consideração o isolamento da envolvente opaca. Em segundo lugar estão as perdas térmicas devido às janelas, representando cerca de 16%. A perda de calor devido à renovação do ar apresenta não é tão significativa quando comparada com a envolvente, tendo um peso de apenas 13%.

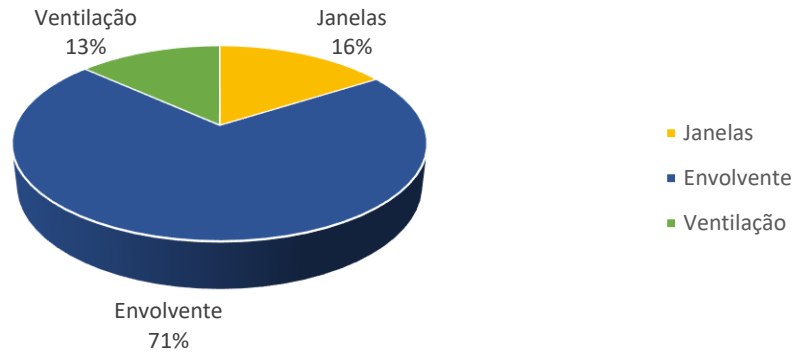


Figura 38 – Transferência de calor na estação de aquecimento

4.3. Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

O cálculo das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, N_{vc} , da habitação em estudo, foi efetuado de acordo com as mesmas considerações referidas no subcapítulo 4.2. Esta metodologia segue o Despacho (extrato) nº 15793-I/2013 nos termos do Decreto-Lei nº 118/2013, sendo que as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento em kWh são calculadas segundo a equação (19), em kWh/m².ano,

$$N_{vc} = \frac{(1 - \eta_v) \cdot Q_{g,v}}{A_p} \quad (19)$$

onde $Q_{g,v}$ representa os ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento em kWh, η_v representa o fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento e é obtido através da metodologia descrita no Apêndice 7 e, à semelhança de η_i , é determinado em função das transferências de calor ao longo da estação de arrefecimento que ocorrem por transmissão ($Q_{tr,v}$), por renovação do ar interior ($Q_{ve,v}$) e através dos ganhos térmicos brutos ($Q_{g,v}$). A_p é a área útil de pavimento em m².

4.3.1. Transferência de calor por transmissão através da envolvente

A transferência de calor por transmissão através da envolvente na estação de arrefecimento segue o Despacho (extrato) nº 15793-I/2013 e é obtido através da equação (20) em kWh,

$$Q_{tr,v} = \frac{H_{tr,v} \cdot (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \cdot L_v}{1000} \quad (20)$$

onde $H_{tr,v}$ representa o coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento, o qual toma o mesmo valor da estação de aquecimento de $531,65 \text{ W/}^\circ\text{C}$, (ver Tabela 9) calculado segundo a equação (7). O termo L_v corresponde à duração da estação de arrefecimento e é igual a 2.928 horas, de acordo com o Despacho mencionado anteriormente, o termo $\theta_{v,ref}$ representa a temperatura de referência para o cálculo das necessidades de energia na estação de arrefecimento e é igual a $25 \text{ }^\circ\text{C}$, segundo o mesmo Despacho e por último $\theta_{v,ext}$ é a temperatura média do ar exterior para a estação de arrefecimento e toma o valor de $22,8 \text{ }^\circ\text{C}$ para a região da Península de Setúbal, conforme se verifica na Tabela A 3 do Apêndice 2 retirada do Despacho (extrato) nº 15793-F/2013.

Tendo em conta os valores do parágrafo acima para os termos da equação (20), obtém o valor da transferência de calor por transmissão através da envolvente na estação de arrefecimento, $Q_{tr,v}$, de $3.424,70 \text{ kWh}$.

4.3.2. Transferência de calor por renovação do ar

Devido à renovação do ar interior da habitação existem perdas de calor por ventilação que podem ser calculadas segundo a equação (21), em kWh, de acordo com o Despacho (extrato) 15793-I/2013,

$$Q_{ve,v} = \frac{H_{ve,v} \cdot (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \cdot L_v}{1000} \quad (21)$$

em que $H_{ve,v}$ representa o coeficiente global de transferência de calor por ventilação na estação de arrefecimento e é determinado segundo a equação (22) em $\text{W/}^\circ\text{C}$,

$$H_{ve,v} = 0,34 \cdot R_{ph,v} \cdot A_p \cdot P_d \quad (22)$$

onde $R_{ph,v}$ corresponde à taxa nominal de renovação do ar interior na estação de arrefecimento, A_p é a área útil de pavimento e tem o valor de $264,9 \text{ m}^2$ e o termo P_d é o pé direito médio da fração e tem o valor de $2,75 \text{ m}$. O valor mínimo para a taxa de renovação do ar interior na estação de arrefecimento é de $0,6 \text{ h}^{-1}$ segundo o Despacho (extrato) 15793-K/2013 e uma vez que a taxa de renovação da habitação é de $0,4 \text{ h}^{-1}$ (inferior ao requisito mínimo), $R_{ph,v}$ toma o valor de $0,6 \text{ h}^{-1}$.

Desta forma, atendendo aos valores dos termos referidos anteriormente, obteve-se o valor de $148,6 \text{ W/}^\circ\text{C}$ para o $H_{ve,v}$. Considerando os termos em comum com a equação

(20), o valor da transferência de calor por renovação do ar interior na estação de arrefecimento, $Q_{ve,v}$, é de 957,28 kWh.

4.3.3. Ganhos térmicos brutos

O cálculo dos ganhos térmicos brutos durante a estação de arrefecimento é em tudo semelhante ao da estação de aquecimento e é obtido através da equação (23) em kWh,

$$Q_{g,v} = Q_{int,v} + Q_{sol,v} \quad (23)$$

em que $Q_{int,v}$ representa os ganhos térmicos devido às diversas fontes de calor (ocupação, equipamentos e iluminação) em kWh e $Q_{sol,v}$ são os ganhos térmicos devido à radiação solar incidente na envolvente exterior opaca e envidraçada em kWh.

4.3.3.1. Ganhos térmicos internos

De acordo com o Despacho (extrato) 15793-I/2013 os ganhos térmicos internos durante a estação de arrefecimento são calculados através da equação (24) em kWh

$$Q_{int,v} = \frac{q_{int} \cdot A_p \cdot L_v}{1000} \quad (24)$$

em que q_{int} toma o mesmo valor que na estação de aquecimento 4 W/m². A_p tem o valor de 264,9 m² e L_v tem o valor de 2.928 horas. Assim, os ganhos térmicos internos durante a estação de arrefecimento, $Q_{int,v}$, tem o valor de 3.102,5 kWh.

4.3.3.2. Ganhos térmicos solares

Os ganhos térmicos solares resultantes da radiação solar incidente na envolvente opaca e envidraçada na estação de arrefecimento são calculados recorrendo à equação (25) em kWh, segundo o Despacho (extrato) 15793-I/2013,

$$Q_{sol,v} = \sum_j \left[I_{sol,j} \cdot \sum_n F_{s,vnj} \cdot A_{s,vnj} \right] \quad (25)$$

em que o termo $I_{sol,j}$ representa a energia solar acumulada durante a estação de arrefecimento, em kWh, para cada orientação “j” na região da Península de Setúbal, sendo que os diferentes valores utilizados podem ser consultados na Tabela A 3 do Apêndice 2, retirada do Despacho (extrato) 15793-F/2013. O termo $A_{s,vnj}$ representa a área coletora de radiação solar na superfície da envolvente exterior “n” com a orientação “j” na estação de arrefecimento em m². Uma vez que esta área é composta por duas

envolventes distintas, opaca e envidraçada, o cálculo de $Q_{sol,v}$ é feito com base nas alíneas a) e b), respetivamente.

- a) No caso da envolvente opaca, a área efetiva coletora de radiação solar de um elemento “n” da envolvente exterior, com orientação “j” é calculada de acordo com o Despacho (extrato) 15793-I/2013 através da equação (26) em m^2 ,

$$A_{s,vnj} = \alpha \cdot U \cdot A_{op} \cdot R_{se} \quad (26)$$

onde α representa o coeficiente de absorção de radiação solar da superfície do elemento da envolvente opaca e toma o valor de 0,4 considerando que a cor do revestimento da superfície exterior da envolvente é clara, de acordo com o Despacho (extrato) 15793-K/2013. O termo U é o coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente opaca em W/m^2 , A_{op} é a área do elemento da envolvente opaca exterior e R_{se} é a resistência térmica superficial exterior e é igual a $0,04 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$, segundo o Despacho (extrato) 15793-I/2013.

Substituindo a equação (26) na equação (25), obtém a equação (27), que permite determinar os ganhos térmicos solares resultantes da radiação incidente na envolvente opaca (paredes e cobertura). O valor do fator de obstrução, $F_{s,vnj}$, de superfícies opacas é opcional, não sendo considerado no cálculo, sendo que toma o valor de 1, de acordo com o Despacho (extrato) 15793-K/2013.

$$Q_{sol,envolvente\ opaca} = \sum_j \left[I_{sol,j} \cdot \sum_n F_{s,vnj} \cdot \alpha \cdot U \cdot A_{op} \cdot R_{se} \right] \quad (27)$$

Na Tabela A 30 do Apêndice 6 encontram-se os valores para o cálculo da equação (27), sendo que o valor final dos ganhos térmicos solares resultantes da radiação solar incidente na envolvente opaca, $Q_{sol,envolvente\ opaca}$, é 1.248,52 kWh.

- b) No caso da envolvente envidraçada, a área efetiva coletora da radiação solar da superfície envidraçada “n”, com orientação “j” na estação de arrefecimento é calculada utilizando a mesma expressão para a estação de aquecimento, equação (17). Substituindo a equação (17) na (25), resulta na equação (28), que traduz os ganhos térmicos solares resultantes da radiação solar incidente na envolvente envidraçada em kWh,

$$Q_{sol,envolvente\ envidraçada} = \sum_j \left[I_{sol,j} \cdot \sum_n F_{s,vnj} \cdot A_w \cdot F_g \cdot g_v \right] \quad (28)$$

onde A_w e F_g são os mesmos obtidos anteriormente para a estação de aquecimento e que constam na Tabela A 33 do Apêndice 6. O termo $F_{s,vnj}$ corresponde ao fator de obstrução dos vãos envidraçados e o seu cálculo encontra-se no Apêndice 6, g_v corresponde ao fator solar do vidro na estação de arrefecimento e é diferente do valor utilizado na estação de aquecimento pois é necessário considerar os dispositivos de proteção solares existentes. Para determinar o valor de g_v recorre-se à equação (29), de acordo com o Despacho (extrato) 15793-K/2013,

$$g_v = F_{mv} \cdot g_T + (1 - F_{mv}) \cdot g_{Tp} \quad (29)$$

onde F_{mv} corresponde à fração de tempo em que os dispositivos de proteção solar móveis se encontram totalmente ativados, g_T é o fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar, permanentes, ou móveis totalmente ativados e por último g_{Tp} é o fator solar global do envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanentes existentes e é obtido através da equação (18).

O valor do fator solar do vidro na estação de arrefecimento (g_v) é calculado segundo a metodologia descrita no Apêndice 6, onde se obteve o valor de 0,15 como se verifica na Tabela A 32 do mesmo apêndice.

O cálculo da equação (28) encontra-se resumido na Tabela A 33 do Apêndice 6 onde se obteve o valor de 1.797,84 kWh para os ganhos térmicos solares resultantes da radiação solar incidente na envolvente envidraçada ($Q_{sol,envolvente\ envidraçada}$). Tendo as duas parcelas que definem os ganhos térmicos solares (envolvente opaca e envidraçada) é possível determinar os ganhos térmicos solares finais, $Q_{sol,v}$, através da soma destas duas parcelas pelo que se obteve o valor de 3.046,36 kWh.

Conhecendo o valor dos ganhos térmicos internos e dos ganhos térmicos solares, é possível determinar os ganhos térmicos brutos através da equação (23), pelo que se obteve o valor de 6.148,87 kWh para $Q_{g,v}$.

Por fim, para determinar as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, através da equação (19), é ainda preciso calcular o fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento (η_v) que segue a mesma metodologia da

estação de aquecimento e que se encontra demonstrado na Tabela A 35 do Apêndice 7 o qual se obteve o valor de 0,65. Desta forma, obteve-se o valor de 8,05 kWh/m².ano para as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, N_{vc} , apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 – Resultados obtidos para $Q_{tr,v}$, $Q_{ve,v}$, $Q_{g,v}$ e N_{vc}

$Q_{tr,v}$ (kWh)	$Q_{ve,v}$ (kWh)	$Q_{g,v}$ (kWh)	A_p (m ²)	N_{vc} (kWh/m ² .ano)
3.424,70	957,28	6.148,87	264,90	8,05

A Figura 39 representa um gráfico com os vários fatores que contribuem para as necessidades de energia útil para arrefecimento. Através da Figura 39 é possível verificar que a envolvente é o principal meio de transferência de calor da habitação, com cerca de 49%, seguido pelos ganhos térmicos internos com 32% e pela radiação solar através dos vãos envidraçados com um peso de 19%. À semelhança da estação de aquecimento, a envolvente opaca é o principal meio de transferência de calor, fazendo com que o isolamento térmico seja um fator de extrema importância a considerar para reduzir as necessidades energéticas.

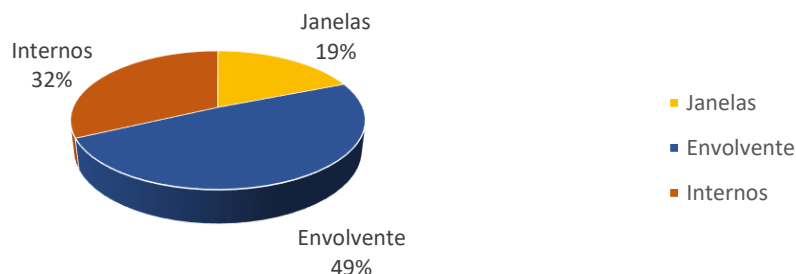


Figura 39 – Transferência de calor na estação de arrefecimento

4.4. Necessidades nominais anuais de energia útil para a preparação de águas quentes sanitárias

As necessidades nominais anuais de energia útil para a preparação de águas quentes sanitárias (AQS) segue a metodologia descrita no Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013 nos termos do Decreto-Lei n.º 118/2013 e que pode ser calculado através da equação (30) em kWh/ano,

$$Q_a = \frac{M_{AQS} \cdot 4187 \cdot \Delta T \cdot n_d}{3600000} \quad (30)$$

onde ΔT representa o aumento de temperatura necessário para a preparação das AQS e que, de acordo com o referido Despacho, toma o valor de 35 °C. O termo n_d representa o número anual de dias de consumo de AQS de edifícios residenciais que, segundo o mesmo Despacho, toma o valor de 365 dias. O termo M_{AQS} corresponde ao consumo médio diário de referência, em litros, e que nos edifícios de habitação é calculado através da equação (31),

$$M_{AQS} = 40 \cdot n \cdot f_{eh} \quad (31)$$

em que n é o número convencional de ocupantes de cada fração autónoma, definido em função da tipologia da fração, sendo que se deve considerar $n+1$ ocupantes nas tipologias do tipo T_n com $n > 0$. Neste caso de estudo a tipologia da habitação é T5 pelo que n toma o valor de 6. O parâmetro f_{eh} corresponde ao fator de eficiência hídrica, aplicável a chuveiros ou sistemas de duche com certificação e rotulagem de eficiência hídrica, de acordo com um sistema de certificação de eficiência hídrica da responsabilidade de uma entidade independente reconhecida pelo setor das instalações prediais. Para este caso de estudo é considerado f_{eh} igual a 1, de acordo com o Despacho utilizado.

Tendo em conta os valores do parágrafo acima e aplicando a equação (31), obteve-se o valor de 240 litros média diária de AQS. Desta forma, é possível determinar as necessidades nominais anuais de energia útil para a preparação de águas quentes sanitárias (Q_a) através da equação (30), tendo sido obtido o valor de 3.565,93 kWh/ano.

4.5. Necessidades máximas anuais de energia útil para aquecimento

O cálculo das necessidades máximas nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_i) segue uma metodologia semelhante à das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}) descrita no subcapítulo 4.2. e por isso neste subcapítulo irá ser feita apenas uma breve abordagem à determinação do valor de N_i .

O cálculo do valor máximo das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, N_i , é obtido através da equação (32), em kWh/m².ano, de acordo com a

Portaria n.º 349-B/2013, nos termos do Decreto-Lei n.º 118/2013, que é a mesma utilizada para o cálculo de N_{ic} , mas considerando valores e condições de referência,

$$N_i = \frac{(Q_{tr,i\ ref} + Q_{ve,i\ ref} - Q_{gu,i\ ref})}{A_p} \quad (32)$$

De acordo com a mesma Portaria, o cálculo da transferência de calor por transmissão através da envolvente de referência na estação de aquecimento ($Q_{tr,i\ ref}$), em kWh, é feito com base na metodologia descrita no subcapítulo 4.2.1., mas considerando coeficientes de transmissão térmica superficial de referência (U_{ref}) para elementos opacos e envidraçados, que constam na Tabela A 36 do Apêndice 8 retirada da Portaria n.º 379-A/2015, e considerando coeficientes de transmissão térmica linear de referência (ψ_{ref}) em função do tipo de ligação entre elementos da envolvente do edifício, que constam na Tabela A 37 do Apêndice 8, retirada da Portaria n.º 349-B/2013.

Aplicando a metodologia de cálculo descrita no subcapítulo 4.2.1 e utilizando os coeficientes de transmissão térmica superficiais e lineares de referência, obtém-se o valor para $Q_{tr,i\ ref}$ de 15.190,68 kWh, através da equação (6).

O valor de referência da transferência de calor por ventilação através da envolvente na estação de aquecimento ($Q_{ve,i\ ref}$), em kWh, é determinado com base na metodologia descrita no subcapítulo 4.2.2 mas considerando uma taxa de renovação de ar de referência ($R_{ph,ref}$) de 0,6 renovações por hora, de acordo com a Portaria n.º 349-B/2013. Desta forma, através da equação (11), o valor de $Q_{ve,i\ ref}$ é de 3.737,81 kWh.

O cálculo dos ganhos de calor úteis de referência, $Q_{gu,i\ ref}$, é feito através da equação (13) e com base na metodologia descrita no subcapítulo 4.2.3 Segundo a Portaria n.º 349-B/2013, o valor dos ganhos térmicos internos ($Q_{int,i\ ref}$) assume o mesmo valor obtido através da equação (15), ou seja, 3.585,69 kWh e o fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento de referência ($\eta_{i\ ref}$) é igual a 0,6.

No entanto, o valor dos ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar, $Q_{sol,i\ ref}$, é determinado com base na Portaria n.º 379-A/2015, através da equação (33) em kWh,

$$Q_{sol,i\ ref} = G_{sul} \times 0,182 \times 0,2 \times A_p \times M \quad (33)$$

Os parâmetros da equação (33) são explicados no subcapítulo 4.2.3.2, pelo que o valor dos ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar ($Q_{sol,i\ ref}$) é de 6.571,27 kWh. Assim, torna-se possível determinar os ganhos de calor brutos de referência, $Q_{g,i\ ref}$, através da equação (14), onde se obteve o valor de 10.156,95 kWh. Por fim, considerando o fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento de referência ($\eta_{i\ ref}$) igual a 0,6, obtém-se através da equação (13) o valor de 6.094,17 kWh para $Q_{gu,i\ ref}$.

Com todos os parâmetros da equação (32) determinados e resumidos na Tabela 12, obtém-se o valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, N_i , de 48,45 kWh/m².ano.

Tabela 12 – Resultados obtidos para $Q_{tr,i\ ref}$, $Q_{ve,i\ ref}$, $Q_{gu,i\ ref}$ e N_i

$Q_{tr,i\ ref}$ (kWh)	$Q_{ve,i\ ref}$ (kWh)	$Q_{gu,i\ ref}$ (kWh)	A_p (m ²)	N_i (kWh/m ² .ano)
15.190,68	3.737,81	6.094,17	264,90	48,45

4.6. Necessidades máximas anuais de energia útil para arrefecimento

A metodologia de cálculo do valor máximo das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, N_v , é feito com base na Portaria n.º 349-B/2013 e é determinado de acordo com a equação (34), em kWh/m².ano, que é a mesma utilizada para o cálculo de N_{vc} , mas considerando valores e condições de referência,

$$N_v = \frac{(1 - \eta_{v\ ref}) \cdot Q_{g,v\ ref}}{A_p} \quad (34)$$

sendo que o fator de utilização de ganhos de referência na estação de arrefecimento ($\eta_{v\ ref}$) é determinado com base na metodologia descrita no Apêndice 9, de acordo com a Portaria n.º 349-B/2013, e tem o valor de 0,69.

Os ganhos térmicos de referência na estação de arrefecimento, $Q_{g,v\ ref}$, são dados pela equação (35), em kWh, de acordo com a Portaria anteriormente mencionada,

$$Q_{g,v\ ref} = \left[q_{int} \cdot \frac{L_v}{1000} + g_{v\ ref} \cdot \left(\frac{A_w}{A_p} \right) \cdot I_{sol,ref} \right] \cdot A_p \quad (35)$$

onde q_{int} corresponde aos ganhos internos médios, contabilizados em 4 W/m^2 , L_v é a duração da estação de arrefecimento e tem o valor de 2.928 horas, g_{vref} representa o fator solar de referência para a estação de arrefecimento e toma o valor de 0,43 e (A_w/A_p) é a razão entre a área de vãos e a área interior útil de pavimento, que se assume igual a 0,2. Todos estes valores são indicados pela Portaria n.º 349-B/2013 à exceção do termo $I_{sol,ref}$ que representa a radiação solar média de referência e que corresponde à radiação incidente numa superfície orientada a oeste, pelo que através da consulta à Tabela A 28 no Apêndice 6, verifica-se que $I_{sol,ref}$ toma o valor de $505 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ para a região da Península de Setúbal.

Tendo todos os parâmetros da equação (35) definidos, o resultado de $Q_{g,vref}$ obtido é de $55,14 \text{ kWh}$. Por fim, é possível determinar o valor máximo das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento N_v , através da equação (34), o qual se obteve o valor de $16,90 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

4.7. Necessidades nominais anuais de energia primária

O valor das necessidades nominais anuais de energia primária (N_{tc}) de um edifício de habitação é determinado pela equação (36), em $\text{kWh}_{ep}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$, de acordo com o Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013. O seu valor resulta da soma das necessidades nominais específicas de energia primária relacionadas com os diferentes usos: aquecimento (N_{ic}), arrefecimento (N_{vc}), produção de AQS (Q_a) e ventilação mecânica (neste caso de estudo é nula uma vez que se está a recorrer à ventilação natural), deduzindo as eventuais contribuições de energia renovável (E_{ren}).

$$N_{tc} = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_{ic}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot \delta \cdot N_{vc}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot \frac{Q_a}{A_p}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} - \sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} \cdot F_{pu,p} \quad (36)$$

onde $f_{i,k}$ representa a parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k , η_k é a eficiência do sistema k , $f_{v,k}$ representa a parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema k , $f_{a,k}$ representa a parcela das necessidades de energia útil para produção de AQS supridas pelo sistema k , j

corresponde a todas as fontes de energia, incluindo as de origem renovável, p corresponde às fontes de origem renovável, $E_{ren,p}$ é a energia produzida a partir de fontes de origem renovável p , incluindo apenas a energia consumida e δ é igual a 1, exceto para o uso de arrefecimento (N_{vc}) em que pode tomar valor nulo sempre que o fator de utilização de ganhos térmicos (η_v) seja superior ao respetivo valor de referência (η_{vref}). Neste caso de estudo, δ é igual a 1 ($\eta_{vref} > \eta_v$). O termo F_{pu} representa o fator de conversão de energia útil para energia primária, em kWh_{ep}/kWh , e toma valores diferentes em função da origem da energia. De acordo com o Despacho (extrato) nº 15793-D/2013, os fatores de conversão entre energia final e energia primária são:

- $F_{pu} = 2,5$ kWh_{EP}/kWh para eletricidade, independentemente da origem (renovável ou não renovável);
- $F_{pu} = 1$ kWh_{EP}/kWh para combustíveis sólidos, líquidos e gasosos não renováveis;
- $F_{pu} = 1$ kWh_{EP}/kWh para energia térmica de origem renovável;

É de salientar que no cálculo de N_{ic} deve ser considerado o contributo da energia renovável na soma de cada uma das necessidades (aquecimento, arrefecimento e AQS), nunca ultrapassando o valor das necessidades. Posteriormente, esse contributo de energia renovável é deduzido, conforme consta a última parcela da equação (36).

4.8. Necessidades máximas nominais anuais de energia primária

O valor máximo das necessidades nominais de energia primária (N_t) é determinado segundo a Portaria 349-B/2013, através da equação (37), em $kWh_{ep}/m^2 \cdot ano$. O seu valor resulta da soma das necessidades máximas nominais específicas para cada utilização: aquecimento (N_i), arrefecimento (N_v), produção de AQS (Q_a), admitindo a inexistência de consumos energéticos associados à ventilação mecânica e de sistemas de aproveitamento de energias renováveis (incluindo sistemas de energia solar para preparação de AQS) e considerando valores e condições de referência,

$$N_t = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_i}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot N_v}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot \frac{Q_a}{A_p}}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} \quad (37)$$

4.9. Classificação Energética

A classe energética (R_{Nt}) é determinada através do rácio entre as necessidades nominais anuais de energia primária (N_{tc}) e o seu valor máximo (N_t), sendo calculada através da equação (38), de acordo com o Despacho (extrato) nº 15793-J/2013,

$$R_{Nt} = \frac{N_{tc}}{N_t} \quad (38)$$

A Tabela 13, retirada do Despacho anteriormente mencionado, determina a classe energética em função do valor de R_{Nt} obtido através da equação (38).

Tabela 13 – Intervalos de valor R_{Nt} para determinação da classe energética em pré-certificados e certificados SCE de modelo tipo Habitação

Classe Energética	Valor de R_{Nt}
A ⁺	$R_{Nt} < 0,25$
A	$0,26 \leq R_{Nt} \leq 0,50$
B	$0,51 \leq R_{Nt} \leq 0,75$
B ⁻	$0,76 \leq R_{Nt} \leq 1,00$
C	$1,01 \leq R_{Nt} \leq 1,50$
D	$1,51 \leq R_{Nt} \leq 2,00$
E	$2,01 \leq R_{Nt} \leq 2,50$
F	$R_{Nt} \geq 2,51$

De acordo com o Decreto-Lei n.º 118/2013 o valor das necessidades nominais anuais de energia primária, N_{tc} , de um edifício novo de habitação não pode exceder o valor máximo das necessidades nominais anuais de energia primária, N_t , ou seja, o valor de R_{Nt} tem de ser inferior a 1, o que obriga a todos os novos edifícios de habitação apresentem no mínimo classe energética B⁻, segundo a Tabela 13.

Em relação aos edifícios de habitação NZEB, a Portaria n.º 98/2019 estabelece a nível das necessidades energéticas as seguintes premissas:

$$N_{ic} \leq 0,75 \times N_i \quad (39)$$

$$N_{tc} \leq 0,5 \times N_t \quad (40)$$

Em complemento às duas premissas anteriormente mencionadas, a legislação impõe ainda que os sistemas para aproveitamento de fontes de energia renovável devem suprir pelo menos 50% das necessidades anuais de energia primária ($E_{\text{primária}}$) [26]. As necessidades anuais de energia primária, $E_{\text{primária}}$, são determinadas através da mesma expressão para o cálculo de N_{tc} , mas sem subtrair o contributo da energia renovável. Deste modo, $E_{\text{primária}}$ é calculado através da equação (41), em kWh_{ep}/m².ano,

$$E_{\text{primária}} = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_{ic}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot \delta \cdot N_{vc}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot \frac{Q_a}{A_p}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} \quad (41)$$

4.10. Emissões de CO₂

Atualmente, não existe legislação nacional impondo limites máximos de emissões de CO₂ para os NZEB. No entanto, um dos principais objetivos da UE e de Portugal é reduzir as emissões de GEE e o dióxido de carbono é um deles. Por isso, as estratégias definidas para os NZEB devem não só ter em conta o elevado desempenho energético, como também o impacto ambiental.

O cálculo das emissões de CO₂ é feito com base no consumo de energia primária. Essa energia primária pode ser derivada de diversas fontes de energia, nomeadamente, a eletricidade, gás natural, gasóleo, renovável, entre outras. Assim, o valor das necessidades nominais anuais de energia primária deve ser desagregado pelas diversas fontes de energia utilizadas, afetadas por fatores de conversão de energia primária para emissões de CO₂ indicados na Tabela 14, retirada do Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013.

Tabela 14 – Fatores de conversão de energia primária para emissões de CO₂

Fonte de energia	Fator de conversão [kgCO ₂ /kWh]
Eletricidade	0,144
Gasóleo	0,267
Gás Natural	0,202
GPL canalizado (propano)	0,170
GPL garrafas	
Renovável	0,0

4.11. Softwares Utilizados

4.11.1. Hourly Analysis Program

Desenvolvido pela empresa Carrier, o software *Hourly Analysis Program* (HAP) é uma ferramenta de simulação dinâmica, acreditado pela norma ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) Standard 140-2007, que permite projetar sistemas e dimensionar os equipamentos desses sistemas, bem como simular consumo anual de energia [78]. Esta ferramenta de cálculo termodinâmico é utilizada para determinar e simular ganhos e perdas de energia de um edifício, daí ter sido utilizado neste caso de estudo.

Algumas das soluções que irão ser abordadas no Capítulo 5 contemplam sistemas de climatização e estes sistemas são dimensionados e selecionados de acordo com uma determinada carga térmica máxima que ocorre ao longo de um ano. Para determinar essa mesma carga térmica, seja em aquecimento ou arrefecimento, recorreu-se ao HAP por ser um software de cálculo capaz de determinar cargas térmicas hora-a-hora, todos os dias do ano [75]. O procedimento para a determinação das cargas térmicas e realização de simulações energéticas através do HAP pode ser descrito em cinco etapas: criação do projeto, definição da biblioteca de projeto, definição das zonas térmicas, definição dos sistemas e simulação (criação de relatórios) [79].

As preferências do projeto, que afetam todos os cálculos e resultados do HAP, nomeadamente, o sistema de unidades de medida que neste caso de estudo é o Sistema Internacional e as condições climáticas da região onde se situa o edifício, são definidas na criação do projeto. A secção do clima foi preenchida com o auxílio da folha de cálculo

“CLIMAS-SCE”, disponibilizada pelo LNEG no âmbito do Sistema Nacional de Certificação de Edifícios, que permite selecionar o município, especificar a altitude, obter as estatísticas climatológicas e o Ano Meteorológico de Referência para executar simulações dinâmicas em sistemas e edifícios [80].

As características dos materiais de construção dos elementos que constituem as paredes, cobertura, vãos envidraçados, portas e dispositivos de sombreamento, são introduzidos na biblioteca de projeto. Adicionalmente, esta biblioteca dispõe da criação de perfis horários para estabelecer períodos de funcionamento de equipamentos elétricos, iluminação e ocupação. Na ausência de faturas elétricas foram estimados perfis de consumo, sendo que os equipamentos elétricos e iluminação considerados foram consultados através do manual ASHRAE Handbook Fundamentals [81,82,83].

A definição das zonas térmicas é fundamental para analisar o comportamento térmico do edifício. O HAP permite criar vários espaços que correspondem a cada divisão da habitação e, neste caso de estudo, a habitação foi dividida em 21 zonas térmicas. Cada espaço é caracterizado pela área de pavimento e inércia térmica, por perfis horários compostos por ocupação, iluminação e equipamentos elétricos, pela envolvente térmica, opaca e envidraçada, em contacto com o exterior bem como a sua orientação, solo e espaços não úteis, sombreamentos e ainda pelas infiltrações de ar. Os valores da área de pavimento, inércia térmica, envolvente exterior em contacto com exterior, solo ou espaços não úteis, envolvente envidraçada e as infiltrações são os mesmos utilizados na metodologia descrita no capítulo anterior.

A definição dos sistemas para climatização e AQS é feita após a modelação da habitação através das preferências do projeto, da definição da biblioteca e zonas térmicas. Os sistemas de climatização podem proporcionar aquecimento e/ou arrefecimento a um ou mais espaços e têm de ser definidos no HAP por forma a determinar as cargas térmicas em cada espaço da habitação e avaliar as necessidades de aquecimento e arrefecimento.

Após a definição e modelação da habitação, é possível realizar simulações energéticas no HAP, tendo em consideração um período anual. Neste caso de estudo a simulação energética foi utilizada para determinar as necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento, no entanto, o HAP apresenta diversos relatórios anuais, mensais, diários dos consumos energéticos dos vários sistemas de AVAC, iluminação,

equipamentos elétricos, entre outros aspetos que o software pode analisar caso sejam fornecidos os respetivos dados, tais como emissões de gases poluentes ou análise financeira entre diferentes soluções de AVAC [79].

4.11.2. SolTerm

Uma vez que o Decreto-Lei n.º 118/2013 estabelece a obrigatoriedade da instalação de sistemas solares térmicos para aquecimento de água sanitária em edifícios novos é necessário ter em conta a sua contribuição no cálculo do N_{tc} .

Para o efeito, foi utilizado o software SolTerm, na versão 5.3 do LNEG [76], sendo este um programa de análise de desempenho de sistemas solares térmicos, fotovoltaicos e outros sistemas renováveis, especialmente ajustado às condições climáticas em Portugal. O SolTerm foi desenvolvido e tem sido utilizado como referência para a contabilização da contribuição de sistemas de energias renováveis para o balanço energético de edifícios, no contexto do Sistema de Certificação de Edifícios de acordo com o Decreto-Lei n.º 118/2013 [84].

Este programa permite calcular a contribuição de sistemas solares térmicos para a preparação de águas quentes sanitárias de uma forma expedita através dos seguintes passos:

- a) Escolher o Concelho;
- b) Escolher a altitude;
- c) Selecionar o modelo de coletor solar térmico;
- d) Utilizar o “Editor REH” para atribuir os consumos padrão;

Após a caracterização destes parâmetros é possível fazer uma análise energética onde é indicado a quantidade de energia que é fornecida pelo sistema solar que foi utilizado. É de notar que o consumo padrão atribuído pelo “Editor REH” corresponde a 40 L/(pessoa.dia), ou seja, um total de 240 L/dia, a temperatura de abastecimento da água da rede é de 15 °C e o consumo diário ocorre às 18h [84].

4.11.3. SCE.ER

A contribuição da energia renovável por parte dos sistemas de climatização que funcionam segundo o ciclo de compressão a vapor (*split*, VRF e bomba de calor), foi determinada através do software de cálculo SCE.ER – Quantificação do contributo de sistemas para aproveitamento de energias renováveis, versão 1.7.0 de 07/01/2020, desenvolvido pela DGEG [77].

4.12. Conclusões

Fazendo uma análise à metodologia aplicada constata-se que a expressão que determina a transferência de calor através da envolvente na estação de aquecimento é diferente da utilizada na estação de arrefecimento. Porventura, seria mais coerente apresentar a mesma metodologia, isto é, utilizar o número de graus-dia na estação de arrefecimento. No entanto, existe um fator preponderante no cálculo da transferência de calor através da envolvente na estação de arrefecimento que é a radiação solar, fazendo com que a metodologia utilizada possa ser ligeiramente diferente.

É possível concluir ainda que a aplicação de equipamentos AVAC (que funcionam segundo o ciclo frigorífico) irão ser duplamente beneficiados na classificação NZEB dos edifícios de habitação, devido ao seu princípio de funcionamento. Por um lado, apresentam uma eficiência sempre superior à unidade, reduzindo as necessidades de energéticas do edifício e, por outro lado, ao fazerem trocas de calor com o ar ambiente exterior, permitem ter um aproveitamento de energia renovável. Isto significa que um edifício novo poderá eventualmente ser classificado como NZEB, de acordo com a metodologia SCE, tendo apenas um equipamento cujo princípio de funcionamento é o ciclo frigorífico, ficando distante do conceito de edifício com balanço quase nulo de energia. No futuro, poderá haver uma revisão à metodologia descrita na legislação referente aos edifícios NZEB por forma a impor uma interligação entre os equipamentos que funcionam segundo o ciclo frigorífico e outros sistemas para aproveitamento de energia renovável, por exemplo, sistema solar fotovoltaico.

5. Análise e Comparações de Resultados

O principal objetivo deste estudo é implementar vários sistemas de aquecimento e arrefecimento ambiente e produção de AQS, para determinar as necessidades de energia primária (N_{ic}) e o seu valor máximo (N_i), a sua classificação energética, identificar a energia renovável necessária para que em cada solução seja alcançado o edifício NZEB e determinar as emissões de CO_2 . Posteriormente, são comparadas as soluções evidenciando as que mais adequadas a serem implementadas em edifícios NZEB.

5.1. Resultados obtidos para necessidades anuais de energia útil

Na Tabela 15 estão resumidos os resultados obtidos para as necessidades nominais e máximas de energia útil para aquecimento e arrefecimento, determinadas segundo a metodologia apresentada no Capítulo 4.

Tabela 15 – Resultados das necessidades anuais de energia útil

N_{ic} (kWh/m ² .ano)	N_{vc} (kWh/m ² .ano)	N_i (kWh/m ² .ano)	N_v (kWh/m ² .ano)
35,92	8,05	48,45	16,90

Através dos resultados apresentados na Tabela 15 é possível verificar que a premissa apresentada na equação (39) é cumprida, ou seja, o valor das necessidades nominais de energia útil para aquecimento (N_{ic}) é inferior a 75% do seu valor máximo (N_i). Desta forma, um dos requisitos para que a habitação seja classificada como NZEB está cumprido.

Os valores apresentados na Tabela 15 serão utilizados para determinar as necessidades de energia primária da habitação, a classificação energética e as emissões de CO_2 . Este cálculo é efetuado para várias soluções de sistemas de aquecimento, arrefecimento e produção de AQS.

Para selecionar equipamentos de climatização, que irão indicar a eficiência energética de modo a determinar as necessidades de energia primária da habitação, é primeiro fundamental determinar as cargas térmicas da habitação. Este cálculo é apresentado no subcapítulo 5.2.

5.2. Cálculo de Cargas Térmicas e Simulação Energética através do software Hourly Analysis Program

O HAP só determina a carga térmica em cada espaço após se ter caracterizado um tipo de sistema de climatização e por isso foi selecionado um sistema do tipo *split* em cada espaço da habitação. Notar que o cálculo das cargas térmicas não depende do tipo de sistema a utilizar, isto é, ao utilizar outro tipo de sistema em vez do tipo *split* os resultados das cargas térmicas seriam iguais. As cargas térmicas determinadas pelo HAP estão apresentadas na Tabela 16, tendo sido obtido o valor de 10,3 e 9,2 kW para a carga térmica máxima em arrefecimento e aquecimento, respetivamente. A título de exemplo, na Figura A 3 do Apêndice 10 está o resultado apresentado pelo HAP da carga térmica na Sala de Estar.

Tabela 16 – Cargas térmicas obtidas pelo HAP

Piso	N.º da Sala	Designação	Carga Total Arrefecimento (kW)	Carga Total Aquecimento (kW)
-1	1	Escritório	0,3	0,2
-1	2	I.S.	0,1	0,1
-1	3	Arrumos	0	0,1
-1	4	Corredor	0	0,1
-1	5	Arrumos	0	0
-1	6	Sala	1	1,1
0	7	Vestíbulo	0,2	0,5
0	8	I.S.	0,2	0,4
0	9	Quarto	0,5	0,4
0	10	I.S.	0,1	0
0	11	Sala de Estar	1,3	1,5
0	12	Sala de Jantar	1	0,7
0	13	Cozinha	2,6	0,5
1	15	Corredor	0,3	0,4
1	16	Quarto	0,5	0,6
1	17	I.S.	0,2	0,2
1	18	Quarto	0,5	0,8
1	19	I.S.	0,2	0,2
1	20	Quarto	0,6	0,8
1	21	Quarto	0,5	0,4
1	22	I.S.	0,2	0,2

TOTAL	10,3	9,2
-------	------	-----

O facto da carga térmica em arrefecimento ser superior à carga térmica em aquecimento, é um resultado esperado uma vez que esta habitação se situa numa zona climática de verão mais quente (V3) e numa zona climática de inverno pouco severa (II).

Posteriormente, foi elaborada uma simulação energética ao edifício de habitação com o objetivo de comparar os resultados obtidos pela metodologia descrita no Capítulo 4 seguindo a legislação em vigor com o cálculo das necessidades de aquecimento e arrefecimento determinadas pelo HAP, tendo sido obtido os valores de 38,50 e 8,22 kWh/m².ano, respetivamente. Os resultados obtidos pelo HAP podem ser consultados na Figura A 4 do Apêndice 10.

Segundo a norma ASHRAE 140-2004, para validar um modelo de simulação é necessário a comparação entre os valores reais dos consumos energéticos num ano com os resultados apresentados na simulação, sendo admissível desvio até 10% [48,79]. Na ausência de dados referentes aos valores reais dos consumos energéticos da habitação em estudo, a validação do modelo foi feita com base no desvio entre os resultados obtidos pela metodologia do SCE e os valores apresentados pelo HAP. Na Tabela 17 verifica-se que as necessidades de energia para aquecimento determinadas pelo HAP apresentam um desvio de 6,69% face ao valor calculado pela metodologia do SCE.

Tabela 17 – Comparação entre resultados obtidos pelo HAP e SCE para as necessidades de aquecimento

N_{ic} (kWh/m ² .ano)	Necessidades de Aquecimento determinadas pelo HAP (kWh/m ² .ano)	Desvio (%)
35,92	38,50	6,69

Na Tabela 18 observa-se que as necessidades de energia para arrefecimento determinadas pelo HAP são muito próximas do valor calculado pela metodologia do SCE, apresentando um desvio de cerca 2,03%.

Tabela 18 – Comparação entre resultados obtidos pelo HAP e SCE para as necessidades de arrefecimento

N_{vc} (kWh/m ² .ano)	Necessidades de Arrefecimento determinadas pelo HAP (kWh/m ² .ano)	Desvio (%)
8,05	8,22	2,03

A diferença entre os resultados obtidos pode ser justificada pelas diferentes metodologias que os dois cálculos apresentam, dando como exemplos o facto do HAP considerar um ano completo, enquanto a metodologia do SCE apenas considera a duração da estação de aquecimento e arrefecimento, o facto do HAP apenas considerar um fator de sombreamento constante durante todo o ano enquanto a metodologia do SCE prevê valores diferentes nas estações de aquecimento e arrefecimento. Contudo, apesar de existir uma ligeira diferença entre os valores das necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento determinadas pelo software HAP e pelo SCE, esta é diminuta, acrescentando por isso credibilidade aos cálculos efetuados, bem como às cargas térmicas apresentadas na Tabela 16 obtidas pelo HAP.

5.3. Soluções para Aquecimento, Arrefecimento e Produção de AQS

Neste subcapítulo irão ser estudadas seis soluções de aquecimento e arrefecimento ambiente e produção de AQS, tendo em consideração os valores das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento e contributo do sistema solar térmico determinados anteriormente. O cálculo do valor de N_{tc} e N_t é efetuado através das equações (36) e (37), em função da eficiência dos equipamentos aplicados em cada solução.

A energia renovável aproveitada pelo sistema solar térmico foi determinada através do SolTerm, seleccionando o Concelho de Seixal (Península de Setúbal) e uma altitude de 49 m. Neste caso de estudo foi utilizado um sistema solar térmico do tipo termossifão por ser uma solução económica, viável, de fácil instalação e mais adequada a pequenos sistemas [84]. Esta solução corresponde à configuração “Kit Doméstico”, tendo sido utilizado um kit termossifão existente no mercado, nomeadamente, o kit Solahart modelo 303 J constituído por 3 coletores solares térmicos (com uma área total $5,6 \text{ m}^2$), orientados a Sul com uma inclinação de 47° e um tanque com 300 L de capacidade. Desta forma, a energia térmica fornecida pelo sistema solar térmico para a preparação de AQS é de 3.161 kWh/ano. O cálculo da contribuição deste sistema solar térmico encontra-se no Apêndice 10. A ficha técnica do sistema solar utilizado encontra-se no Apêndice 11.

5.3.1. Solução n° 1

Esta solução é constituída pelos sistemas de aquecimento e arrefecimento ambiente e produção de AQS mais utilizados em Portugal, ou seja, aquecedor elétrico, ventilador e esquentador a gás butano com a contribuição do sistema solar térmico. Para efeitos de cálculo será considerado uma resistência elétrica com uma eficiência de 1 para suprir as necessidades de aquecimento. Salientar que o ventilador é um equipamento que não promove arrefecimento ambiente, mas sim ventilação forçada. No entanto, a ADENE classifica o ventilador como o equipamento mais utilizado pelos Portugueses para arrefecimento (ver Figura 24) daí a sua aplicação nesta solução [54]. O rendimento de um ventilador depende da potência elétrica absorvida e do caudal de ar a movimentar, no entanto, foi aplicado um valor típico na ordem dos 70% [85]. O valor do rendimento do esquentador é de 88%, com potência superior a 10 kW, considerando uma marca comercial de esquentadores disponíveis no mercado. Neste caso, só é considerada a componente renovável referente à produção de AQS (3.161 kWh/ano), pelo que convertido em energia primária tem o valor de 11,93 kWh_{ep}/m².ano.

Aplicando a equação (36), o valor de N_{tc} com este tipo de solução é de 120,31 kWh_{ep}/(m².ano). O valor de N_t é obtido através de rendimentos nominais de referência apresentados pelo Decreto-Lei n.º 349-B/2013, sendo que toma o valor unitário em sistemas como resistências elétricas para aquecimento e ventoinhas para arrefecimento, sendo o rendimento de referência do esquentador de 84%. Assim sendo, o valor de N_t é obtido através da equação (37) é de 179,41 kWh_{EP}/(m².ano).

Com estes dois parâmetros é possível determinar a classe energética aplicando a equação (38), pelo que o valor de R_{Nt} é de 0,67 o que resulta numa classe energética B. Na Tabela 19 encontram-se resumidos os resultados obtidos com esta solução.

Tabela 19 – Resumo dos resultados obtidos para a solução n° 1

N_{tc} (kWh _{ep} /m ² .ano)	N_t (kWh _{ep} /m ² .ano)	R_{Nt}	E_{ren} (kWh _{ep} /m ² .ano)	$E_{primária}$ (kWh _{ep} /m ² .ano)
120,31	179,41	0,67	11,93	132,24

As emissões de CO₂ são determinadas após desagregar o valor do consumo de energia primária em eletricidade e gás butano e aplicar os fatores de conversão de energia primária em emissões de CO₂, que constam na Tabela 14. Assim, é possível

estimar que com esta solução as emissões de CO₂ seriam cerca de 4,6 t_{CO₂}/ano, conforme se verifica na Tabela 20.

Tabela 20 – Emissões de CO₂ com a solução n° 1

Eletricidade Energia Primária (kWh_{ep}/ano)	Gás Butano Energia Primária (kWh_{ep}/ano)	Emissões de CO₂ (kg_{CO₂}/ano)
31.409,96	460,15	4.601,26

De modo a ter 50% do consumo de energia renovável com este tipo de solução seria preciso consumir a diferença entre as necessidades de energia primária ($E_{\text{primária}}$) e metade do seu valor máximo ($0,5.N_t$), ou seja, cerca de 42,54 kWh_{ep}/(m².ano). Para satisfazer essa quantidade de energia com um sistema solar fotovoltaico, este teria de produzir cerca de 4.507 kWh/ano que corresponde a cerca 14 painéis fotovoltaicos, com uma área total de captação solar de cerca 23,4 m² e uma potência nominal de 3,8 kWp. O cálculo da energia produzida pelo sistema fotovoltaico foi obtido com o recurso ao software SolTerm com os resultados apresentados no Apêndice 10 e considerado um painel solar fotovoltaico disponível no mercado, cujas características encontram-se no Apêndice 11.

5.3.2. Solução n° 2

A segunda solução é composta por uma caldeira a gás natural para produção de água quente (com auxílio do sistema solar térmico) e aquecimento ambiente central. O arrefecimento é feito através de equipamentos do tipo *split*.

Para conhecer a eficiência dos sistemas de climatização é necessário ter em consideração as cargas térmicas da habitação ao longo do ano determinadas anteriormente de modo a selecionar equipamentos com capacidade para remover a carga térmica máxima calculada. Consultando um fornecedor de equipamentos do tipo *split*, por exemplo, a Carrier, foi selecionado um equipamento com potência nominais superiores às cargas térmica, pelo que o modelo escolhido apresenta uma eficiência em arrefecimento (EER) de 3,3. A ficha técnica dos *splits* selecionados encontram-se no Apêndice 12.

Uma vez que o aquecimento é proveniente da caldeira, com rendimento de 94% e com potência inferior a 25 kW disponível no mercado, o contributo da energia renovável

apenas é considerado nas necessidades de arrefecimento através do sistema *split*, devido à componente aerotérmica, e na produção de AQS pelo sistema solar térmico. O contributo da energia renovável do sistema *split* para arrefecimento é de 1.487 kWh/ano, conforme mostra a Figura 40.

The screenshot shows the 'Bombas de Calor' configuration window in the SCE.ER software. Key parameters include:

- Sistema em: Qta. Pinhão (Seixal, Península de Setúbal)
- Atendimento a: climatização
- Necessidades: 2 133 kWh
- Metodologia: valores predefinidos (sistema já existente, valores tabelados para condições para clima quente)
- tipo de bomba: Elétrica
- permuta: Ar-Ar
- subtipo: Aerotérmica
- SPF: 3,3
- P: 2700 W
- H_{ap}: 1200 horas
- (máximo) Q_{usable}: 3 240 kWh
- Aproveitamento de energia renovável:
 - por bomba: 1 487 kWh
 - número de bombas: 10
 - E_{ren}: 2 133 kWh

Figura 40 – Determinação do contributo de energia renovável pelo sistema split para arrefecimento, através do software SCE.ER da DGEG

O contributo total energia primária renovável nesta solução ($17,55 \text{ kWh}_{ep}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$) é composto pela soma da parcela de energia renovável aproveitada pelo sistema *split* em arrefecimento ($5,61 \text{ kWh}_{ep}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$) e pelo sistema solar para produção de AQS ($11,93 \text{ kWh}_{ep}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$). Utilizando a equação (36), o valor das necessidades nominais anuais de energia primária com este tipo de solução é de $45,94 \text{ kWh}_{ep}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$.

Para a determinação do valor de N_t , a eficiência do sistema de aquecimento toma o valor 89% (caldeira) e para o sistema *split* (em arrefecimento) toma o valor de 3. Assim sendo, o valor de N_t obtido através da equação (37) é de $83,65 \text{ kWh}_{ep}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$. Na Tabela 21 encontram-se resumidos os resultados obtidos.

Tabela 21 – Resumo dos resultados obtidos para a solução nº 2

N_{tc} ($\text{kWh}_{ep}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$)	N_t ($\text{kWh}_{ep}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$)	R_{Nt}	E_{ren} ($\text{kWh}_{ep}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$)	$E_{primária}$ ($\text{kWh}_{ep}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$)
45,94	83,65	0,55	17,55	63,49

Conforme se pode observar na Tabela 21, com esta solução, a habitação teria uma classe energética B uma vez que R_{Nt} é igual a 0,55. Esta solução não é suficiente para atingir classificação NZEB, pois as necessidades nominais de energia são superiores a

metade do seu valor máximo ($R_{Ni} > 0,5$) e os sistemas para aproveitamento de energia renovável contribuem apenas com 28% das necessidades de energia nominais.

Após desagregar o valor do consumo de energia primária em eletricidade e gás natural e aplicar os fatores de conversão de energia primária em emissões de CO₂, que constam na Tabela 14, obteve-se o valor de 2.554,73 kg_{CO₂}/ano para as emissões de CO₂, conforme se observa na Tabela 22.

Tabela 22 – Emissões de CO₂ com a solução n° 2

Eletricidade Energia Primária (kWh_{ep}/ano)	Gás Natural Energia Primária (kWh_{ep}/ano)	Emissões de CO₂ (kg_{CO₂}/ano)
1.616,43	10.554,57	2.554,73

Para que a habitação fosse NZEB com este tipo de solução seria preciso consumir por fontes renováveis a diferença entre as necessidades de energia primária e metade do seu valor máximo ($0,5.N_t$), ou seja, cerca de 21,67 kWh_{ep}/(m².ano). Para satisfazer essa quantidade de energia com um sistema solar fotovoltaico, este teria de produzir cerca de 2.295 kWh/ano que corresponde a cerca 7 painéis fotovoltaicos (com uma área total de captação solar de cerca 11,7 m² e uma potência nominal de 1,91 kWp). O cálculo da energia produzida pelo sistema fotovoltaico foi obtido com o recurso ao software SolTerm com os resultados apresentados no Apêndice 10 e considerado um painel solar fotovoltaico disponível no mercado, cujas características encontram-se no Apêndice 11.

5.3.3. Solução n° 3

A terceira solução é constituída por um sistema *split* para fornecer aquecimento e arrefecimento ambiente, sendo a produção de AQS feita por esquentador a gás butano (equipamento mais utilizado para AQS) e sistema solar térmico.

Considerando o mesmo esquentador da solução n° 1 que apresenta um rendimento de 88% (com potência superior a 10 kW) e os mesmos equipamentos *split* da solução anterior e cujo as fichas técnicas estão presentes no Apêndice 12, apresentando uma eficiência em arrefecimento (EER) de 3,3 e uma eficiência de aquecimento (COP) igual a 3,8. Contrariamente à solução anterior, esta já considera o contributo da energia renovável em arrefecimento e aquecimento uma vez que o sistema *split* atende às duas necessidades. Assim, a contribuição da energia renovável do sistema *split* para

arrefecimento e aquecimento é de 1.487 e 2.564 kWh/ano respetivamente, conforme mostra a Figura 41.

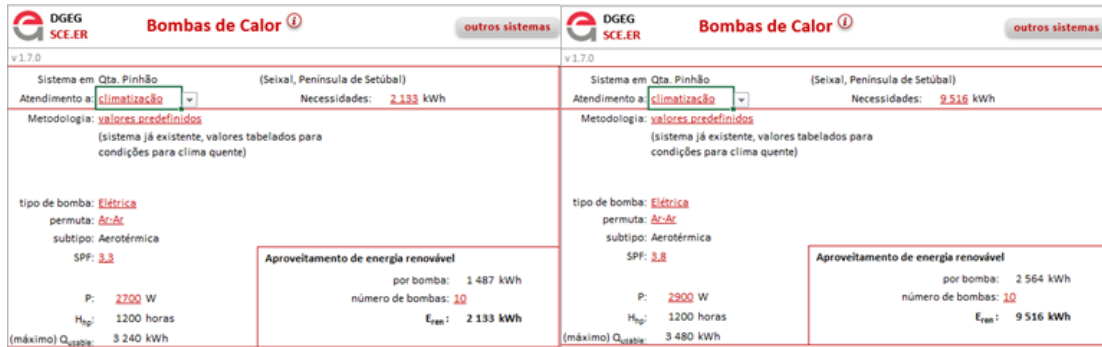


Figura 41 – Determinação do contributo de energia renovável pelo sistema split na solução 3, através do software SCE.ER da DGEG

O contributo total energia primária renovável nesta solução (27,23 kWh_{ep}/m².ano) é composto pela soma da parcela de energia renovável aproveitada pelo sistema *split* (15,29 kWh_{ep}/m².ano) e pelo sistema solar para produção de AQS (11,93 kWh_{ep}/m².ano).

Desta forma, o valor das necessidades nominais anuais de energia primária determinado através da equação (36) é de 31,47 kWh_{ep}/(m².ano). O valor de N_t é obtido através de rendimentos nominais de referência apresentados pelo Decreto-Lei n.º 349-B/2013, sendo que toma o valor 84% para esquentadores, para a eficiência do sistema *split* em arrefecimento o valor é igual a 3 e em aquecimento o valor é igual a 3,4. Assim sendo, o valor de N_t é obtido através da equação (38) e é igual 65,74 kWh_{ep}/(m².ano). Na Tabela 23 encontram-se os resultados obtidos anteriormente mencionados.

Tabela 23 – Resumo dos resultados obtidos para a solução n.º 3

N _{tc} (kWh _{ep} /m ² .ano)	N _t (kWh _{ep} /m ² .ano)	R _{Nt}	E _{ren} (kWh _{ep} /m ² .ano)	E _{primária} (kWh _{ep} /m ² .ano)
31,47	65,74	0,48	27,23	58,70

Na Tabela 23 constata-se que esta solução apresenta um R_{Nt} igual a 0,48, segundo a equação (38), permitindo alcançar classe energética A, cumprindo com uma das premissas impostas para os edifícios NZEB. No entanto, uma vez que os sistemas de energia renovável contribuem com apenas 46%, esta solução não consegue obter os requisitos mínimos para a classificação NZEB, sem recurso a outros sistemas de aproveitamento de energia renovável.

Ao desagregar o valor do consumo de energia primária em eletricidade e gás butano e aplicar os fatores de conversão de energia primária em emissões de CO₂, que constam na Tabela 14, obteve-se o valor de 1.212,50 kg_{CO₂}/ano para as emissões de CO₂, conforme se observa na Tabela 24.

Tabela 24 – Emissões de CO₂ com a solução n° 3

Eletricidade Energia Primária (kWh_{ep}/ano)	Gás Butano Energia Primária (kWh_{ep}/ano)	Emissões de CO₂ (kg_{CO₂}/ano)
7.876,93	460,15	1.212,50

Para que a habitação fosse classificada como NZEB com este tipo de solução seria necessário consumir por fontes renováveis a diferença entre a energia renovável consumida e metade das necessidades de energia primária, ou seja, cerca de 2,12 kWh_{ep}/(m².ano). Para satisfazer essa quantidade de energia com um sistema solar fotovoltaico, este teria de produzir cerca de 225 kWh/ano que corresponde a cerca 1 painel fotovoltaico (com uma área total de captação solar de cerca 1,7 m² e uma potência nominal de 272 Wp). O cálculo da energia produzida pelo sistema fotovoltaico foi obtido com o recurso ao software SolTerm com os resultados apresentados no Apêndice 10 e considerado um painel solar fotovoltaico disponível no mercado, cujas características encontram-se no Apêndice 11.

5.3.4. Solução n° 4

Esta solução constitui um sistema do tipo VRF para fornecer aquecimento e arrefecimento ambiente, sendo a produção de AQS feita por esquentador a gás butano e pelo sistema solar térmico.

O esquentador anteriormente referido apresenta um rendimento de 88% (com potência superior a 10 kW) e, consultando um fabricante disponível no mercado, por exemplo, a Carrier, foi selecionado um sistema VRF com uma potência de aquecimento e arrefecimento de 16 kW e 14 kW, respetivamente. A ficha técnica está presente no Apêndice 12, sendo que este sistema apresenta com eficiência em aquecimento (COP) e arrefecimento (EER) de 4,27 e 4,00, respetivamente.

Na Figura 42 encontra-se demonstrado o cálculo do contributo da energia renovável em arrefecimento e aquecimento do sistema VRF, tendo sido obtido o valor de 1.600 e 7.287 kWh/ano respetivamente.

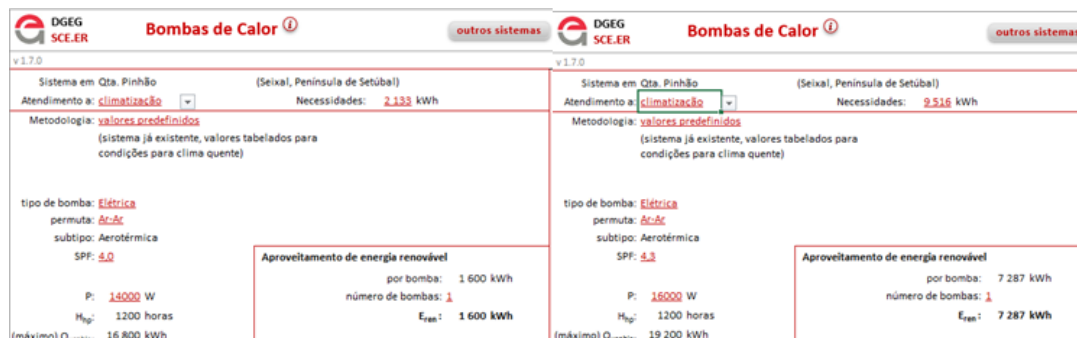


Figura 42 – Determinação do contributo de energia renovável pelo sistema VRF, através do software SCE.ER da DGE

O contributo total energia primária renovável nesta solução ($45,48 \text{ kWh}_{ep}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$) é composto pela soma da parcela de energia renovável aproveitada pelo sistema VRF ($33,55 \text{ kWh}_{ep}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$) e pelo sistema solar para produção de AQS ($11,93 \text{ kWh}_{ep}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$).

Assim, aplicando a equação (36) obteve-se o valor das necessidades nominais anuais de energia primária de $27,80 \text{ kWh}_{ep}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$. Como já foi referido, o valor de N_t é obtido através de rendimentos nominais de referência apresentados pelo Decreto-Lei n.º 349-B/2013, sendo que toma o valor 84% para esquentadores, para a eficiência do sistema VRF em arrefecimento o valor é igual a 3 e em aquecimento o valor é igual a 3,4. Desta forma, o valor de N_t obtido através da aplicação da equação (37) é de $65,74 \text{ kWh}_{ep}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$. Os resultados obtidos estão expostos na Tabela 25.

Tabela 25 – Resumo dos resultados obtidos para a solução nº 4

N_{tc} ($\text{kWh}_{ep}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$)	N_t ($\text{kWh}_{ep}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$)	R_{Nt}	E_{ren} ($\text{kWh}_{ep}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$)	$E_{primária}$ ($\text{kWh}_{ep}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$)
27,80	65,74	0,42	45,48	73,28

Através da Tabela 25 verifica-se que esta solução cumpre um dos requisitos para ser classificado com NZEB ($R_{Nt} < 0,5$), alcançando classe energética A. Este tipo de solução, para além de atingir um elevado nível de eficiência energética, também produz mais de metade da energia primária nominal por fontes renováveis (cerca de 62%), alcançando assim o conceito de edifício NZEB imposto pela legislação nacional.

Após desagregar o valor do consumo de energia primária em eletricidade e gás butano e aplicar os fatores de conversão de energia primária em emissões de CO₂, que constam na Tabela 14, obteve-se o valor de 1.072,54 kg_{CO₂}/ano para as emissões de CO₂, conforme se observa na Tabela 26.

Tabela 26 – Emissões de CO₂ com a solução n° 4

Eletricidade Energia Primária (kWh_{ep}/ano)	Gás Butano Energia Primária (kWh_{ep}/ano)	Emissões de CO₂ (kg_{CO₂}/ano)
6.904,97	460,15	1.072,54

5.3.5. Solução n° 5

Esta solução assenta na utilização de uma bomba de calor ar-água capaz de fornecer aquecimento e arrefecimento ambiente, bem como a produção de AQS com auxílio do sistema solar térmico. Consultando um fabricante disponível no mercado, por exemplo, a Carrier, foi selecionada uma bomba de calor com potência de aquecimento e arrefecimento de 12 e 10 kW, respetivamente. A eficiência de aquecimento (COP) e arrefecimento (EER) é de 4,74 e 4,17, respetivamente. A eficiência da bomba de calor para preparação de AQS é de 2,75. A ficha técnica da bomba de calor selecionada está presente no Apêndice 12.

Na Figura 43 encontra-se demonstrado o cálculo do contributo da energia renovável em arrefecimento e aquecimento da bomba de calor, tendo-se obtido o valor de 1.621 e 7.508 kWh/ano respetivamente.

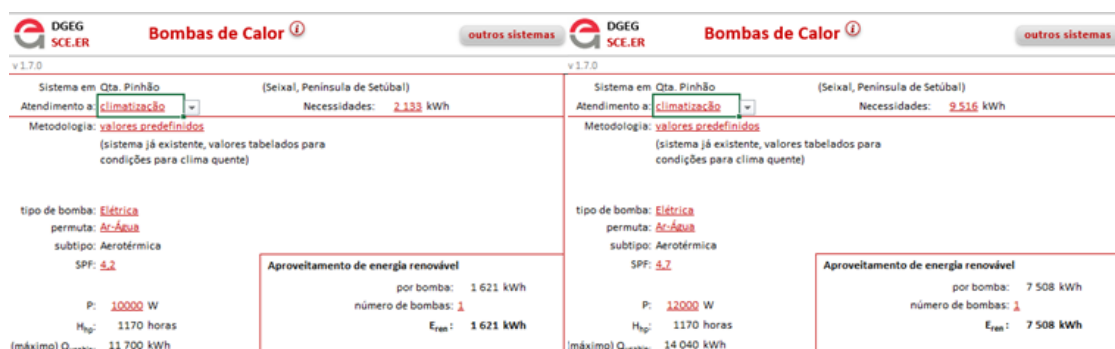


Figura 43 – Determinação do contributo de energia renovável pela bomba de calor, através do software SCE.ER da DGE

A bomba de calor também produz água quente sanitária, pelo que é necessário ter em consideração o aproveitamento de energia renovável para esse mesmo fim. A

contribuição da BC para AQS é dado pela diferença entre as necessidades energéticas para AQS (3.565,9 kWh/ano) e a contribuição do sistema solar térmico (3.161 kWh/ano), ou seja, 404,9 kWh/ano. Assim, a contribuição de energia renovável para AQS por parte da BC é de 258 kWh, conforme consta na Figura 44.

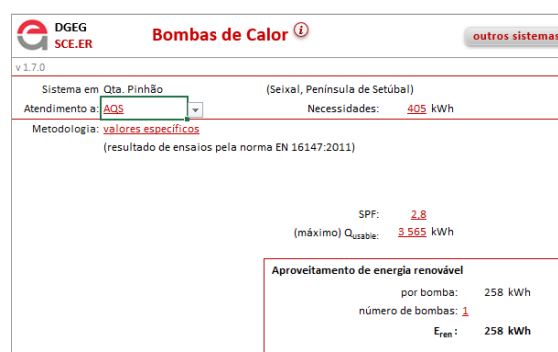


Figura 44 – Determinação do contributo de energia renovável pela bomba de calor para AQS, através do software SCE.ER da DGEG

O contributo total energia primária renovável nesta solução (47,37 kWh_{ep}/m².ano) é composto pela soma da parcela de energia renovável aproveitada pela bomba de calor (35,44 kWh_{ep}/m².ano) e pelo sistema solar para produção de AQS (11,93 kWh_{ep}/m².ano).

Aplicando a equação (36), obteve-se o valor das necessidades nominais anuais de energia primária de 24,28 kWh_{ep}/(m².ano). A determinação N_t é obtido através das eficiências nominais de referência apresentados pelo Decreto-Lei n.º 349-B/2013, sendo que para uma bomba de calor em arrefecimento o valor é igual a 2,9, em aquecimento o valor é igual a 3 e para a produção de AQS toma o valor de 2,8. Desta forma, o valor de N_t obtido através da aplicação da equação (37) é de 66,97 kWh_{ep}/(m².ano). Os resultados obtidos estão resumidos na Tabela 27.

Tabela 27 – Resumo dos resultados obtidos para a solução nº 5

N_{tc} (kWh _{ep} /m ² .ano)	N_t (kWh _{ep} /m ² .ano)	R_{Nt}	E_{ren} (kWh _{ep} /m ² .ano)	$E_{primária}$ (kWh _{ep} /m ² .ano)
24,28	66,97	0,36	47,37	71,65

Conforme se verifica na Tabela 27 esta solução apresenta um R_{Nt} igual a 0,36 de acordo com a equação (38), que equivale à classe energética A. Esta solução é bastante interessante uma vez que permite aquecimento, arrefecimento e produção de AQS num único sistema, cumprindo todas as premissas dos edifícios NZEB, pois tem uma

classificação A e produz mais de metade da energia primária nominal por fontes renováveis (66%).

Nesta solução a única fonte de energia primária é a eletricidade. Ao aplicar os fatores de conversão de energia primária em emissões de CO₂, que constam na Tabela 14, obteve-se o valor de 914,63 kg_{CO2}/ano para as emissões de CO₂, conforme se observa na Tabela 28.

Tabela 28 – Emissões de CO₂ com a solução nº 5

Eletricidade Energia Primária (kWh_{ep}/ano)	Emissões de CO₂ (kg_{CO2}/ano)
6.351,59	914,63

5.3.6. Solução nº 6

Esta última solução consiste na aplicação de uma bomba de calor geotérmica capaz de aquecer e arrefecer o meio ambiente, bem como a produzir água quente sanitária com o contributo do sistema solar térmico. Consultando um fabricante disponível no mercado, por exemplo, a Ecoforest, tem-se uma bomba de calor geotérmica (BCG) com potência de aquecimento e arrefecimento de 16 e 15 kW, respetivamente. A eficiência de aquecimento (COP) e arrefecimento (EER) é de 4,6 e 5,2 respetivamente. A eficiência de aquecimento para produção de AQS é de 3,57. A ficha técnica da BCG selecionada está presente no Apêndice 12.

O cálculo do contributo da energia renovável em arrefecimento e aquecimento da BCG é mostrado na Figura 45, tendo-se obtido o valor de 1.723 e 7.447 kWh/ano respetivamente.

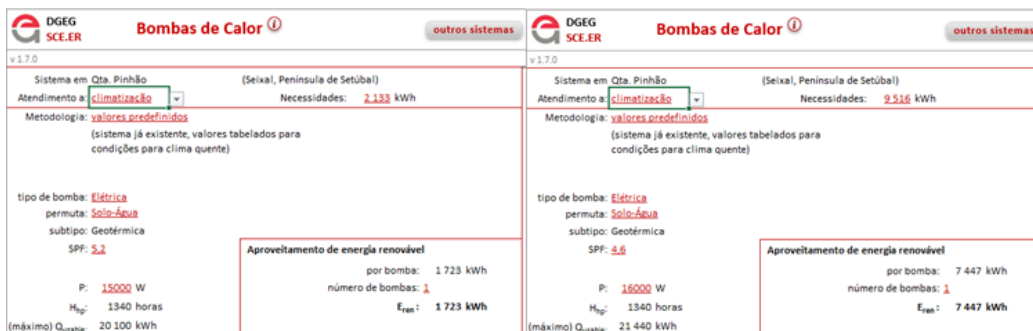


Figura 45 – Determinação do contributo de energia renovável pela BCG

A BCG também produz água quente sanitária, pelo que é necessário ter em consideração o aproveitamento de energia renovável para esse mesmo fim. À semelhança da análise feita à bomba de calor ar-água, a contribuição da BC para AQS é dado pela diferença entre as necessidades energéticas para AQS (3.565,9 kWh/ano) e a contribuição do sistema solar térmico (3.161 kWh/ano), ou seja, 404,9 kWh/ano. Assim, a contribuição de energia renovável para AQS por parte da BC é de 291 kWh, conforme consta na Figura 46.

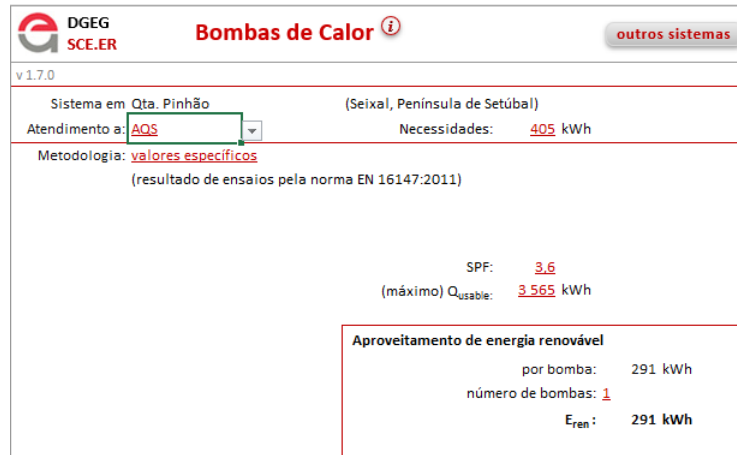


Figura 46 – Determinação do contributo de energia renovável pela BCG para AQS, através do software SCE.ER da DGEG

O contributo total energia primária renovável nesta solução (47,65 kWh_{ep}/m².ano) é composto pela soma da parcela de energia renovável aproveitada pela bomba de calor (35,72 kWh_{ep}/m².ano) e pelo sistema solar para produção de AQS (11,93 kWh_{ep}/m².ano).

Desta forma, aplicando a equação (36), obteve-se o valor das necessidades nominais anuais de energia primária de 23,69 kWh_{ep}/(m².ano). O valor de N_t é obtido através das eficiências nominais de referência apresentados pelo Decreto-Lei n.º 349-B/2013, tendo sido utilizado os valores de referência de uma bomba de calor com permuta exterior a água. Assim, a eficiência em arrefecimento toma o valor de 4,65, em aquecimento o valor é igual a 4,15 e para a produção de AQS toma o valor de 2,8. Desta forma, o valor de N_t obtido através da aplicação da equação (37) é de 50,29 kWh_{ep}/(m².ano). Os resultados obtidos estão resumidos na Tabela 29.

Tabela 29 – Resumo dos resultados obtidos para a solução nº 6

N_{tc} (kWh _{ep} /m ² .ano)	N_t (kWh _{ep} /m ² .ano)	R_{Nt}	E_{ren} (kWh _{ep} /m ² .ano)	$E_{primária}$ (kWh _{ep} /m ² .ano)
23,69	50,29	0,47	47,65	71,34

Conforme se verifica na Tabela 29 esta solução apresenta um R_{Nt} igual a 0,47, que equivale à classe energética A. Esta solução respeita todas as premissas dos edifícios NZEB, pois tem uma classificação A e é capaz de aproveitar cerca de 67% de energia renovável para atender à energia primária necessária (71,34 kWh_{ep}/m².ano).

Nesta solução a única fonte de energia primária é a eletricidade. Ao aplicar os fatores de conversão de energia primária em emissões de CO₂, que constam na Tabela 14, obteve-se o valor de 903,57 kg_{CO₂}/ano para as emissões de CO₂, conforme se observa na Tabela 30.

Tabela 30 – Emissões de CO₂ com a solução nº 6

Eletricidade Energia Primária (kWh_{ep}/ano)	Emissões de CO₂ (kg_{CO₂}/ano)
6.274,81	903,57

5.4. Comparação entre Soluções

Neste subcapítulo irão ser comparadas as soluções anteriormente estudadas do ponto de vista da eficiência de cada solução, da utilização de energia renovável, das necessidades de energia primária e das emissões de CO₂, com o objetivo de compreender a influência de cada sistema de aquecimento, arrefecimento e produção de AQS para atingir os critérios de NZEB.

Ao analisar os parâmetros que determinam as necessidades de energia primária (N_{tc}), expostos na equação (36), sabendo que neste caso de estudo os valores das necessidades nominais de energia útil são constantes, verifica-se que são dois os principais fatores que podem fazer variar o valor de N_{tc} : a eficiência de cada sistema e a fonte de energia que alimenta o sistema utilizado, traduzido pelo fator de conversão de energia útil para energia primária. Este fator só depende da fonte de energia que é

consumida pelo sistema e tem valores fixos, tornando assim a eficiência de cada sistema o principal fator capaz de variar o valor de N_{tc} .

Na Tabela 31 encontram-se resumidos os valores de rendimentos e eficiências dos equipamentos que foram estudadas nas 6 soluções apresentadas.

Tabela 31 – Comparação da eficiência de cada solução

Solução	Equipamentos (Aquec./Arref./AQS)	Eficiência em Aquecimento ($\eta_{k,i}$)	Eficiência em Arrefecimento ($\eta_{k,v}$)	Eficiência para AQS ($\eta_{k,AQS}$)
1	Aquecedor Elét./Ventilador/Esquentador	1,00	0,70	0,88
2	Caldeira/ <i>Split</i> /Caldeira	0,94	3,30	0,94
3	<i>Split/Split</i> /Esquentador	3,80	3,30	0,88
4	VRF/VRF/Esquentador	4,27	4,00	0,88
5	Bomba de Calor (ar-água)	4,74	4,17	2,75
6	Bomba de Calor Geotérmica	4,60	5,20	3,57

Do exposto, é possível observar que a primeira solução, constituída pelos equipamentos mais utilizados pelos portugueses para aquecimento, arrefecimento e AQS, é a solução que apresenta menores rendimentos, ao contrário das bombas de calor, menos utilizadas, que são equipamentos que apresentam níveis de eficiência superiores à unidade. Através da Tabela 31, é evidente que os equipamentos cujo princípio de funcionamento é o ciclo de compressão a vapor (sistema *split*, VRF e bomba de calor) devem ser utilizados nos NZEB, pois estes sistemas utilizam uma parcela importante de energia renovável, apresentando por isso elevados níveis de desempenho energético.

Na Tabela 32 encontram-se os valores nominais de energia primária e o seu valor máximo, a classe energética e a energia renovável produzida pelos sistemas que compõem as 6 soluções. Ao analisar a Tabela 32, verifica-se um impacto notório da eficiência dos sistemas estudados no valor das necessidades de energia primária (N_{tc}), sendo este maior na solução que apresenta uma menor eficiência e vice-versa.

Tabela 32 – Resumo dos resultados obtidos nas 6 soluções

Solução	N_{tc} (kWh_{ep}/m².ano)	N_t (kWh_{ep}/m².ano)	Classe Energética	E_{ren} (%)	NZEB
1	120,31	179,41	B	9,00%	Não
2	45,94	83,65	B	28,00%	Não
3	31,47	65,74	A	46,00%	Não
4	27,80	65,74	A	62,00%	Sim
5	24,28	66,97	A	66,00%	Sim
6	23,69	50,29	A	67,00%	Sim

Da Tabela 32 é possível afirmar que a primeira solução carece de elevadas necessidades de energia primária e não alcança o conceito NZEB. À medida que os sistemas de climatização são introduzidos nas soluções, o valor das necessidades energéticas vai diminuindo devido à elevada eficiência apresentada por estes. Para além disso, os sistemas de climatização contam com uma parcela de energia renovável que é aproveitada pelo ar ou pelo solo no caso da bomba de calor geotérmica, contribuindo assim com a parcela renovável suficiente para alcançar os NZEB. Apesar da bomba de calor geotérmica permitir ao edifício ser NZEB, este tipo de solução é bastante dispendioso, devido à necessidade de furos geotérmicos, o que a torna menos atrativa.

Na Figura 47 é apresentado um gráfico onde se observam as necessidades energéticas (N_{tc}) e o contributo de energia renovável em cada solução. Na primeira solução, a parcela de energia renovável só conta com o contributo do sistema solar térmico e este representa apenas 9% das necessidades energéticas. Na solução nº 2, por esta considerar um sistema *split* para arrefecimento, o aproveitamento de energia renovável aumenta representando cerca de 28% do valor das necessidades de energia primária. Na terceira solução o sistema *split* fornece aquecimento e arrefecimento, no entanto, não é suficiente para alcançar o aproveitamento de energia renovável (46%), carecendo ainda de pelo menos 1 módulo fotovoltaico de modo aumentar o aproveitamento de energia renovável (para 50%) para que a habitação seja classificada como NZEB. Devido ao elevado desempenho do sistema VRF utilizado na quarta solução, o aproveitamento de energia renovável é de cerca 62%, pelo que esta solução permite ao edifício ser NZEB. A solução com a bomba de calor ar-água (solução 5)

atinge 66% de aproveitamento de energia renovável, uma vez que a bomba de calor fornece aquecimento, arrefecimento e produção de AQS. A sexta solução, com utilização de uma bomba de calor geotérmica, apresenta valores bastante semelhantes à da bomba de calor ar-água, no que toca ao aproveitamento de energia renovável.

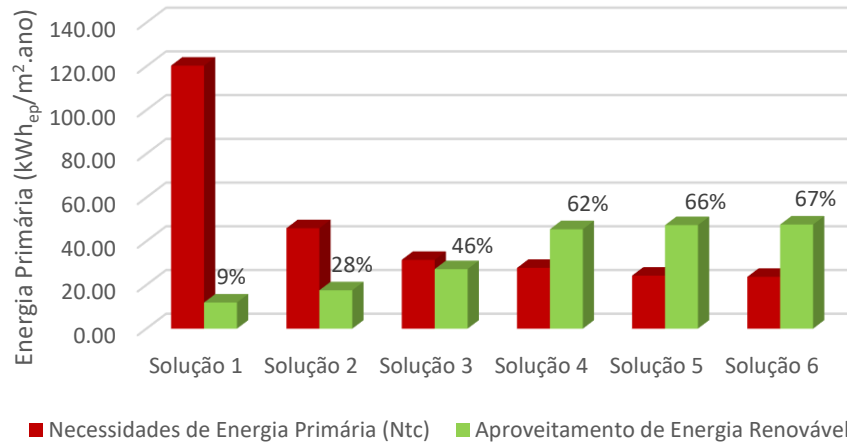


Figura 47 – Comparação do contributo de energia renovável entre soluções

Na Figura 48 está representado um gráfico com a contribuição de energia renovável dos sistemas de aquecimento, arrefecimento e produção de AQS, utilizados nas 6 soluções. Ao analisar este gráfico, é possível observar que nas soluções 3, 4, 5 e 6, o aproveitamento de energia renovável por parte dos sistemas de climatização é bastante significativo.

Ao utilizar o sistema VRF ou bomba de calor (solução 4, 5 e 6), o aproveitamento de energia renovável aumenta, uma vez que estes sistemas de climatização apresentam maiores potências e melhores eficiências. Desta forma, a aplicação de sistemas AVAC em edifícios de habitação e de acordo com os critérios de NZEB em vigor na legislação nacional, é fundamental para que estes sejam classificados como NZEB, sem que seja necessário o investimento em outros sistemas para aproveitamento de energia renovável.

Salientar que, em termos práticos, nem todas as soluções que estão a ser analisadas seriam viáveis de implementar para climatizar uma habitação, por exemplo, vários sistemas do tipo *split*. Nesta habitação, seria de recomendar o sistema VRF (solução 4), bomba de calor ar-água (solução 5) ou geotérmica (solução 6), por serem sistemas capazes de climatizar vários espaços em simultâneo.

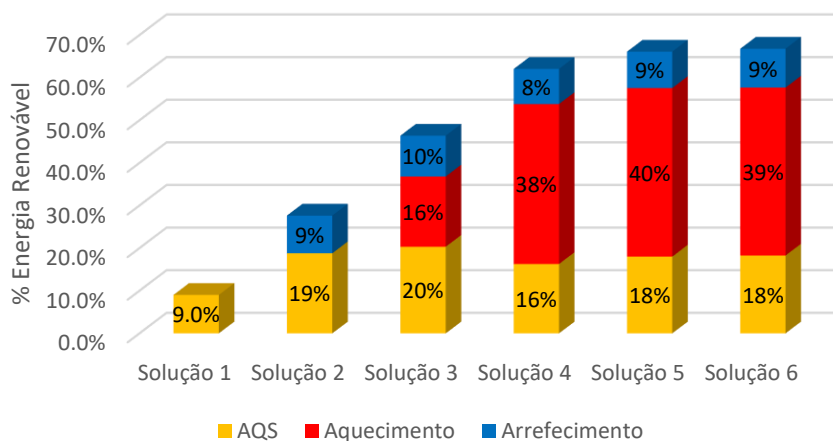


Figura 48 – Contribuição de energia renovável em aquecimento, arrefecimento e AQS

É então evidente que através da aplicação de sistemas AVAC para suprirem as necessidades de aquecimento e arrefecimento ambiente, bem como a produção de AQS, por exemplo a bomba de calor ar-água da solução 5, é possível reduzir cerca de 46% das necessidades de energia primária e aumentar o aproveitamento de energia renovável até cerca de 25%, quando comparados com sistemas mais utilizados em Portugal.

É ainda de notar a importância das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}) e arrefecimento (N_{vc}), para reduzir as necessidades de energia primária. Neste caso de estudo, estes dois parâmetros são constantes pois não se alterou os valores dos coeficientes de transmissão de calor da várias envolventes do edifício, nem o fator solar dos vãos envidraçados. Os valores que foram utilizados nestes coeficientes são inferiores ao limite máximo imposto pela legislação em vigor, conforme mostra a Tabela 4. No entanto, se fossem adotados valores de coeficientes de transmissão de calor e fator solar mais exigentes, por exemplo metade do requisito máximo, as necessidades energéticas iriam ser de tal forma diminutas e estima-se que na solução com o sistema VRF e bomba de calor fosse possível alcançar a classe energética mais elevada (A^+).

A legislação Nacional atualmente em vigor não impõe limites máximos de emissões de CO_2 para os edifícios NZEB que, embora tenham que ter aproveitamento de energia renovável para satisfazerem 50% das necessidades de energia primária reguladas (aquecimento, arrefecimento e produção de AQS), não apresentam emissões nulas de CO_2 . Este é um fator importante para a redução das emissões dos GEE e, sendo esse um dos principais objetivos da UE e de Portugal no que toca ao setor energético, deve se ter

sempre em conta as emissões de CO₂ nas novas construções e nas reabilitações dos edifícios. Desta forma, na Figura 49 encontram-se as emissões de CO₂ estimadas em cada solução estudada.

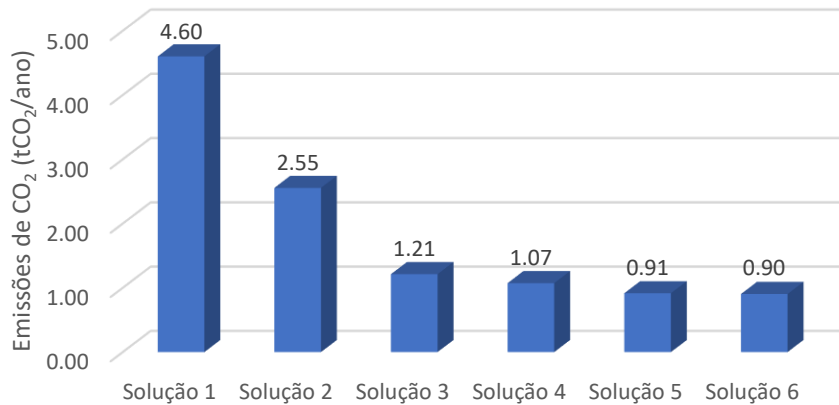


Figura 49 – Comparação das emissões de CO₂

É possível constatar que os equipamentos mais utilizados pelos portugueses para aquecimento e arrefecimento ambiente e produção de AQS, descritos pela solução 1, são os que apresentam maiores emissões de CO₂. Com a introdução de sistemas de climatização, que promovem aquecimento e arrefecimento ambiente, as emissões diminuem significativamente, isto devido ao facto deste tipo de sistemas não funcionarem à base da queima de combustíveis. Por exemplo, a utilização de uma bomba de calor ar-água (para aquecimento, arrefecimento e AQS), apresenta cerca de 80% menos emissões de CO₂, em relação aos sistemas preferidos pelos portugueses.

Notar que ao recorrer à eletricidade como fonte de energia para atender às necessidades nominais de energia primária, reduz as emissões de CO₂ pois o fator de conversão para a eletricidade é menor quando comparado com as outras fontes de energia, à exceção da energia renovável, conforme se pode constatar na Tabela 14. Esta redução será cada vez maior no futuro já que a tendência da produção de energia elétrica será cada vez mais baseada em fontes de energia renovável.

Assim, conclui-se que os sistemas de climatização apresentam diversas vantagens para fazerem parte de uma habitação classificada como NZEB. Ao terem uma elevada eficiência energética, reduzem as necessidades de energia primária da habitação, contribuindo ainda com energia renovável de forma totalmente gratuita. Em adicional, por não recorrerem à queima de combustíveis para o seu funcionamento, apresentam valores reduzidos de emissões de CO₂ ajudando por isso na redução de GEE.

Página deixada propositadamente em branco

6. Conclusões

O conceito NZEB tem de ser pensado logo na fase de projeto, para que a conceção e construção dos novos edifícios sejam concebidos de forma a diminuir as necessidades energéticas convergindo para valores quase nulos. O desempenho energético dos edifícios está diretamente relacionado com o recurso a sistemas de climatização e produção de AQS de elevada eficiência, com a utilização de soluções construtivas capazes de mitigar as transferências de calor (envolvente, vãos envidraçados, dispositivos de proteção solar e sombreamento) e com o aproveitamento de fontes de energia de origem renovável. São estes os principais fundamentos para atingir o edifício com necessidades energéticas quase nulas [21].

No Capítulo 4 do presente documento, constatou-se que o valor das necessidades nominais de energia útil para aquecimento era inferior a 75% do seu valor máximo, cumprindo uma das premissas para a habitação unifamiliar alcançar o conceito NZEB. Esta premissa pode ser controlada com a aplicação de uma melhoria no isolamento, ou seja, menores valores de U . Apesar da solução adotada para a constituição das paredes cumprir os requisitos mínimos impostos pela legislação nacional, verificou-se que o valor de N_{ic} obtido é bastante próximo de 75% do valor de N_i , o que significa que se fosse utilizado um valor de U ligeiramente superior, mas dentro dos requisitos mínimos, poderia não satisfazer esta premissa. Desta forma, é possível afirmar que é fundamental continuar a impor limites cada vez mais exigentes para o valor de U dos elementos da envolvente dos edifícios.

Ao analisar os resultados obtidos no Capítulo 5, conclui-se que os sistemas de aquecimento, arrefecimento e produção de AQS mais utilizados pelos portugueses, (apresentados na solução 1) não são passíveis de se aplicar em edifícios NZEB devido à sua baixa eficiência e conseqüente elevada necessidade de energia primária. Por outro lado, constatou-se que os sistemas AVAC demonstram um enorme potencial para serem aplicados nos NZEB, pois apresentam elevados níveis de eficiência energética (sempre superior à unidade), reduzem substancialmente as necessidades de energia primária e, devido ao seu princípio de funcionamento, contribuem com uma parcela significativa de energia renovável, indo ao encontro da definição de NZEB exposta na Figura 13.

Dos sistemas AVAC passíveis de serem implementados na habitação, a bomba de calor ar-água é a solução mais promissora. Este sistema facilita a interligação com o

sistema solar térmico, é capaz de satisfazer as necessidades de aquecimento, arrefecimento e produção de AQS num só equipamento e é de fácil instalação, ao contrário da bomba de calor geotérmica. No Capítulo 5, constatou-se que a bomba de calor ar-água (apresentada na solução 5) é capaz de reduzir cerca de 46% das necessidades de energia primária, aumentar o aproveitamento de energia renovável até 25% e reduzir até cerca de 80% das emissões de CO₂ face aos sistemas preferidos pelos portugueses.

Desta forma, e de acordo com os casos de estudos apresentados, conclui-se que a bomba de calor é a tecnologia que deverá ser aplicada aos novos edifícios para cumprir as diretivas europeias, em particular no âmbito NZEB, ajudando Portugal a alcançar as metas de redução de emissões de GEE, da promoção da eficiência energética e do aumentando a utilização da energia renovável, a realizar no compromisso de atingir a neutralidade carbónica até 2050. O setor dos edifícios é um setor potencial para reduzir as emissões de poluentes, aumentar o aproveitamento de energia renovável e a eficiência energética, sendo que Portugal tardou, mas já quantificou e transpôs para a legislação nacional o conceito NZEB. Porém, é fundamental ser progressivamente mais exigente nas premissas que classificam um edifício como NZEB, tanto na redução das necessidades energéticas, como também no aumento do aproveitamento de energia renovável e, eventualmente, criar limites para as emissões de CO₂. O conceito NZEB tem de se estender a todos os edifícios, novos e existentes, de habitação, de comércio e serviços, sendo esta uma proposta para o futuro.

Conceitos como a Indústria 4.0 e o BIM – *Building Information Modeling* são decididamente alavancas fundamentais para o desenvolvimento da eficiência energética e sustentabilidade dos edifícios, ou seja, para o crescimento dos NZEB [86]. Se em cada Câmara Municipal do país existir uma base de dados digital com informações sobre a Certificação Energética dos Edifícios, por exemplo, as características dos materiais utilizados na envolvente térmica, vãos envidraçados e sistemas técnicos, qualquer nova característica de construção e/ou reabilitação pode ser atualizada através dessa base de dados alterando ou acrescentando as respetivas características técnicas em causa. Com este tipo de sistema, diferentes soluções construtivas e sistemas técnicos poderiam ainda ser analisados de forma rápida de modo atingir o ponto ótimo de investimento e certificação energética.

Neste sentido e com este estudo é fornecida uma referência para o desenvolvimento de NZEB onde o software BIM e as ferramentas que são fornecidas pela Indústria 4.0 devem ser aplicadas de forma a atingir os ambiciosos objetivos impostos pela UE. A interligação entre estes conceitos através da promoção de novas tecnologias de modelação e simulação de edifícios, produção de energia, monitorização, previsão e controlo de medidas de eficiência energética, limitação do consumo de energia e sensibilização social para a utilização racional da energia, será o desafio e a chave para alcançar um futuro de energia sustentável e devem ser relacionados em pesquisas e trabalhos futuros.

Página deixada propositadamente em branco

Bibliografia

- [1] European Environment Agency (2020). *Energy*. Consultado em 14 de março de 2020. Disponível em <https://www.eea.europa.eu/themes/energy>;
- [2] PORDATA (2020). *Ambiente, Energia e Território*. Consultado a 15 de março de 2020. Disponível em <https://www.pordata.pt/Subtema/Europa/Energia-149>;
- [3] Eurostat (2020). *Environment and Energy*. Consultado a 19 de março de 2020. Disponível em <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>;
- [4] Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010; Bruxelas (2010);
- [5] Diretiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro de 2002; Bruxelas (2002);
- [6] *Action Plan for Energy Efficiency: Realising the Potential*. Comunicação apresentada pela Comissão Europeia, Bruxelas (2006);
- [7] Diretiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de abril de 2009; Bruxelas (2009);
- [8] Diretiva 2009/125/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 21 de outubro de 2009; Bruxelas (2009);
- [9] C., David, H., João, & C., Justina (2016). Diretiva Ecodesign – *Documentos de Apoio às Empresas*. Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Lisboa;
- [10] Direção-Geral de Energia e Geologia (2019). *Eficiência Energética em Edifícios*. Consultado em 16 de outubro de 2019. Disponível em: <http://www.dgeg.gov.pt/>;
- [11] Diretiva 2012/27/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de outubro de 2012; Bruxelas (2012);
- [12] Diretiva 2018/844/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 30 de maio de 2018, que altera a Diretiva 2010/31/UE; Bruxelas (2018);
- [13] Diretiva 2018/2001/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 11 de dezembro de 2018; Bruxelas (2018);
- [14] Decreto-Lei nº 40/90 de 6 de fevereiro. Diário da República nº 31/1990 – Série I. Lisboa: Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações;

- [15] Decreto-Lei n.º 118/98 de 7 de maio. Diário da República n.º 105/1998 – Série I-A. Lisboa: Ministério do Equipamentos, do Planeamento e da Administração do Território;
- [16] Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de abril. Diário da República n.º 67/2006, Série I-A. Lisboa: Ministério da Economia e da Inovação;
- [17] Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de abril. Diário da República n.º 67/2006, Série I-A. Lisboa: Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações;
- [18] Decreto Lei 80/2006 de 4 de abril. Diário da República n.º 67/2006, Série I-A. Lisboa: Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações;
- [19] Observatório de Energia, ADENE e DGEG (2020). *Energia em números*. Lisboa: Agência para a Energia;
- [20] Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto. Diário da República n.º 159/2013, Série I. Lisboa: Ministério da Economia e do Emprego;
- [21] Graña, S. (2018). *Edifícios com Necessidades Quase Nulas de Energia*. Comunicação apresentada no 3.º e 4.º encontro Nacional de Gestão Técnica Centralizada, Lisboa e Porto;
- [22] Portaria n.º 349-B/2013 de 29 de novembro. Diário da República n.º 232/2013, Série I. Lisboa: Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia;
- [23] Isolani, P. (2008). *Eficiência Energética nos Edifícios Residenciais*. Lisboa: Deco;
- [24] Portaria n.º 379-A/2015 de 22 de outubro. Diário da República n.º 232/2013, Série I. Lisboa: Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia;
- [25] Fragoso, R. (2015). *O Caminho para NZEB na Legislação Portuguesa*. Workshop RePublic ZEB. Lisboa: ADENE;
- [26] Portaria n.º 98/2019 de 2 de abril. Diário da República n.º 65/2019, Série I. Lisboa: Ministério do Ambiente e Transição Energética;
- [27] Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013 de 2 de dezembro. Diário da República n.º 234/2013, 3.º Suplemento, Série II. Lisboa: Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia – Direção-Geral de Energia e Geologia;

- [28] Despacho (extrato) n.º 15793-E/2013 de 2 de dezembro. Diário da República n.º 234/2013, 3.º Suplemento, Série II. Lisboa: Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia – Direção-Geral de Energia e Geologia;
- [29] Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013 de 2 de dezembro. Diário da República n.º 234/2013, 3.º Suplemento, Série II. Lisboa: Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia – Direção-Geral de Energia e Geologia;
- [30] Despacho (extrato) n.º 15793-H/2013 de 2 de dezembro. Diário da República n.º 234/2013, 3.º Suplemento, Série II. Lisboa: Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia – Direção-Geral de Energia e Geologia;
- [31] Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013 de 2 de dezembro. Diário da República n.º 234/2013, 3.º Suplemento, Série II. Lisboa: Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia – Direção-Geral de Energia e Geologia;
- [32] Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013 de 2 de dezembro. Diário da República n.º 234/2013, 3.º Suplemento, Série II. Lisboa: Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia – Direção-Geral de Energia e Geologia;
- [33] Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 de 2 de dezembro. Diário da República n.º 234/2013, 3.º Suplemento, Série II. Lisboa: Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia – Direção-Geral de Energia e Geologia;
- [34] Agência Portuguesa do Ambiente (dezembro 2019). *Plano Nacional de Energia e Clima 2021-2030 (PNEC 2030)*. Sessão de apresentação do Plano Nacional Integrado Energia-Clima. Lisboa;
- [35] Decreto-Lei n.º 162/2019 de 25 de outubro. Diário da República n.º 206/2019, Série I. Lisboa: Presidência do Conselho de Ministros;
- [36] Portal da Energia (2019). *Eficiência Energética*. Consultado a 21 de março de 2020. Disponível em <https://www.portal-energia.com/transforme-a-sua-casa-e-torne-a-eficiente/>
- [37] Decreto-Lei n.º 363/2007 de 2 de novembro. Diário da República n.º 211/2007, Série I. Lisboa: Ministério da Economia e da Inovação;
- [38] República Portuguesa, Fundo Ambiental & Agência Portuguesa do Ambiente (2019). *Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050*. Lisboa;

- [39] Concerted Action (2020). *Selected Examples of Nearly Energy Buildings*. Consultado a 5 de abril de 2020. Disponível em <https://epbd-ca.eu/>;
- [40] Fragoso, R. & Baptista, N. (2016). *EPBD Implementation in Portugal*. Lisboa: ADENE;
- [41] Edifícios e Energia (2019). Novas Townhouses do Belas Clube de Campo Já são NZEB. Consultado a 11 de abril de 2020. Disponível em <https://edificioseenergia.pt/noticias/nzeb-belas-townhouses037/>;
- [42] ADENE – Agência para a Energia (Outubro 2016). *Isolamento de Paredes*. Lisboa: ADENE;
- [43] Santos, C. & Matias, L. (2006). *Coefficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios (ITE 50)*. LNEC: Lisboa;
- [44] Ferrante, A. (Outubro 2019). *A New Design for a Sustainable Built Environment*. Departamento de Arquitetura: Universidade Bolonha;
- [45] Veld, P., Carrabs, M. & Oorchot, J. (Maio 2019). More-Connect. *Development and advanced prefabrication of innovative, multifunctional building envelope elements for Modular Retrofitting and smart Connections*, 66-70.
- [46] ADENE – Agência para a Energia (Outubro 2016). *Isolamento de Coberturas*. Lisboa: ADENE;
- [47] Imperialum (2019). *Soluções de Isolamento Térmico*. Consultado a 21 de abril de 2020. Disponível em <https://www.imperialum.com/>;
- [48] Baiona, R. (2014). *NZEB – Um Desafio para a Engenharia Civil* (Dissertação de Mestrado). Instituto Superior de Engenharia em Lisboa. Lisboa;
- [49] ThermoWin (2020). *Proteção Solar*. Acedido a 22 de abril de 2020. Disponível em: [http://www.pvc-janelas.com/index.php?p=index&id_area=4&subarea_id=28](http://www.pvc-janelas.com/index.php?p=index&id_area=4&subarea_id=28;);
- [50] Palhinha, M. (2009). *Sistemas de Sombreamento em Arquitetura: Proposta de um Novo Método de Conceção e Dimensionamento* (Dissertação de Mestrado). Instituto Superior Técnico. Lisboa;
- [51] ADENE – Agência para a Energia (Outubro 2016). *Esquentadores e Caldeiras*. Lisboa: ADENE;

- [52] Cunha, F. (2015). *Estudo de estratégias e tecnologias de climatização para atingir Edifícios nZEB* (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto. Porto;
- [53] Casaca, C. & Cardoso, J. (2019). *Sistemas de Climatização I*. Apresentação da Unidade Curricular: Instalações Técnicas Especiais, Mestrado em Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia em Lisboa.
- [54] ADENE – Agência para a Energia (Outubro 2016). *Ar Condicionado Doméstico*. Lisboa: ADENE;
- [55] Rodrigues, F. (2017). *O Ciclo de Refrigeração por Compressão a Vapor*. Unidade Curricular: Produção de Frio, Licenciatura em Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia em Lisboa;
- [56] Ariston (2018). *Como escolher uma Bomba de Calor*. Disponível em https://www.ariston.com/pt/media/files/143_2092_Como%20escolher%20uma%20bomba%20de%20calor%20versao_v2.pdf;
- [57] Gómez, E., Romero, J., Zamora, M., Budí, P., Herrero, M., Ortiz, J. & Salamanca, C. (2019). *La Bomba de Calor – Fundamentos, Tecnología y Casos Prácticos*. Asociación de Fabricantes de Equipos de Climatización (AFEC): Madrid;
- [58] European Copper Institute (2018). *Heat Pumps – Integrating Technologies to Decarbonise Heating and Cooling*. Disponível em <https://www.ehpa.org/about/news/article/white-paper-heat-pumps-integrating-technologies-to-decarbonise-heating-and-cooling/>;
- [59] Reis, P. (2018). *Piso radiante: o aquecimento que garante conforto e poupança*. Consultado em 4 de abril de 2020. Disponível em <https://www.portal-energia.com/piso-radiante-aquecimento/>;
- [60] InovEnergy – Eficiência Energética no Setor Agro-Industrial (2014). *Fluidos Frigorígenos*. Disponível em http://inovenergy.inovcluster.pt/media/28408/fluidos_frigorigenos_relatorio.pdf;
- [61] Decreto-Lei n.º 145/2017 de 30 de novembro. Diário da República n.º 231/2017, Série I. Lisboa: Ministério do Ambiente;

- [62] Coelho, L. (2019). *Introdução à Ventilação*. Unidade Curricular: Ventilação, Mestrado em Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia em Lisboa.
- [63] Coelho, L. (2019). *Ventilação em Habitações*. Unidade Curricular: Ventilação, Mestrado em Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia em Lisboa.
- [64] Portaria n.º 353-A/2013 de 4 de dezembro. Diário da República nº 235/2013, 1º Suplemento, Série I. Lisboa: Ministérios do Ambiente Ordenamento do Território e Energia, da Saúde e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social;
- [65] Água Quente Solar para Portugal (2003). *Utilização de Colectores Solares para Aquecimento de Água no Sector Doméstico*. Lisboa: DGE;
- [66] Portal das Energias Renováveis. *Tecnologias: Tipos de Sistemas Solares Térmicos*. Consultado a 26 de março de 2020. Disponível em http://energiasrenovaveis.com/DetailConceitos.asp?ID_conteudo=42&ID_area=8&ID_sub_area=26
- [67] Reis, P. (2018). *Vantagens e desvantagens do painel solar térmico de circulação forçada e termossifão*. Consultado em 26 de março de 2020. Disponível em <https://www.portal-energia.com/vantagens-desvantagens-painel-solar-termico-circulacao-forcada-termossifao/>
- [68] Portal Energia. *Energia Solar Térmica – Manual sobre Tecnologias, Projeto e Instalação*. Consultado a 27 de março de 2020. Disponível em <https://www.portal-energia.com/manual-e-guia-tecnico-de-projecto-e-instalacao-da-energia-solar-termica/>
- [69] Pinho, J. & Galdino, A. (2014). *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Consultado a 28 de março de 2020. Disponível em <https://www.portal-energia.com/livro-manual-de-engenharia-para-sistemas-fotovoltaicos-edicao-2014/>;
- [70] Portal Energia. *Energia Fotovoltaica – Manual sobre Tecnologias, Projeto e Instalação*. Consultado a 28 de março de 2020. Disponível em <https://www.portal-energia.com/manual-e-guia-tecnico-de-energia-solar-fotovoltaica-tecnologias-projecto-e-instalacao/>;
- [71] Planas, O. (2018). Consultado a 24 de maio de 2020. Disponível em [https://pt.solar-energia.net/que-e-energia-solar/painel-solar/painel-solar-hibrido](https://pt.solar-energia.net/que-e-energia-solar/painel-solar/painel-solar-hibrido;);

- [72] Reis, P. (2018). Consultado a 24 de maio de 2020. Disponível em <https://www.portal-energia.com/como-funcionam-paineis-solares-hibridos/>;
- [73] Guia SCE (Março, 2020). *Cálculo de Indicadores de Desempenho Energético (REH)*. Lisboa: ADENE;
- [74] Guia SCE (Março, 2020). *Medidas de Melhoria (REF)*. Lisboa: ADENE;
- [75] Carrier (2016). *Hourly Analysis Program: Quick Reference Guide*. Carrier Corporation, 10th Edition.
- [76] LNEG (Março, 2020). *SOLTERM 5*. Consultado a 4 de junho de 2020. Disponível em <https://www.lneg.pt/service/informacao-tecnica/software/solterm5/>
- [77] DGEG (Janeiro, 200). *SCE.ER - Dados e cálculos para aproveitamento de Energias Renováveis em edifícios*. Consultado a 4 de junho de 2020. Disponível em <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/energias-renovaveis-e-sustentabilidade/sce-er/>
- [78] Commercial Systems North America (2020). *Hourly Analysis Program (HAP): Powerful tools for design and analysis*. Consultado a 6 de junho de 2020. Disponível em <https://www.carrier.com/commercial/en/us/software/hvac-system-design/hourly-analysis-program/>
- [79] Sousa, V. (2016). *Reabilitação Energética da Piscina Coberta da Academia Militar de Lisboa* (Dissertação de Mestrado). Instituto Superior Técnico. Lisboa;
- [80] ADENE (2019). *Certificação Energética dos Edifícios – Documentação*. Consultado a 6 de junho de 2020. Disponível em <https://www.sce.pt/documentacao/>;
- [81] Lojaluz (2020). *Consumo médio de eletricidade numa habitação*. Consultado a 7 de junho de 2020. Disponível em: <https://lojaluz.com/faq/poupar-luz/consumo-medio>;
- [82] ASHRAE Technical Committees (2005). *ASHRAE Handbook Fundamentals: Lighting power Densities Using Space-by-Space Method*. Atlanta: Mark S. Owen;
- [83] Wilkins, C. & Hosni, M. (2000). *Heat Gain From Office Equipment*. ASHRAE Journal, 34-38;
- [84] Aguiar, R., Coelho, R. & Rodrigues, A. (2017). *Manual e Instalação e Utilização do software SolTerm*. Lisboa: Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P. Laboratório de Energia;

- [85] Pereira, R. (2014). *Ensaio de Desempenho de Ventiladores numa Bancada Didática* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo;
- [86] Ascenso, R. (2020). *Edifícios e Energia: BIM – Revolução 4.0*. Consultado a 25 de junho de 2020. Disponível em <https://edificioseenergia.pt/noticias/bim-2705-tcapa/>;

Apêndice 1
Lista de espaços do edifício

Tabela A 1 – Lista de espaços da habitação unifamiliar

Piso	N.º da Sala	Designação	Área (m²)	Altura (m)
-1	1	Escritório	13,60	2,35
-1	2	I.S.	4,90	2,35
-1	3	Arrumos	3,90	2,35
-1	4	Corredor	7,60	2,35
-1	5	Arrumos	3,30	2,35
-1	6	Sala	36,90	2,35
0	7	Vestíbulo	16,70	2,40
0	8	I.S.	6,95	2,75
0	9	Quarto	13,80	2,75
0	10	I.S.	1,85	2,75
0	11	Sala de Estar	36,20	2,75
0	12	Sala de Jantar	13,55	2,40
0	13	Cozinha	19,60	2,40
0	14	Lavandaria	5,00	2,40
1	15	Corredor	9,40	2,40
1	16	Quarto	14,10	2,75
1	17	I.S.	4,60	2,40
1	18	Quarto	17,95	2,75
1	19	I.S.	4,65	2,40
1	20	Quarto	16,50	2,75
1	21	Quarto	12,10	2,75
1	22	I.S.	6,75	2,40

É de notar que a lavandaria no piso 0 é considerado com espaço não útil, sendo que a área útil total é de 264,9 m².

Apêndice 2

**Parâmetros climáticos necessários para a determinação da zona climática
de inverno e verão**

Tabela A 2 – Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de aquecimento [29]

	z		M		GD		$\theta_{ext, i}$		G_{Sul} kWh/m ² por mês
	REF m	REF meses	a mês/km	REF °C	a °C/km	REF °C	a °C/km		
Minho-Lima	268	7,2	1	1629	1500	8,2	-5	130	
Alto Trás-os-Montes	680	7,3	0	2015	1400	5,5	-4	125	
Cávado	171	6,8	1	1491	1300	9,0	-6	125	
Ave	426	7,2	0	1653	1500	7,8	-6	125	
Grande Porto	94	6,2	2	1250	1600	9,9	-7	130	
Tâmega	320	6,7	0	1570	1600	7,8	-5	135	
Douro	579	6,9	0	1764	1400	6,3	-4	135	
Entre Douro e Vouga	298	6,9	1	1544	1400	8,4	-5	135	
Baixo Vouga	50	6,3	2	1337	1100	9,5	-5	140	
Baixo Mondego	67	6,3	0	1304	1000	9,7	-5	140	
Beira Interior Norte	717	7,5	0	1924	1000	6,3	-3	135	
Beira Interior Sul	328	5,4	1	1274	1800	9,1	-6	140	
Cova da Beira	507	7,1	0	1687	1400	7,5	-5	140	
Serra da Estrela	553	7,5	0	1851	1600	7,0	-5	135	
Dão - Lafões	497	7,3	0	1702	1900	7,5	-6	135	
Pinhal Interior Norte	361	6,8	0	1555	1600	8,3	-5	140	
Pinhal Interior Sul	361	6,7	1	1511	1500	8,4	-4	145	
Pinhal Litoral	126	6,6	0	1323	1900	9,6	-5	140	
Oeste	99	5,6	0	1165	2200	10,3	-8	145	
Médio Tejo	168	5,9	0	1330	1300	9,5	-4	145	
Lezíria do Tejo	73	5,2	3	1135	2700	10,2	-7	145	
Grande Lisboa	109	5,3	3	1071	1700	10,8	-4	150	
Península de Setúbal	47	4,7	0	1045	1500	10,7	-4	145	
Alto Alentejo	246	5,3	2	1221	1200	9,6	-3	145	
Alentejo Central	221	5,3	2	1150	1100	10,0	-4	150	
Alentejo Litoral	88	5,3	2	1089	1100	10,8	-2	150	
Baixo Alentejo	178	5,0	0	1068	1000	10,7	-2	155	

Tabela A 3 – Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação convencional de arrefecimento [29]

	z		$\theta_{ext, v}$		I_{sol}							
	REF m	REF °C	a °C/km	kWh/m ² acumulados de junho a setembro								
				0°	90° N	90° NE	90° E	90° SE	90° S	90° SW	90° W	90° NW
Grande Lisboa	109	21,7	-10	840	225	365	500	495	410	495	500	365
Península de Setúbal	47	22,8	-5	845	225	365	505	495	410	495	505	365
Alto Alentejo	246	24,5	0	845	225	365	505	500	415	500	505	365
Alentejo Central	221	24,3	0	850	225	370	510	500	415	500	510	370
Alentejo Litoral	88	22,2	0	850	225	365	510	495	405	495	510	365
Baixo Alentejo	178	24,7	0	855	225	370	510	495	405	495	510	370
Algarve	145	23,1	0	865	225	375	515	500	405	500	515	375
R.A. Açores	10	21,3	-6	640	195	285	375	375	235	375	375	285
R.A. Madeira	380	20,2	-6	580	195	260	325	320	280	320	325	260

Apêndice 3

Coeficientes globais de transferência de calor adotados

Tabela A 4 – Valores das resistências térmicas superficiais, R_{se} e R_{si} [33]

Sentido do fluxo de calor		Resistência térmica [m ² .°C/W]	
		Exterior R_{se}	Interior R_{si}
Horizontal		0,04	0,13
Vertical	Ascendente	0,04	0,10
	Descendente	0,04	0,17

Tabela A 5 – Elementos constituintes da parede exterior e resultado do coeficiente global de transferência de calor

Parede exterior						
Elemento de Camada	e (m)	λ (W/m.K)	R (m ² .K/W)	U (W/m ² .K)	ρ (kg/m ³)	Massa Total (kg/m ²)
Resistência Interior	-	-	0,130	0,43	-	172
Estuque projetado	0,020	0,400	0,050		900	
Tijolo Cerâmico Furado	0,110	-	0,270		1400	
Isolamento XPS	0,050	0,037	1,35		-	
Caixa de Ar	0,020	-	0,180		-	
Tijolo Cerâmico Furado	0,110	-	0,270		-	
Reboco Tradicional	0,020	1,300	0,015		-	
Resistência Exterior	-	-	0,040		-	

Tabela A 6 – Elementos constituintes da parede exterior pilar/viga e resultado do coeficiente global de transferência de calor

Parede exterior pilar/viga						
Elemento de Camada	e (m)	λ (W/m.K)	R (m ² .K/W)	U (W/m ² .K)	ρ (kg/m ³)	Massa Total (kg/m ²)
Resistência Interior	-	-	0,130	0,69	-	618
Estuque projetado	0,020	0,400	0,050		900	
Betão armado	0,250	2,000	0,125		2400	
Isolamento XPS	0,040	0,037	1,081		-	
Reboco Tradicional	0,020	1,300	0,015		-	
Resistência Exterior	-	-	0,040		-	

Tabela A 7 – Elementos constituintes da parede interior em contacto com espaços não úteis e resultado do U

Parede interior em contacto com ENU						
Elemento de Camada	e (m)	λ (W/m.K)	R (m².K/W)	U (W/m².K)	ρ (kg/m³)	Massa Total (kg/m²)
Resistência Interior	-	-	0,130	0,42	-	172
Estuque projetado	0,020	0,400	0,050		900	
Tijolo Cerâmico Furado	0,110	-	0,270		1400	
Isolamento XPS	0,050	0,037	1,351		-	
Caixa de Ar	0,020	-	0,180		-	
Tijolo Cerâmico Furado	0,110	-	0,270		-	
Reboco Tradicional	0,020	1,800	0,015		-	
Resistência Interior	-	-	0,130		-	

Tabela A 8 – Elementos constituintes da cobertura e resultado do coeficiente global de transferência de calor

Cobertura						
Elemento de Camada	e (m)	λ (W/m.K)	R (m².K/W)	U (W/m².K)	ρ (kg/m³)	Massa Total (kg/m²)
Resistência Interior	-	-	0,100	0,34	-	706
Estuque projetado	0,020	0,430	0,047		900	
Betão Armado	0,200	2,000	0,100		2300	
Camada de Forma	0,120	1,300	0,092		1800	
Tela de Impermeabilização em Betume	0,010	0,140	0,071		1200	
Isolamento XPS	0,090	0,037	2,432		-	
Betonilha de Regularização	0,020	1,300	0,015		-	
Resistência Exterior	-	-	0,040		-	

Tabela A 9 – Elementos constituintes do pavimento e resultado do coeficiente global de transferência de calor

Pavimento						
Elemento de Camada	e (m)	λ (W/m.K)	R (m².K/W)	U (W/m².K)	ρ (kg/m³)	Massa Total (kg/m²)
Resistência Interior	-	-	0,170	0,33	-	727
Revestimento	0,020	0,130	0,154		650	
Camada de Forma	0,130	1,300	0,100		1800	
Betão Armado	0,200	2,000	0,100		2400	
Isolamento XPS	0,090	0,037	2,432		-	
Reboco Tradicional	0,020	1,800	0,011		-	
Resistência Exterior	-	-	0,040		-	

Tabela A 10 – Elementos constituintes da parede interior e resultado do coeficiente global de transferência de calor

Parede Interior						
Elemento de Camada	e (m)	λ (W/m.K)	R (m².K/W)	U (W/m².K)	ρ (kg/m³)	Massa Total (kg/m²)
Resistência Interior	-	-	0,130	1,53	-	190
Estuque projetado	0,020	0,400	0,050		900	
Tijolo Cerâmico Furado	0,110	-	0,290		1400	
Estuque projetado	0,020	0,400	0,050		900	
Resistência Interior	-	-	0,130		-	

em que “e” é a espessura da camada, λ é a condutibilidade térmica, R é a resistência térmica calculada através da equação (2), U é o coeficiente global de transferência de calor calculado através da equação (1), ρ é a massa volúmica aparente seca e I_t é a inércia térmica interior. Os valores de λ e ρ são obtidos através da consulta ao ITE 50 [43].

A massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento, I_t , é calculada através da equação (42), em kg/m^2 , segundo o Despacho (extrato) nº 15793-K/2013,

$$I_t = \frac{\sum_i M_{S_i} \cdot r \cdot S_i}{A_p} \quad (42)$$

em que M_{S_i} corresponde à massa superficial útil do elemento “i” em kg/m^2 , r é o fator de redução da massa superficial útil e que de acordo com o mesmo Despacho toma o valor de 1, S_i é a área da superfície do elemento “i” em m^2 e A_p é a área útil de pavimento e que tem o valor de $264,9 \text{ m}^2$. Na Tabela A 11, retirada do Despacho anteriormente referido, encontra-se a classificação da inércia térmica.

Tabela A 11 – Classe de inércia térmica interior, I_t [33]

Classe de inércia térmica	I_t [kg/m^2]
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t > 400$

O cálculo da inércia térmica é apresentado na Tabela A 12.

Tabela A 12 – Cálculo da classe de inércia térmica

Elemento Construtivo	S_i (m^2)	Massa Total (kg/m^2)	M_{S_i} (kg/m^2)	r	$M_{S_i} \cdot r \cdot S_i$ (kg)
Parede Exterior	343,90	172,00	150,00	1,00	51585,51
Viga	15,47	618,00	150,00	1,00	2321,19
ENU	37,44	172,00	150,00	1,00	5616,00
Parede Interior	222,13	190,00	150,00	1,00	33319,50
Pavimento	269,40	727,00	150,00	1,00	40410,00
Cobertura	157,21	706,00	150,00	1,00	23581,50
$\sum_i M_{S_i} \cdot r \cdot S_i$					156833,70

De acordo com os valores apresentados na Tabela A 12 e aplicando a equação (42), obtém-se um valor de 592 kg/m^2 resultando numa classe de inércia térmica Forte.

Tabela A 13 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis de elementos opacos e de vãos envidraçados [24]

$U_{m\acute{a}x}$ [W/(m ² .°C)]		Zona climática		
Portugal Continental				
Zona corrente da envolvente:		A partir de 31 de dezembro 2015		
		I1	I2	I3
em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr}>0.7$	Elementos opacos verticais	0,50	0,40	0,35
	Elementos opacos horizontais	0,40	0,35	0,30
Vãos envidraçados (portas e janelas) (U_w)		2,80	2,40	2,20

Tabela A 14 – Fatores Solares máximos admissíveis de vãos envidraçados, g_{Tmax} [22]

$g_{Tm\acute{a}x}$	Zona climática		
Classe de Inércia	V1	V2	V3
Fraca	0,15	0,10	0,10
Média	0,56	0,56	0,50
Forte	0,56	0,56	0,50

Tendo em conta a classe de inércia Forte e a zona climática V3, o fator solar máximo admissível é de 0,5, conforme mostra a Tabela A 14, retirada da Portaria n.º 349-B/2013.



Coating 1	ANTELIO CLEAR
Pane 1	PLANICLEAR 6 mm
Cavity 1	10 ARGON 90%
Pane 2	PLANICLEAR 6 mm

Name : Jorge Mendes
Country : Portugal

Notes:

<p>LUMINOUS FACTORS EN410 (2011-04)</p> <p>Light Transmittance (TL) 42%</p> <p>Outdoor Reflectance (RLe) 34%</p> <p>Indoor Reflectance (RIi) 30%</p>	<p>ENERGY FACTORS EN410 (2011-04)</p> <p>Transmittance (TE) 47%</p> <p>Outdoor Reflectance (Ree) 28%</p> <p>Indoor Reflectance (REI) 24%</p> <p>Absorptance A1(AE1) 21%</p> <p>Absorptance A2 4%</p> <p>Absorptance A3</p>
<p>THERMAL TRANSMISSION EN673-2011</p> <p>Ug 2.7 W/(m² .K)</p> <p>∅ related to vertical position</p>	<p>SOLAR FACTORS EN410 (2011-04)</p> <p>Solar Factor (g) 52%</p> <p>Shading Coefficient (SC) 0.59</p>
<p>MANUFACTURING SIZES</p> <p>Nominal Thickness 22.00 mm</p> <p>Weight 30 kg/m²</p>	<p>COLOR RENDERING</p> <p>Ra Light Transmittance 93</p> <p>Ra Outdoor Reflectance 99</p>
<p>UV FACTORS EN410 (2011-04)</p> <p>TUV 18%</p>	<p>ANTI-BURGLARY EN356</p> <p>Burglar Resistance NPD</p>
<p>SAFETY CLASS EN 12600</p> <p>Pendulum Body Resistance NPD</p>	

These values are calculated according to EN410 (2011-04) and EN673-2011 standards, the international standard ISO 9050, the Japanese standard JIS R 3106/3107, the Korean standard KS L 2514/2525 and the NFRC-2010 standards. For European norms, tolerances are defined according to EN1096-4 standard. Nevertheless, user must check the feasibility of the combination of glazing, particularly in terms of thickness and color. Furthermore, it is the user's responsibility to check that the resulting combination of glazing meets regulatory requirements at national, local or regional level. Computed values standards are indicative. Please use NFRC certified software for certified values. Calculation rules for EN410 (2011-04), EN673-2011, ISO 9050 (2003) m1.5 and ISO 9050 (1990) m1.0 standards and functional output of Calumen Live use Calumen 1.2.4 calculation engine, and have been validated by TÜV Rheinland Quality Report 19423R-15-23705. Ug Values are calculated according to the French thermal regulation 2012 (RT2012). Acoustic indexes are representative of performances tested in laboratory conditions of a glazing of size 1.23x1.48m (EN ISO 10140-3 and EN 12758). In situ measurements may differ depending on the glazing size, environment, quality of the window frame, of the installation, source of noise, etc. The accuracy of the given indexes is in the range +/- 1dB (EN 12758). All glazing images are illustrative.



Figura A 1 – Vidro calculado através da ferramenta CalumenLive

Página deixada propositadamente em branco

Apêndice 4

**Parâmetros térmicos necessários para o cálculo da transferência de calor
por transmissão através da envolvente**

Tabela A 15 – Valores por defeito para os coeficientes de transmissão térmica lineares [28]

Tipo de ligação	ψ [W/(m.°C)]
Fachada com pavimentos térreos Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido Fachada com cobertura Fachada com pavimento de nível intermédio Fachada com varanda	0,70
Duas paredes verticais em ângulo saliente	0,50
Fachada com caixilharia Zona da caixa de estore	0,30

Tabela A 16 – Coeficiente de redução de perdas de espaços não úteis [33]

b_{tr}	$V_{enu} \leq 50m^3$		$50m^3 < V_{enu} \leq 200m^3$		$V_{enu} > 200m^3$	
	f	F	f	F	f	F
$A_i/A_u < 0,5$	1,0		1,0		1,0	
$0,5 \leq A_i/A_u < 1$	0,7	0,9	0,8	1,0	0,9	1,0
$1 \leq A_i/A_u < 2$	0,6	0,8	0,7	0,9	0,8	1,0
$2 \leq A_i/A_u < 4$	0,4	0,7	0,5	0,9	0,6	0,9
$A_i/A_u \geq 4$	0,3	0,5	0,4	0,8	0,4	0,8

onde A_i é o somatório das áreas dos elementos que separam o espaço interior útil do espaço não útil, A_u é o somatório das áreas dos elementos que separam o espaço não útil do ambiente exterior, V_{enu} é o volume do espaço não útil, f representa espaço não útil que tem todas as ligações entre elementos bem vedadas, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas e F representa espaço útil permeável ao ar devido à presença de ligações e aberturas de ventilação permanentemente abertas.

É de notar que os espaços não úteis considerados são espaços que têm paredes interiores comuns com espaços úteis, nomeadamente a lavandaria e a área técnica no piso 0. Foi considerado que os espaços não úteis tinham as ligações entre elementos bem vedadas que corresponde à coluna f da Tabela A 17. O valor de b_{tr} toma o valor unitário quando o espaço não útil é fortemente ventilado que é o caso da área técnica.

Tabela A 17 – Valores obtidos para o coeficiente de redução de perdas

Piso	Espaço	Área (m²)	Altura (m)	V_{enu} (m³)	A_i (m²)	A_u (m²)	A_i/A_u	b_{tr}
0	14 Lavandaria	5,00	2,40	12,0	11,52	3,12	3,69	0,40
0	Área Técnica	7,65	2,40	18,4	-	-	-	1,00

Página deixada propositadamente em branco

Apêndice 5
Cálculo do Ar Novo através da Aplicação do LNEC


 LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL	Aplicação LNEC Ventilação REH e RECS		Aplicação desenvolvida por: Armando Pinto apinto@lnecc.pt	
			Ferramenta de cálculo citada no n.º3, do ponto 12.1, do despacho n.º 15793-K/2013. Pinto, A. - Aplicação LNEC para Ventilação no âmbito do REH e RECS. Lisboa, LNEC, 2014. v2 Da, 2014-02-12	
1. Enquadramento do edifício				
Tipo de edifício	Habitação_novo_ou_grande_reabilitação	Área útil (m ²):	264,9	
Local (município)	SEIXAL	Pd (m):	2,75	
Região	A	N.º de pisos da fração	3	
Rugosidade	1	Velocidade vento	Defeito REH	
Altitude do local (m)	47	Vento (u10REH: 3,6) (m/s)		
Número de fachadas expostas ao exterior (Nfach)	2 ou mais	Vol (m ³):	728	
Existem edifícios/obstáculos à frente das fachadas?	Não	Temper (°C)	10,7	
Altura do edifício (H _{edif}) em m	6,6	Zref (m)	47	
Altura da fração (H _{fr}) em m	6,6	Aenw/Au:	18%	
		Proteção do edifício:	Desprotegido	
		Zona da fachada:	Inferior	
2. Permeabilidade ao ar da envolvente				
Foi medido valor n50	Não			
Para cada Vão (janela/porta) ou grupo de vãos:				
Área dos vãos (m ²)	47,5	0	0	0
Classe de permeabilidade ao ar caix (janelas/portas)	2	4	4	4
Permeabilidade ao ar das caixas de estore	Não tem	Não tem	Não tem	Não tem
3. Aberturas de admissão de ar na envolvente				
Tem aberturas de admissão de ar na envolvente	Sim			
Tipo de abertura	Fixa ou regulável manualmente	Auto-regulável a 2 Pa	Auto-regulável a 10 Pa	Auto-regulável a 20 Pa
Área livre das aberturas fixas (cm ²) / Caudal Nominal aberturas auto-reguláveis (m ³ /h)	950	0	0	0
4. Conduitas de ventilação natural, onduitas com exaustores/ventax que não obturam o escoamento de ar pela onduita				
Conduitas de ventilação natural sem obstruções significativas (por exemplo, consideram-se obstruções significativas exaustores com filtros que anulam escoamento de ar natural para a conduta)	Não	Não	Não	Não
Escoamento de ar				
Perda de carga				
Altura da conduta (m)				
Cobertura				
Número de condutas semelhantes				
6. Exaustão ou Insuflação por meios mecânicos de funcionamento prolongado				
Existem meios mecânicos (excluindo exaustores ou ventax)	Não			
Escoamento de ar				
Caudal nominal (m ³ /h)				
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento				
Pressão total (Pa)				
Rendimento total do ventilador(%)				
Tem sistema de recuperação de calor				
Rendimento da recuperação de calor (%)				
8. Exaustão ou Insuflação por meios híbridos de baixa pressão (< 20 Pa)				
Existem meios híbridos	Não			
Escoamento de ar				
Caudal nominal (m ³ /h)				
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento				
Pressão total (Pa)				
Rendimento total do ventilador(%)				
7. Verão - Recuperador de calor				
Existe by-pass ao recuperador de calor no verão				
8. Resultados				
8.1 - Balanço de Energia - Edifício				
R _{pej} (h-1) - Aquecimento	0,51			
R _{pej} (h-1) - Arrefecimento	0,60			
W _{em} (kWh)	0,0			
8.2 - Balanço de Energia - Edifício de Referência				
R _{pej REF} (h-1)	0,51			
8.3 - Caudal mínimo de ventilação				
R _{ph} estimada em condições nominais (h-1)	0,40			
Requisito mínimo de ventilação (h-1)	0,40			
Crítério R _{ph} mínimo	Satisfatório			
<small>Note: No cálculo de R_{ph} min em edifícios novos e grandes reabilitações não é considerado o efeito de janelas sem classificação, da classe 1 e 2 e a existência de caixas de estore.</small>				
				Técnico: Jorge Mendes
				Data: 19/09/2020

Figura A 2 – Características do sistema split

Apêndice 6

**Parâmetros térmicos necessários para o cálculo dos ganhos térmicos
solares na estação de aquecimento e arrefecimento**

O cálculo do fator de obstrução dos vãos envidraçados, F_s , é feito através da metodologia descrita no Despacho (extrato) nº 15793-K/2013 e calcula-se através da equação (43),

$$F_s = F_h \cdot F_o \cdot F_f \quad (43)$$

onde F_h é o fator de sombreamento do horizonte por obstruções exteriores ao edifício ou por outros elementos do edifício, F_o é o fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, compreendendo palas e varandas e, por último, o F_f é o fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado, compreendendo palas verticais, outros corpos ou partes de um edifício. É de notar que em nenhum caso o produto $F_s \cdot X_j$ deve ser inferior a 0,27.

Tabela A 18 – Fator de orientação para as diferentes exposições, X_j [33]

Orientação do vão (j)	N	NE/NW	S	SE/SW	E/W	H
X_j	0,27	0,33	1	0,84	0,56	0,89

Tabela A 19 – Fração envidraçada, F_g [33]

Caixilharia	F_g	
	Sem quadrícula	Com quadrícula
Alumínio ou aço	0,70	0,60
Madeira ou PVC	0,65	0,57
Fachada-cortina de alumínio ou aço	0,90	-

- Aquecimento

Tabela A 20 – Valores do fator de sombreamento do horizonte, F_h , na estação de aquecimento [33]

Ângulo do horizonte	Portugal Continental e RAA Latitude de 39°						RAM Latitude de 33°					
	H	N	NE/ NW	E/W	SE/ SW	S	H	N	NE/ NW	E/W	SE/ SW	S
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10°	0,99	1	0,96	0,94	0,96	0,97	1	1	0,96	0,96	0,97	0,98
20°	0,95	1	0,96	0,84	0,88	0,90	0,96	1	0,91	0,87	0,90	0,93
30°	0,82	1	0,85	0,71	0,68	0,67	0,88	1	0,85	0,75	0,77	0,80
40°	0,67	1	0,81	0,61	0,52	0,50	0,71	1	0,81	0,64	0,59	0,58
45°	0,62	1	0,80	0,58	0,48	0,45	0,64	1	0,80	0,60	0,53	0,51

Tabela A 21 – Valores dos fatores de sombreamento de elementos horizontais, F_o , na estação de aquecimento [33]

Ângulo da pala horizontal	Portugal Continental e RAA Latitude de 39°					RAM Latitude de 33°				
	N	NE/ NW	E/W	SE/ SW	S	N	NE/ NW	E/W	SE /SW	S
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30°	1	0,94	0,84	0,76	0,73	1	0,92	0,82	0,68	0,45
45°	1	0,90	0,74	0,63	0,59	1	0,88	0,72	0,60	0,56
60°	1	0,85	0,64	0,49	0,44	1	0,83	0,62	0,48	0,43

Tabela A 22 – Valores dos fatores de sombreamento de elementos verticais, F_f , na estação de aquecimento [33]

Posição da pala	Ângulo	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Pala à esquerda	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	1	1	0,97	0,93	0,91	0,87	0,89
	45°	1	1	1	0,95	0,88	0,86	0,8	0,84
	60°	1	1	1	0,91	0,83	0,79	0,72	0,8
Pala à direita	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	0,89	0,87	0,91	0,93	0,97	1	1
	45°	1	0,84	0,8	0,86	0,88	0,95	1	1
	60°	1	0,8	0,72	0,79	0,83	0,91	1	1

Tabela A 23 – Cálculo do fator de obstrução dos vãos envidraçados, F_s , na estação de aquecimento

Orientação	F_h	F_o	F_f	F_s	X_j	$F_s \cdot X_j$	F_s
SW	0,48	1,00	0,72	0,35	0,84	0,29	0,35
	0,48	1,00	1,00	0,48	0,84	0,40	0,48
	0,48	0,49	0,91	0,21	0,84	0,18	0,27
	0,48	1,00	0,91	0,44	0,84	0,37	0,44
	0,48	1,00	1,00	0,48	0,84	0,40	0,48
	0,48	1,00	0,91	0,44	0,84	0,37	0,44
SE	0,48	0,49	0,79	0,19	0,84	0,16	0,27
	0,48	1,00	0,79	0,38	0,84	0,32	0,38
	0,48	1,00	0,79	0,38	0,84	0,32	0,38
	0,48	1,00	0,91	0,44	0,84	0,37	0,44
NE	0,80	0,85	1,00	0,68	0,33	0,22	0,27
	0,80	1,00	1,00	0,80	0,33	0,26	0,27
	0,80	1,00	1,00	0,80	0,33	0,26	0,27
	0,80	1,00	1,00	0,80	0,33	0,26	0,27
NW	0,80	1,00	1,00	0,80	0,33	0,26	0,27

Tabela A 24 – Valores obtidos para o cálculo da equação (16), tendo em conta a orientação dos vãos envidraçados e com $F_w=0,9$; $g_{\perp,vi}=0,52$; $g_i=0,468$; $F_g=0,7$; $G_{sul}=145 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{mês})$ e $M=4,7$ meses

Orientação	A_w total (m^2)	$A_{s,i}$ (m^2)	X_j	F_s	$X_j \cdot F_{s,i} \cdot A_{s,i}$ (m^2)
SW	8,00	2,62	0,84	0,35	0,76
	3,20	1,05	0,84	0,48	0,42
	3,20	1,05	0,84	0,27	0,24
	3,20	1,05	0,84	0,44	0,38
	1,60	0,52	0,84	0,48	0,21
	3,20	1,05	0,84	0,44	0,38
SE	9,60	3,14	0,84	0,27	0,71
	3,20	1,05	0,84	0,38	0,33
	1,60	0,52	0,84	0,38	0,17
	1,60	0,52	0,84	0,44	0,19
NE	3,20	1,05	0,33	0,27	0,09
	3,20	1,05	0,33	0,27	0,09
	3,20	1,05	0,33	0,27	0,09
	1,60	0,52	0,33	0,27	0,05
NW	1,60	0,52	0,33	0,27	0,05
Somatório					4,18
$Q_{sol,i}$ (kWh)					2849,23

- Arrefecimento

O fator de sombreamento do horizonte, F_h , na estação de arrefecimento é desprezado, tomando o valor igual a 1 [33].

Tabela A 25 – Valores dos fatores de sombreamento de elementos, F_o , na estação de arrefecimento [33]

Ângulo da pala horizontal	Portugal Continental e RAA Latitude de 39°					RAM Latitude de 33°				
	N	NE/ NW	E/W	SE/ SW	S	N	NE/ NW	E/W	SE /SW	S
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30°	0,98	0,86	0,75	0,68	0,63	0,97	0,84	0,74	0,69	0,68
45°	0,97	0,78	0,64	0,57	0,55	0,95	0,76	0,63	0,60	0,62
60°	0,94	0,70	0,55	0,50	0,52	0,92	0,68	0,55	0,54	0,60

Tabela A 26 – Valores dos fatores de sombreamento de elementos verticais, F_f , na estação de arrefecimento [33]

Tabela 19 - Valores dos fatores de sombreamento de elementos verticais F_f na estação de arrefecimento

Posição da pala	Ângulo	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Pala à esquerda	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	1	0,96	0,91	0,91	0,96	0,95	0,86
	45°	1	1	0,96	0,85	0,87	0,95	0,93	0,78
	60°	1	1	0,95	0,77	0,84	0,93	0,88	0,69
Pala à direita	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	0,86	0,95	0,96	0,91	0,91	0,96	1
	45°	1	0,78	0,93	0,95	0,87	0,85	0,96	1
	60°	1	0,69	0,88	0,93	0,84	0,77	0,95	1

Tabela A 27 – Cálculo do fator de obstrução dos vãos envidraçados, F_s , na estação de arrefecimento

Orientação	F_o	F_f	F_s	X_j	$F_s \cdot X_j$	F_s
SW	1,00	0,72	0,72	0,84	0,60	0,72
	1,00	1,00	1,00	0,84	0,84	1,00
	0,50	0,77	0,39	0,84	0,32	0,39
	1,00	0,77	0,77	0,84	0,65	0,77
	1,00	1,00	1,00	0,84	0,84	1,00
	1,00	0,77	0,77	0,84	0,65	0,77
SE	0,50	0,84	0,42	0,84	0,35	0,42
	0,50	0,84	0,42	0,84	0,35	0,42
	1,00	0,84	0,84	0,84	0,71	0,84
	1,00	0,84	0,84	0,84	0,71	0,84
NE	0,70	1,00	0,70	0,33	0,23	0,70
	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33	1,00
	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33	1,00
	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33	1,00
NW	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33	1,00

Tabela A 28 – Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação convencional de arrefecimento [29]

	z REF m	$\theta_{ext,v}$		I_{sol}								
		REF	α	kWh/m ² acumulados de junho a setembro								
		°C	°C/km	0°	90° N	90° NE	90° E	90° SE	90° S	90° SW	90° W	90° NW
Grande Lisboa	109	21,7	-10	840	225	365	500	495	410	495	500	365
Península de Setúbal	47	22,8	-5	845	225	365	505	495	410	495	505	365
Alto Alentejo	246	24,5	0	845	225	365	505	500	415	500	505	365
Alentejo Central	221	24,3	0	850	225	370	510	500	415	500	510	370
Alentejo Litoral	88	22,2	0	850	225	365	510	495	405	495	510	365
Baixo Alentejo	178	24,7	0	855	225	370	510	495	405	495	510	370
Algarve	145	23,1	0	865	225	375	515	500	405	500	515	375
R.A. Açores	10	21,3	-6	640	195	285	375	375	235	375	375	285
R.A. Madeira	380	20,2	-6	580	195	260	325	320	280	320	325	260

Tabela A 29 – Coeficiente de absorção da radiação solar, α [33]

Cor	α
Clara (branco, creme, amarelo, laranja, vermelho-claro)	0,4
Média (vermelho-escuro, verde-claro, azul claro)	0,5
Escura (castanho, verde-escuro, azul-vivo, azul-escuro)	0,8

Tabela A 30 – Resultado dos ganhos térmicos solares devido à radiação incidente na envolvente opaca, através da equação (27), com $\alpha=0,4$ e $R_{se}=0,04$ m².°C/W.

Orientação	A_{op} (m ²)	U (W/m ²)	$A_{s,v}$ (m ²)	I_{sol} (kWh/m ²)	$I_{sol} \cdot A_{s,v}$ (kWh)
SW	60,52	0,43	0,42	495	206,10
SE	37,14	0,43	0,26	495	126,47
NE	37,71	0,43	0,26	365	94,69
NW	39,26	0,43	0,27	365	98,60
H	157,21	0,34	0,86	845	722,66
$Q_{sol,envolvente opaca}$					1248,52

Tabela A 31 – Fração de tempo em que os dispositivos móveis se encontram ativados, F_{mv} [33]

Orientação do vão	N	NE/NW	S	SE/SW	E/W	H
F_{mv}	0	0,4	0,6	0,7	0,6	0,9

O valor do fator solar global para vidro duplo, g_T , é calculado segundo o Despacho (extrato) nº 15793-K/2013 através da equação (44)

$$g_T = g_{\perp,vi} \cdot \prod_i \frac{g_{Tvc}}{0,75} \quad (44)$$

onde $g_{\perp,vi}$ é o fator solar do vidro para uma incidência solar normal ao vão e é o mesmo que foi anteriormente considerado para a estação de aquecimento (0,52) e g_{Tvc} é o fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e um dispositivo de proteção solar, permanente, ou móvel totalmente ativada, para uma incidência solar normal à superfície e toma o valor de 0,03 segundo o Despacho referido, considerando que o vidro é duplo e possui portadas de madeira com cor branca (clara). Desta forma, segundo a equação (44) o valor de g_T a considerar é de 0,0208.

Tabela A 32 – Resultados obtidos para o fator solar do vidro na estação de arrefecimento, g_v , segundo a equação (29)

F_{mv}	g_T	g_{Tp}	g_v
0,7000	0,0208	0,4680	0,1500

Tabela A 33 – Resultado dos ganhos térmicos solares devido à radiação incidente na envolvente envidraçada, através da equação (28), com $g_v=0,15$; $F_g=0,7$;

Orientação	A_w total (m²)	$A_{s,i}$ (m²)	I_{sol} (kWh/m²)	F_s	$I_{sol} \cdot A_w \cdot F_g \cdot g_v \cdot F_s$ (kWh)
SW	8,00	2,62	495	0,72	307,60
	3,20	1,05	495	1,00	171,82
	3,20	1,05	495	0,39	66,15
	3,20	1,05	495	0,77	132,30
	1,60	0,52	495	1,00	85,91
	3,20	1,05	495	0,77	132,30
SE	9,60	3,14	495	0,42	216,49
	3,20	1,05	495	0,42	72,16
	1,60	0,52	495	0,84	72,16
	1,60	0,52	495	0,84	72,16
NE	3,20	1,05	365	0,70	88,69
	3,20	1,05	365	1,00	126,70
	3,20	1,05	365	1,00	126,70
	1,60	0,52	365	1,00	63,35
NW	1,60	0,52	365	1,00	63,35
Somatório					1797,84
$Q_{sol,envolvente\ envidraçada}$					3046,36

Apêndice 7

Fator de utilização de ganhos na estação de aquecimento e arrefecimento

Os fatores de utilização de ganhos são calculados da mesma forma para a estação de aquecimento (η_i) e arrefecimento (η_v), de acordo com as seguintes condições impostas pelo Despacho (extrato) nº 15793-K/2013:

- Se $\gamma \neq 1$ e $\gamma > 0$

$$\eta = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \quad (45)$$

- Se $\gamma = 1$

$$\eta = \frac{a}{a + 1} \quad (46)$$

- Se $\gamma < 0$

$$\eta = \frac{1}{\gamma} \quad (47)$$

onde o parâmetro “a” traduz a influência da classe de inércia térmica e que toma o valor de 4,2 W/°C, segundo o Despacho anteriormente referido e considerando que o edifício tem uma classe de inércia térmica forte. O parâmetro γ é obtido através da equação (48),

$$\gamma = \frac{Q_g}{Q_{tr} + Q_{ve}} \quad (48)$$

em que Q_{tr} representa a transferência de calor por transmissão através da envolvente do edifício na estação em estudo em kWh, Q_{ve} representa a transferência de calor por ventilação na estação em estudo em kWh e por fim Q_g representa os ganhos térmicos brutos na estação em estudo em kWh.

Tabela A 34 – Resultado obtido para o fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento (η_i)

$Q_{tr,i}$ (kWh)	$Q_{ve,i}$ (kWh)	$Q_{g,i}$ (kWh)	γ	a	η_i
13.372,17	2.491,87	6.434,92	0,41	4,20	0,99

Tabela A 35 – Resultado obtido para o fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento (η_v)

$Q_{tr,v}$ (kWh)	$Q_{ve,v}$ (kWh)	$Q_{g,v}$ (kWh)	γ	a	η_v
3.424,70	957,28	6.148,87	1,40	4,20	0,65

Apêndice 8

**Coeficientes de transmissão térmica superficial de referência e coeficientes
de transmissão térmica linear de referência**

Tabela A 36 – Coeficientes de transmissão térmica superficial de referência [24]

Elemento construtivo	Valor de referência U_{ref} (W/m².°C)
Parede Exterior	0,50
Cobertura Exterior	0,40
Pavimento	0,40
Pilar/viga	0,90
Parede interior em contacto com ENU	0,50
Elementos em contacto com o solo	0,50
Vão envidraçado	2,80

Tabela A 37 – Coeficientes de transmissão térmica linear de referência, ψ_{ref} [22]

Tipo de ligação	ψ_{ref} [W/(m.°C)]
Fachada com pavimentos térreos Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido Fachada com cobertura Fachada com pavimento de nível intermédio ⁽¹⁾ Fachada com varanda ⁽¹⁾	0,50
Duas paredes verticais em ângulo saliente	0,40
Fachada com caixilharia Zona da caixa de estore	0,20

Apêndice 9

Fator de utilização de ganhos de referência na estação de arrefecimento

O fator de utilização de ganhos ($\eta_{v,ref}$) é calculado de acordo com as seguintes condições impostas pela Portaria n.º 349-B/2013:

- Se $\Delta\theta > 1$

$$\eta_{v,ref} = 0,52 + 0,22 \cdot \ln\Delta\theta \quad (49)$$

- Se $0 < \Delta\theta \leq 1$

$$\eta_{v,ref} = 0,45 \quad (50)$$

- Se $\Delta\theta \leq 0$

$$\eta_{v,ref} = 0,30 \quad (51)$$

sendo que $\Delta\theta$ é calculado de acordo com a equação (52), segundo a mesma Portaria,

$$\Delta\theta = \theta_{ref,v} - \theta_{ext,v} \quad (52)$$

onde $\theta_{ref,v}$ é a temperatura interior de referência na estação de arrefecimento e toma o valor de 25 °C, de acordo com a Portaria referida anteriormente, e $\theta_{ext,v}$ tem o valor de 22,8 °C conforme mencionado no subcapítulo 4.3.1. Assim, $\Delta\theta$ é igual a 2,2 °C e aplicando a equação (49), obtém-se o valor de 0,69 para $\eta_{v,ref}$.

Apêndice 10
Resultados obtidos pelo HAP e SolTerm

Air System Sizing Summary for SPLIT 11 Sala Estar		
Project Name: TFM_FINAL_Morada Quinta Pinhão		09/20/2020
Prepared by: DIMENSIONAR		03:00

Air System Information

Air System Name	SPLIT 11 Sala Estar	Number of zones	1
Equipment Class	SPLT AHU	Floor Area	36,2 m ²
Air System Type	SZCAV	Location	Seixal, Qta Pinhão, Portugal

Sizing Calculation Information

Calculation Months	Jan to Dec	Zone L/s Sizing	Sum of space airflow rates
Sizing Data	Calculated	Space L/s Sizing	Individual peak space loads

Central Cooling Coil Sizing Data

Total coil load	1,3 kW	Load occurs at	Jul 1700
Sensible coil load	1,2 kW	OA DB / WB	32,1 / 21,2 °C
Coil L/s at Jul 1700	186 L/s	Entering DB / WB	24,7 / 20,6 °C
Max block L/s	186 L/s	Leaving DB / WB	19,1 / 18,7 °C
Sum of peak zone L/s	186 L/s	Coil ADP	18,5 °C
Sensible heat ratio	0,923	Bypass Factor	0,100
L/s kW)	138,6	Resulting RH	70 %
m ² /kW	27,0	Design supply temp.	18,0 °C
W/m ²	37,0	Zone T-stat Check	1 of 1 OK
Water flow @ 5,0 K rise	N/A	Max zone temperature deviation	0,0 K

Central Heating Coil Sizing Data

Max coil load	1,5 kW	Load occurs at	Des Htg
Coil L/s at Des Htg	186 L/s	W/m ²	41,2
Max coil L/s	186 L/s	Ent. DB / Lvg DB	21,4 / 28,1 °C
Water flow @ 5,0 K drop	N/A		

Supply Fan Sizing Data

Actual max L/s	186 L/s	Fan motor BHP	0,03 BHP
Standard L/s	185 L/s	Fan motor kW	0,02 kW
Actual max L/(s·m ²)	5,13 L/(s·m ²)		

Outdoor Ventilation Air Data

Design airflow L/s	0 L/s	L/s/person	0,00 L/s/person
L/(s·m ²)	0,00 L/(s·m ²)		

Figura A 3 – Resultados apresentados pelo HAP da carga térmica na Sala de Estar

1. Annual Coil Loads

Component	Load (kWh)	(kWh/m ²)
Cooling Coil Loads	2 180	8,219
Heating Coil Loads	10 210	38,499
Grand Total	12 389	46,718

2. Energy Consumption by Energy Source

Component	Site Energy (kWh)	Site Energy (kWh/m ²)	Source Energy (kWh)	Source Energy (kWh/m ²)
HVAC Components				
Electric	4 418	16,659	11 045	41,647
Natural Gas	0	0,000	0	0,000
Fuel Oil	0	0,000	0	0,000
Propane	0	0,000	0	0,000
Remote Hot Water	0	0,000	0	0,000
Remote Steam	0	0,000	0	0,000
Remote Chilled Water	0	0,000	0	0,000
HVAC Sub-Total	4 418	16,659	11 045	41,647
Non-HVAC Components				
Electric	4 726	17,820	11 815	44,551
Natural Gas	0	0,000	0	0,000
Fuel Oil	0	0,000	0	0,000
Propane	0	0,000	0	0,000
Remote Hot Water	0	0,000	0	0,000
Remote Steam	0	0,000	0	0,000
Non-HVAC Sub-Total	4 726	17,820	11 815	44,551
Grand Total	9 144	34,479	22 860	86,197

Notes:

- 'Cooling Coil Loads' is the sum of all air system cooling coil loads.
- 'Heating Coil Loads' is the sum of all air system heating coil loads.
- Site Energy is the actual energy consumed.
- Source Energy is the site energy divided by the electric generating efficiency (40,0%).
- Source Energy for fuels equals the site energy value.
- Energy per unit floor area is based on the gross building floor area.
 Gross Floor Area 265,2 m²
 Conditioned Floor Area 265,2 m²

Figura A 4 – Resultados da simulação energética apresentados pelo HAP

- **Resultados do sistema solar térmico para AQS**

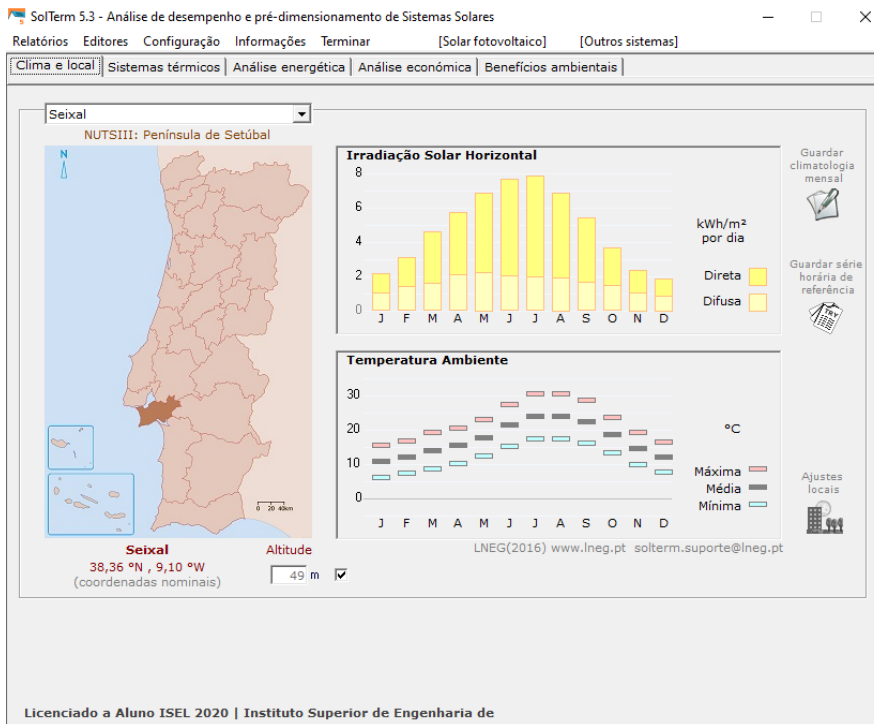


Figura A 5 – Clima e local apresentado pelo SolTerm

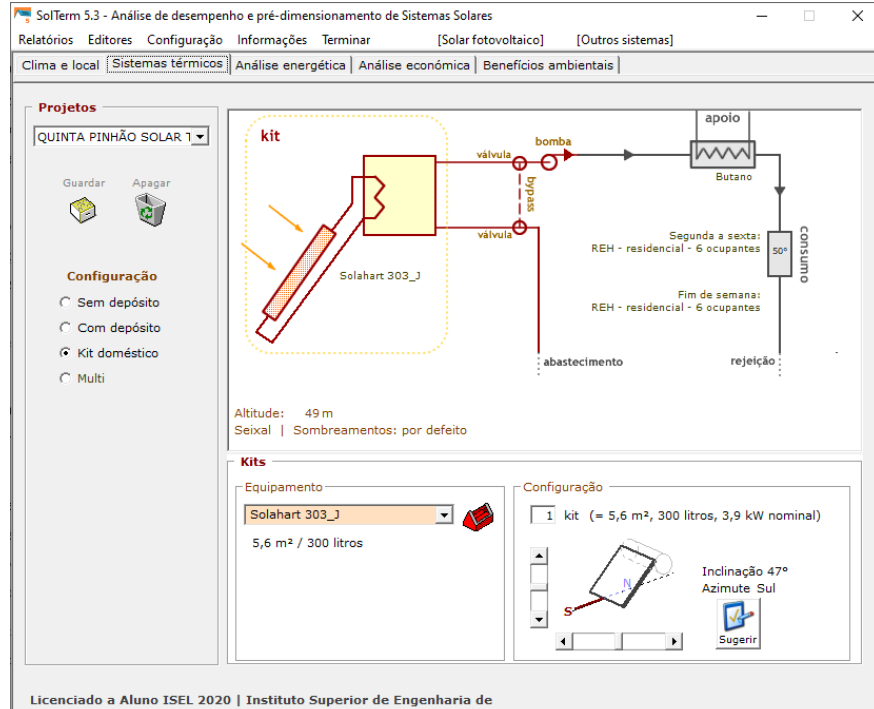


Figura A 6 – Sistema solar térmico termosifão utilizado no SolTerm

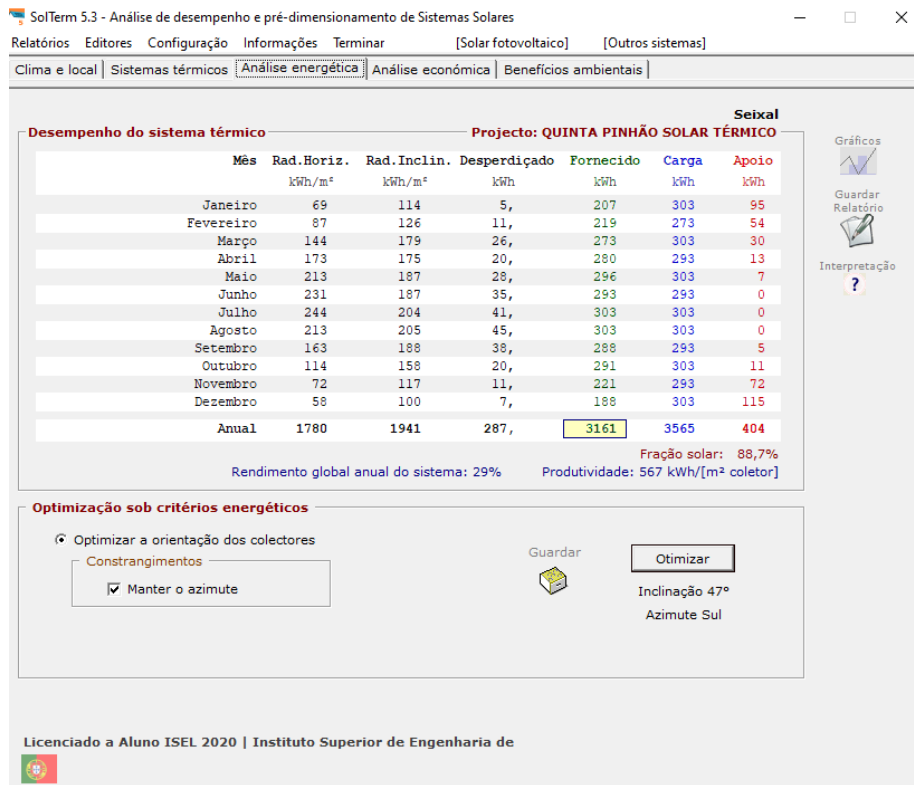


Figura A 7 – Resultados do sistema solar térmico apresentados pelo SolTerm

- **Resultados do sistema solar fotovoltaico para a solução 1**

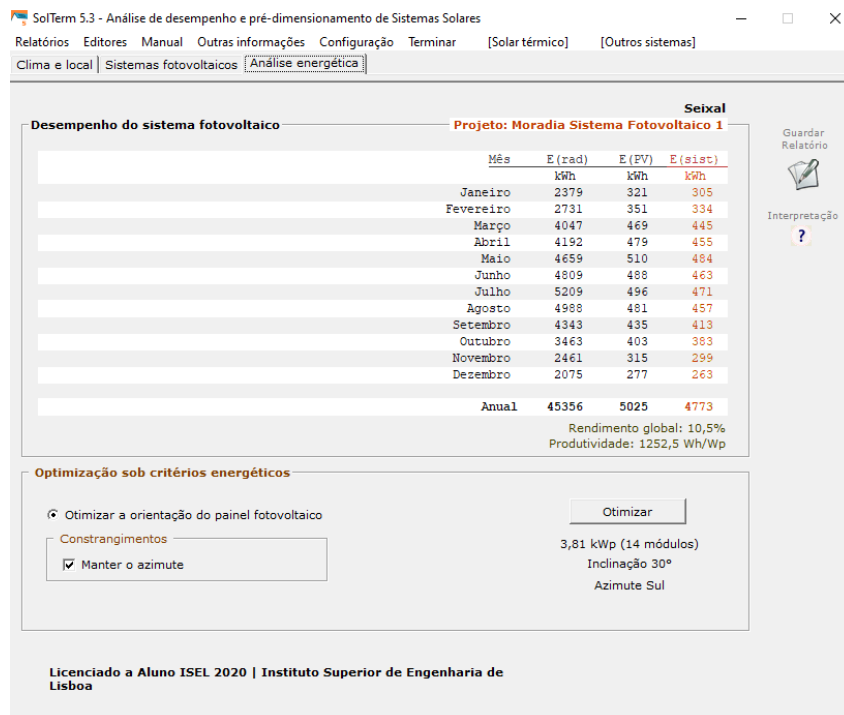


Figura A 8 – Resultados do sistema solar fotovoltaico na solução 1 apresentados pelo SolTerm

- **Resultados do sistema solar fotovoltaico para a solução 2**

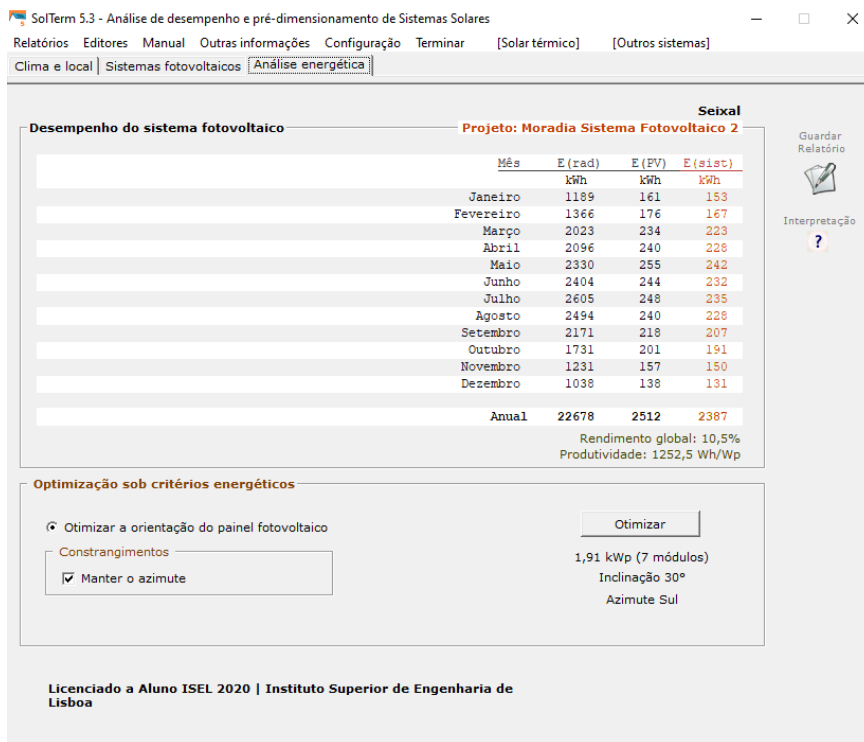


Figura A 9 – Resultados do sistema solar fotovoltaico na solução 2 apresentados pelo SolTerm

- **Resultados do sistema solar fotovoltaico para a solução 3**

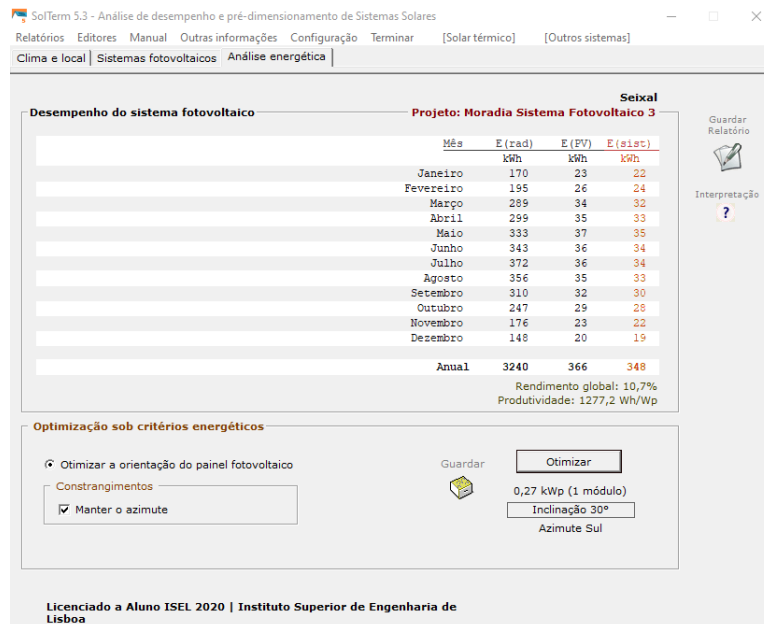


Figura A 10 – Resultados do sistema solar fotovoltaico na solução 3 apresentados pelo SolTerm

Apêndice 11

Características Painel Solar Térmico e Fotovoltaico

SERIE DE EQUIPOS TERMOSIFÓN



MODELO		151 J/K	181 J/K	182 J/K	221 J/K	302 J/K	303 J/K	443 J/K	444 J/K
CAPACIDAD DE TANQUE		150 Lts	180 Lts	180 lts	220 lts	300 lts	300 lts	440 lts	440 lts
PESO CAPTADOR	vacio	40 kg	40 kg	40 kg	40 kg	40 kg	40 kg	40 kg	40 kg
	lleno	43,8 kg	43,8 kg	43,8 kg	43,8 kg	43,8 kg	43,8 kg	43,8 kg	43,8 kg
PESO TANQUE	vacio	45,5 kg	59 kg	59 kg	72 kg	84 kg	84 kg	106 kg	106 kg
	lleno	195 kg	240 kg	240 kg	292 kg	384 kg	384 kg	546 kg	546 kg
DIMENSIONES DEL TANQUE	longitud	1271 mm	1485 mm	1485 mm	1760 mm	2310 mm	2310 mm	3285 mm	3285 mm
	anchura	510 mm	510 mm	510 mm	510 mm	510 mm	510 mm	510 mm	510 mm
	altura	510 mm	510 mm	510 mm	510 mm	510 mm	510 mm	510 mm	510 mm
DIMENSIONES DEL CAPTADOR	longitud	1X1940 mm	1X1940 mm	2X1940 mm	1X1940 mm	2X1940 mm	3X1940 mm	3X1940 mm	4X1940 mm
	anchura	1X1025 mm	1X1025 mm	2X1025 mm	1X1025 mm	2X1025 mm	3X1025 mm	3X1025 mm	4X1025 mm
	altura	1X80 mm	1X80 mm	1X80 mm	1X80 mm	1X80 mm	1X80 mm	1X80 mm	1X80 mm

CARCASA		
TIPO	-	Bandeja completa AL
MATERIAL	-	Aluminio marino
ESPESOR	mm	0,7
DRENAJE/ VENTILACIÓN	mm	Orificios traseros Ø - 4

RACORES DE UNIÓN		
TIPO	-	Unión cónica
Ø EXTERIOR UNIÓN	mm	18
LONGITUD UNIÓN	mm	3/4"
DISTANCIA ENTRE CAPTADORES	mm	50

ABSORBEDOR		
TIPO	-	Configuración "multiflow"
NÚMERO DE CANALES	-	35
Ø COLECTOR SUPERIOR	mm	25
PRESIÓN MÁXIMA	bar	3
ÁREA ÚTIL	m ²	1,95
PÉRDIDAS DE CARGA	mm.c.a	10 (a T ^º amby 2l/min)

AISLAMIENTO		
MATERIAL	-	Lana de roca
ESPESOR (TRASERO / LATERAL)	mm	55/13
DENSIDAD (TRASERO / LATERAL)	Kg/m ³	10/23
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	W/m °C	0,059

VÁLVULA ENTRADA DE AGUA FRÍA	Limitación	700 Kpa
	Expansión	850 Kpa
VÁLVULA	Presión	1000 Kpa
	Temperatura	95°C
PRESIÓN PRUEBA DE FÁBRICA	Tanque	2100 Kpa
	Captador	450 Kpa
VÁLVULA CIRCUITO PRIMARIO (KPA)		200
CAPACIDAD CIRCUITO PRIMARIO (L)		10,7

Los equipos compactos Solahart (circulación por termosifón), incluyen todos los elementos necesarios para su instalación sobre cubierta inclinada de teja, pizarra, etc., así como ánodo de magnesio, tres válvulas de seguridad, válvula de retención y fluido del circuito primario HARTGARD. Cinco años de garantía contra cualquier defecto de fabricación para captadores solares e interacumulador. Un año de garantía resto de componentes. Garantía instalación por cuenta del instalador.

Figura A 11 – Características do sistema solar térmico

Sunmodule Plus SW 260 - 270 mono



PERFORMANCE UNDER STANDARD TEST CONDITIONS (STC)*

		SW 260	SW 265	SW 270
Maximum power	P_{max}	260 Wp	265 Wp	270 Wp
Open circuit voltage	U_{oc}	38.9 V	39.0 V	39.2 V
Maximum power point voltage	U_{mp}	30.7 V	30.8 V	30.9 V
Short circuit current	I_{sc}	9.18 A	9.31 A	9.44 A
Maximum power point current	I_{mp}	8.56 A	8.69 A	8.81 A
Module efficiency	η_m	15.51 %	15.81 %	16.1 %

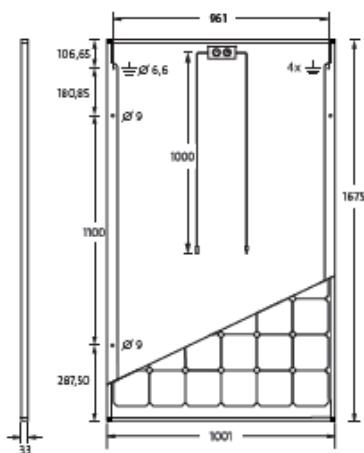
Measuring tolerance (P_{max}) traceable to TUV Rheinland: +/- 2% (TUV Power controlled)

*STC: 1000W/m², 25°C, AM 1.5

PERFORMANCE AT 800 W/m², NOCT, AM 1.5

		SW 260	SW 265	SW 270
Maximum power	P_{max}	194.2 Wp	197.8 Wp	201.3 Wp
Open circuit voltage	U_{oc}	35.6 V	35.7 V	35.9 V
Maximum power point voltage	U_{mp}	28.1 V	28.2 V	28.3 V
Short circuit current	I_{sc}	7.42 A	7.53 A	7.63 A
Maximum power point current	I_{mp}	6.92 A	7.02 A	7.12 A

Minor reduction in efficiency under partial load conditions at 25°C: at 200 W/m², 100% (+/-2%) of the STC efficiency (1000 W/m²) is achieved.



DIMENSIONS

Length	1675 mm
Width	1001 mm
Height	33 mm
Frame	Clear anodized aluminum
Weight	78.0 kg

THERMAL CHARACTERISTICS

NOCT	46 °C
TC I_{sc}	0.040 %/K
TC U_{oc}	-0.30 %/K
TC P_{max}	-0.41 %/K

COMPONENT MATERIALS

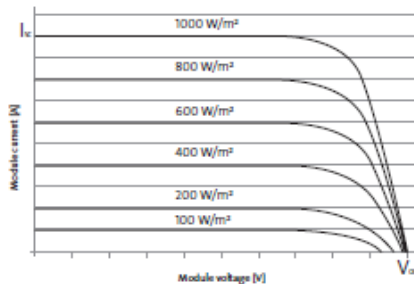
Cells per module	60
Cell type	Mono crystalline
Cell dimensions	156 mm x 156 mm
Front	tempered glass (EN 12150)

ADDITIONAL DATA

Power sorting	-0 Wp / +5 Wp
J-Box	IP65
Connector	HH

PARAMETERS FOR OPTIMAL SYSTEM INTEGRATION

Maximum system voltage SC II	1000 V
Maximum reverse current	25 A
Load / dynamic load	5 A / 2.4 kN/m ²
Number of bypass diodes	3
Operating range	-40 °C to +85 °C



SolarWorld AG reserves the right to make specification changes without notice.
This data sheet complies with the requirements of EN 50380.

2015-06-01 EN

Figura A 12 – Características do painel fotovoltaico

Página deixada propositadamente em branco

Apêndice 12

Características dos Equipamentos Split, VRF e Bombas de Calor

- Sistema Split



Gama 1X1

		42QHF009DS	42QHF012DS	42QHF018DS	42QHF022DS
UNIDADE INTERIOR		38QUS009DS	38QUS012DS	38QUS018DS	38QUS022DS
UNIDADE EXTERIOR					
Capacidade Refrigerica	KW	2.7 (1.0-3.2)	3.5 (1.0-3.6)	5.1 (1.5-5.3)	6.4 (1.7-6.6)
Capacidade Aquecimento	KW	2.9 (1.0-3.5)	3.8 (1.0-4.1)	5.2 (1.3-5.6)	6.4 (1.5-6.8)
Capacidade Aquecimento a -7 °C	KW	2.7	3.2	3.8	4.3
Capacidade Aquecimento a -10 °C	KW	2.5	3.1	3.5	4.2
Capacidade Aquecimento a -15 °C	KW	2.2	2.7	3.1	4.1
P Projecto Capacidade Refrigerica	KW	2.7	3.5	5.1	6.4
P Projecto Capacidade Aquec. (media)	KW	2.2	2.8	4.2	5.2
P Projecto Capacidade Aquec. (mais quente)	KW	2.3	3.0	4.5	5.6
Gama de Temperatura (Frio)	°C	-10~46	-10~46	-10~46	-10~46
Gama de Temperatura (Calor)	°C	-15~24	-15~24	-15~24	-15~24
SEER / SCOP (media) / SCOP (mais quente) WW		6.1 / 4.0 / 5.2	6.1 / 4.0 / 5.0	6.2 / 4.0 / 5.0	6.2 / 4.0 / 4.7
Eficiência Energética		A++ / A+ / A+++	A++ / A+ / A++	A++ / A+ / A++	A++ / A+ / A++
Consumo Anual de Energia	KWh	155 / 770 / 619	201 / 980 / 840	288 / 1470 / 1260	361 / 1820 / 1668
EER/COP	WW	3.3 / 3.8	2.9 / 3.1	2.9 / 3.3	2.9 / 3.1
Voltagem / Hz		230V / 50Hz	230V / 50Hz	230V / 50Hz	230V / 50Hz
Corrente Standard (Frio)	A	3.7	5.5	8.1	9.9
Entrada Standard (Frio)	W	810	1210	1760	2200
Corrente Standard (Calor)	A	3.5	5.7	7.3	9.2
Entrada Standard (Calor)	W	760	1250	1600	2050
Corrente Normal	A	9.5	9.5	12.5	13.0
Entrada Normal	W	2100	2100	2750	2950

DADOS TÉCNICOS SPLIT 1X1

Figura A 13 – Características do sistema *split*, fabricante Carrier

- Sistema VRF

PHYSICAL DATA

Mini XPower VRF				4HP	5HP	6HP	
Outdoor unit model name				38VS004161HCEE	38VS005161HCEE	38VS006161HCEE	
Capacity code		HP	4	5	6		
Cooling capacity		kW	12,1	14,0	15,5		
Cooling energy efficiency (*1)	EER	WW	4,28	4,00	3,61		
	SEER (*7)		9,42	9,23	9,68		
	ηs cool (*7)		373,8	366,2	384,2		
Heating capacity				kW	12,5	16,0	18,0
Heating energy efficiency (*1)	COP	WW	4,83	4,27	4,18		
	SCOP (*7)		4,17	4,24	4,37		
	ηs heat (*7)	%	163,8	166,6	171,8		
Sound pressure level			Cooling dB(A)	49	50	51	
			Heating dB(A)	52	53	54	
	Night (sound reduction)	(*6)	Cooling dB(A)	46	46	47	
			Heating dB(A)	48	48	49	
Sound power level			Cooling dB(A)	66	68	68	
			Heating dB(A)	69	70	71	
	Night (sound reduction)	(*6)	Cooling dB(A)	62	62	65	
			Heating dB(A)	65	65	65	
Dimensions	Unit	Height	mm	1235	1235	1235	
		Width	mm	990	990	990	
		Height	mm	390	390	390	
	Packing	Height	mm	1350	1350	1350	
		Width	mm	1102	1102	1102	
		Height	mm	552	552	552	
Total weight	Unit	kg	127	127	127		
	Packing	kg	135	135	135		
Appearance(Color)				Silky shade (Munsell 1Y8.5/0.5)	Silky shade (Munsell 1Y8.5/0.5)	Silky shade (Munsell 1Y8.5/0.5)	
Compressor	Type		Hermetic twin rotary compressor	Hermetic twin rotary compressor	Hermetic twin rotary compressor		
	Motor output	kW	3,75	3,75	3,75		
Refrigerant R410A(Charged refrigerant amount(kg))		(*3)	6,4	6,4	6,4		
Farthest piping equivalent length		m	125	125	125		
Farthest piping actual length		m	100	100	100		
Max pipe length (*9)		m	180	180	180		
Max lift (indoor unit above/below) (*10)		m	30/20	30/20	30/20		
Refrigerant piping	Connecting port dia	Gas side(main pipe)	mm	15,9	15,9	19,1	
		Liquid side(main pipe)	mm	9,5	9,5	9,5	
	Connecting method	Gas side		Flare	Flare	Flare	
		Liquid side		Flare	Flare	Flare	
Heat exchanger				Finned tube	Finned tube	Finned tube	
Fan unit	Fan		Propeller fan (Quantity 2)	Propeller fan (Quantity 2)	Propeller fan (Quantity 2)		
	Motor output	W	100+100	100+100	100+100		
	Air volume	m3/h	5660	5820	6050		
Max. No. of connected indoor units				8	10	13	
Operation temperature range	Cooling	CDB	-5 to 46	-5 to 46	-5 to 46		
	Heating	CWB	-20 to 15	-20 to 15	-20 to 15		

ELECTRICAL DATA

Running current (cooling)		A	13.5/13.0/12.4	16.6/15.9/15.2	20.1/19.2/18.4	
Power consumption (cooling)		kW	2,83	3,50	4,29	
Running current (heating)		A	12.5/12.0/11.5	17.8/17.0/16.3	20.2/19.3/18.5	
Power consumption (heating)		kW	2,59	3,75	4,31	
Power		(*2)	1phase 50Hz 220/230/240V	1phase 50Hz 220/230/240V	1phase 50Hz 220/230/240V	
Starting Current		A	Soft start	Soft start	Soft start	
Electrical specification	Unit	MCA	(*4) A	23,5	26,5	28,0
		MOCP	(*5) A	32,0	32,0	32,0
Price			000€	000€	000€	

Figura A 14 – Características do sistema VRF, fabricante Carrier

• **Bomba de Calor Ar-Água**

Aquarea High Performance All In One geração H monofásico/trifásico.

Aquecimento e arrefecimento • Gás R410A



Âmbito técnico

• Custos de instalação reduzidos • Tubagens na parte inferior do All in One (fácil de instalar) • Tempo de instalação reduzido e erros de instalação minimizados • Controlador remoto fácil de instalar • Espaços de instalação reduzidos • Ligações elétricas na frente • Instalação e manutenção mais fáceis • Funções do controlador remoto (ativação do modo de arrefecimento possível por software. Esta ativação só pode ser feita pelo parceiro de serviço)



Kit	Monofásico (alimentação para interiores)					Trifásico (alimentação para interiores)				
	KIT-ADC12HE5	KIT-ADC16HE5	KIT-ADC09HE8	KIT-ADC12HE8	KIT-ADC16HE8	KIT-ADC09HE8	KIT-ADC12HE8	KIT-ADC16HE8	KIT-ADC09HE8	KIT-ADC16HE8
Capacidade de aquecimento/COP [ar +7 °C, água 35 °C]	kW / COP		12,00/4,74	16,00/4,28	9,00/4,84	12,00/4,74	16,00/4,28	9,00/4,84	12,00/4,74	16,00/4,28
Capacidade de aquecimento/COP [ar +7 °C, água 55 °C]	kW / COP		12,00/2,88	14,50/2,68	9,00/2,94	12,00/2,88	14,50/2,68	9,00/2,94	12,00/2,88	14,50/2,68
Capacidade de aquecimento/COP [ar +2 °C, água 35 °C]	kW / COP		11,40/3,44	13,00/3,26	9,00/3,59	11,40/3,44	13,00/3,26	9,00/3,59	11,40/3,44	13,00/3,26
Capacidade de aquecimento/COP [ar +2 °C, água 55 °C]	kW / COP		9,10/2,20	9,80/2,17	8,80/2,23	9,10/2,20	9,80/2,17	8,80/2,23	9,10/2,20	9,80/2,17
Capacidade de aquecimento/COP [ar -7 °C, água 35 °C]	kW / COP		10,00/2,73	11,40/2,57	9,00/2,85	10,00/2,73	11,40/2,57	9,00/2,85	10,00/2,73	11,40/2,57
Capacidade de aquecimento/COP [ar -7 °C, água 55 °C]	kW / COP		8,20/1,92	9,00/1,82	7,90/2,05	8,20/1,92	9,00/1,82	7,90/2,05	8,20/1,92	9,00/1,82
Capacidade de arrefecimento/EER [ar 35 °C, água 7 °C]	kW / EER		10,00/2,81	12,20/2,56	7,00/3,17	10,00/2,81	12,20/2,56	7,00/3,17	10,00/2,81	12,20/2,56
Capacidade de arrefecimento/EER [ar 35 °C, água 18 °C]	kW / EER		10,00/4,17	12,20/4,12	7,00/4,61	10,00/4,17	12,20/4,12	7,00/4,61	10,00/4,17	12,20/4,12
Eficiência energética sazonal - Aquecimento de clima médio [W 35 °C / W 55 °C]	ETA %		190/134	190/130	190/133	190/134	190/134	190/133	190/134	190/130
	SCOP		4,83/3,43	4,83/3,33	4,83/3,40	4,83/3,43	4,83/3,43	4,83/3,43	4,83/3,43	4,83/3,33
Classe energética de aquecimento de clima médio [W 35 °C / W 55 °C] ¹⁾	A++ a G		A++/A+	A++/A++	A++/A++	A++/A++	A++/A++	A++/A++	A++/A++	A++/A+
Classe energética de aquecimento de clima médio [W 35 °C / W 55 °C] ¹⁾	A+++ a D		A+++/A++	A+++/A++	A+++/A++	A+++/A++	A+++/A++	A+++/A++	A+++/A++	A+++/A++
Eficiência energética sazonal - Aquecimento de clima quente [W 35 °C / W 55 °C]	ETA %		245/159	245/169	245/159	245/159	245/159	245/159	245/159	245/169
	SCOP		6,20/4,05	6,20/4,30	6,20/4,05	6,20/4,05	6,20/4,05	6,20/4,05	6,20/4,05	6,20/4,30
Classe energética de aquecimento de clima quente [W 35 °C / W 55 °C]	A++ a G		A++/A++	A++/A++	A++/A++	A++/A++	A++/A++	A++/A++	A++/A++	A++/A++
Classe energética de aquecimento de clima quente [W 35 °C / W 55 °C]	A+++ a D		A+++/A+++	A+++/A+++	A+++/A+++	A+++/A+++	A+++/A+++	A+++/A+++	A+++/A+++	A+++/A+++
Eficiência energética sazonal - Aquecimento de clima frio [W 35 °C / W 55 °C]	ETA %		168/121	168/121	168/121	168/121	168/121	168/121	168/121	168/121
	SCOP		4,28/3,10	4,28/3,10	4,28/3,10	4,28/3,10	4,28/3,10	4,28/3,10	4,28/3,10	4,28/3,10
Classe energética de aquecimento de clima frio [W 35 °C / W 55 °C]	A++ a G		A++/A+	A++/A+	A++/A+	A++/A+	A++/A+	A++/A+	A++/A+	A++/A+
Classe energética de aquecimento de clima frio [W 35 °C / W 55 °C]	A+++ a D		A+++/A+	A+++/A+	A+++/A+	A+++/A+	A+++/A+	A+++/A+	A+++/A+	A+++/A+
Unidade interior			WH-ADC1216HE5	WH-ADC1216HE5	WH-ADC0916HE8	WH-ADC0916HE8	WH-ADC1216HE8	WH-ADC1216HE8	WH-ADC0916HE8	WH-ADC16HE8
Nível de pressão acústica	Aquecimento/Arrefecimento	dB(A)	33/33	33/33	33/33	33/33	33/33	33/33	33/33	33/33
Dimensões/Peso líquido	A x L x P	mm / kg	1800x598x717/124	1800x598x717/124	1800x598x717/126	1800x598x717/126	1800x598x717/126	1800x598x717/126	1800x598x717/126	1800x598x717/126
Conector de tubo de água		polegadas	R 1"	R 1"	R 1"	R 1"	R 1"	R 1"	R 1"	R 1"
Bomba de classe A	Número de velocidades	Velocidade variável	Velocidade variável	Velocidade variável	Velocidade variável	Velocidade variável	Velocidade variável	Velocidade variável	Velocidade variável	Velocidade variável
	Potência absorvida [Min./Máx.]	W	36/152	36/152	36/152	36/152	36/152	36/152	36/152	36/152
Caudal de água de aquecimento [ΔT=5 K, 35 °C]		L/min	34,4	45,9	25,8	34,4	45,9	25,8	34,4	45,9
Capacidade do aquecedor elétrico integrado		kW	6	6	9	9	6	6	9	9
Fusível recomendado		A	30/30	30/30	16/16	16/16	30/30	30/30	16/16	16/16
Tamanho recomendado do cabo, alimentação 1 e 2		mm ²	3x4,0/3x4,0	3x4,0/3x4,0	5x1,5/5x1,5	5x1,5/5x1,5	3x4,0/3x4,0	3x4,0/3x4,0	5x1,5/5x1,5	5x1,5/5x1,5
Volume de água		L	185	185	185	185	185	185	185	185
Temperatura máxima da água		°C	65	65	65	65	65	65	65	65
Material dentro do depósito			Aço inoxidável	Aço inoxidável	Aço inoxidável	Aço inoxidável	Aço inoxidável	Aço inoxidável	Aço inoxidável	Aço inoxidável
Perfil de tubagens de acordo com a EN16147			L	L	L	L	L	L	L	L
Depósito AQS Classificação de eficiência em clima médio de acordo com a diretiva ERP ²⁾		A a G / A+ a F	A/A	A/A	A/A	A/A	A/A	A/A	A/A	A/A
Depósito AQS Classificação de eficiência em clima quente de acordo com a diretiva ERP ²⁾		A a G / A+ a F	A/A	A/A	A/A	A/A	A/A	A/A	A/A	A/A
Depósito AQS Classificação de eficiência em clima frio de acordo com a diretiva ERP ²⁾		A a G / A+ a F	A/A	B/B	A/A	A/A	A/A	A/A	B/B	B/B
Depósito de AQS Clima médio ETA/SCOP		ETA % / SCOP	95/2,38	91/2,28	95/2,38	95/2,38	95/2,38	95/2,38	91/2,28	91/2,28
Depósito de AQS Clima quente ETA/SCOP		ETA % / SCOP	110/2,75	107/2,68	110/2,75	110/2,75	110/2,75	110/2,75	107/2,68	107/2,68
Depósito de AQS Clima frio ETA/SCOP		ETA % / SCOP	75/1,80	72/1,88	75/1,88	75/1,88	75/1,88	75/1,88	72/1,88	72/1,88
Unidade exterior			WH-UD12HE5	WH-UD16HE5	WH-UD09HE8	WH-UD12HE8	WH-UD12HE8	WH-UD16HE8	WH-UD16HE8	WH-UD16HE8
Potência acústica carga total	Aquecimento/Arrefecimento	dB	69/68	72/72	68/67	69/68	69/68	72/72	72/72	72/72
Dimensões/Peso líquido	A x L x P	mm / kg	1340x900x320/101	1340x900x320/101	1340x900x320/107	1340x900x320/107	1340x900x320/107	1340x900x320/107	1340x900x320/107	1340x900x320/107
Refrigerante [R410A] / CO ₂ Eq.		kg/T	2,55/5,324	2,55/5,324	2,55/5,324	2,55/5,324	2,55/5,324	2,55/5,324	2,55/5,324	2,55/5,324
Diâmetro das tubagens	Líquido/Gás	Polegadas [mm]	3/8(9,52)/5/8(15,88)	3/8(9,52)/5/8(15,88)	3/8(9,52)/5/8(15,88)	3/8(9,52)/5/8(15,88)	3/8(9,52)/5/8(15,88)	3/8(9,52)/5/8(15,88)	3/8(9,52)/5/8(15,88)	3/8(9,52)/5/8(15,88)
Intervalo de comprimento da tubagem/Desnível [int./ext.]		m / m	3-50/30	3-50/30	3-30/20	3-30/20	3-30/20	3-30/20	3-30/20	3-30/20
Comprimento da tubagem para gás adicional/Teor adicional de gás		m / g/m	10/50	10/50	10/50	10/50	10/50	10/50	10/50	10/50
Intervalo de funcionamento	Condições ambientais exteriores	°C	-20--+35	-20--+35	-20--+35	-20--+35	-20--+35	-20--+35	-20--+35	-20--+35
Saída de água	Aquecimento/Arrefecimento	°C	20-55/5-20	20-55/5-20	20-55/5-20	20-55/5-20	20-55/5-20	20-55/5-20	20-55/5-20	20-55/5-20
Potência acústica testada por terceiros no modo silencioso 3 ³⁾		dB	65	65	63	65	65	63	65	66

Figura A 15 – Características da Bomba de Calor ar-água, fabricante Panasonic

• Bomba de Calor Geotérmica

ecoGEO B/C 3-12

- Control de potencia térmica modulante en un amplio rango (20-100%) y control de caudal modulante en los circuitos de captación y producción (20-100%).
- Diseño compacto que incluye circuladoras de captación y producción, vasos de expansión de B y 12 l para captación y producción respectivamente.
- Sistema de recuperación de alta temperatura (HTR) para la producción de ACS hasta 70 °C sólo con bomba de calor. Modelos con HTR. Sin resistencia.
- Gestión Integrada de hasta 4 temperaturas de impulsión diferentes, 2 acumuladores de inercia diferentes (1 calefacción y 1 refrigeración), 1 acumulador de ACS, 1 piscina y control horario de la recirculación de ACS.
- Gestión integrada de unidades de captación aerotérmicas modulantes, tanto en sistemas de captación aerotérmicos o sistemas de captación híbridos geotérmico-aerotérmico.
- Gestión Integrada de equipos de apoyo externos auxiliares todo/hada o modulantes, por ejemplo resistencias eléctricas o calderas todo/hada o calderas modulantes.
- Gestión Integrada de bloque de hasta 3 bombas de calor en paralelo.
- Gestión Integrada de sistemas de emisión simultánea frío/calor según esquema.
- En los modelos 2 y 4 el frío pasivo integrado en el equipo.
- Todos los modelos disponibles Monofásicos y Trifásicos.
- Productos compatibles con e-manager y e-system.
- Contadores de energía integrados para consumo eléctrico, producción térmica de calor/frío y rendimientos instantáneos y estacionales mensual y anual.



ESPECIFICACIONES ECOGEO B/C 3-12		UDS.	B/C1	B/C2	B/C3	B/C4
APLICACIÓN	Lugar Instalación	-			Interior	
	Tipo sistema captación ¹	-	Geotérmico / Aerotérmico / Híbrido			
	Calefacción	-	✓	✓		
	Posibilidad de sistema recuperación alta temp. HTR	-	✓	✓	✓	✓
	Refrigeración activa Integrada	-	-	-	✓	✓
	Refrigeración pasiva Integrada	-	-	✓	-	✓
PRESTACIONES	Rango modulación compresor	%		20 a 100		
	Potencia calefacción ² , BOW35	kW		2,5 a 16		
	COP ³ , BOW35	-		4,6		
	Potencia refrigeración activa ³ , B35W7	kW	-		3,1 a 15	
	EER ³ , B35W7	-	-		5,2	
	Temperatura ACS máxima sin apoyo	°C		63		
	Temperatura ACS máxima con apoyo ⁴	°C		70		
	Nivel de potencia acústica ⁶	db		34 a 45		
LÍMITES DE OPERACIÓN	Etiqueta energética / r/s con control clima medio	-		A+++ / 192%		
	Rango temperaturas calefacción / Consigna	°C		10 a 60 / 20 a 60		
	Rango temperaturas refrigeración / Consigna	°C		4 a 35 / 7 a 25		
	Rango temperaturas captación calefacción	°C		-25 a +35		
	Rango temperaturas disipación refrigeración	°C		10 a 60		
	Presión circuito refrigerante mínimo / máximo	bar		2 / 45		
	Presión circuito de producción / precarga	bar		0,5 a 3 / 1,5		
	Presión circuito de captación / precarga	bar		0,5 a 3 / 0,7		
FLUIDOS DE TRABAJO	Presión máxima acumulador ACS	bar	8 (solo para ecoGEO C)			
	Carga de refrigerante R410A	kg	0,9 (sin HTR) / 1 (con HTR)		1	
DATOS ELÉCTRICOS CONTROL	Tipo de aceite del compresor/carga de aceite	kg		POE / 0,74		
	1.N/PE 230 V / 50-60 Hz ⁸	-		✓		
	Protección externa máxima recomendada ⁹	-		C16A		
	Fusible circuito primario transformador	A		0,5		
DATOS ELÉCTRICOS BOMBA DE CALOR MONOFÁSICA	Fusible circuito secundario transformador	A		2,5		
	1.N/PE 230 V / 50-60 Hz ⁸	-		✓		
	Protección externa máxima recomendada ⁹	-		C32A		
	Consumo máximo ³ , BOW35	kiWA		4,2 / 18,6		
	Consumo máximo ³ , BOW55	kiWA		5 / 21,7		
	Intensidad arranque mínima/máxima ⁷	A		2 / 8		
DATOS ELÉCTRICOS BOMBA DE CALOR TRIFÁSICA	Corrección de coseno φ	-		0,96/1		
	3.N/PE 400 V / 50-60Hz ⁸	-		✓		
	Protección externa máxima recomendada ⁹	-		C16A		
	Consumo máximo ³ , BOW35	kiWA		4,2 / 6,2		
	Consumo máximo ³ , BOW55	kiWA		5 / 7,2		
	Intensidad arranque mínima/máxima ⁷	A		0,7 / 2,6		
DIMENSIONES Y PESO	Corrección de coseno φ	-		0,96-1		
	Altura x ancho x profundidad	mm	ecoGEO B: 1060x600x710 ecoGEO C: 1804x600x710			
	Peso en vacío (sin ensamblaje)	kg	B 185 - C 246	B 193 - C 254	B 185 - C 246	B 193 - C 254

- Captación aerotérmica o híbrida sustituyendo o combinando el captador geotérmico por una o varias unidades aerotérmicas: ecoGEO AU12. Consulte el manual de las unidades aerotérmicas ecoGEO AU12 para información más detallada.
- Conforme a EN 14511, incluyendo el consumo de bombas de circulación y driver del compresor.
- Considerando caudales en los circuitos de captación y producción de 2000 l/h.
- Considerando un calentamiento desde 20 a 50 °C en ausencia de consumos.
- Considerando un apoyo con la resistencia eléctrica de emergencia o con el sistema HTR. La temperatura máxima de ACS con el sistema HTR puede estar limitada por la temperatura de descarga del compresor.
- Conforme a EN 12102, incluyendo el kit de aislamiento acústico del compresor.
- Intensidad de arranque depende de condiciones de trabajo de los circuitos hidráulicos.
- El rango de tensión admisible para un correcto funcionamiento de la bomba de calor es de ±10%.
- El consumo máximo puede variar significativamente con las condiciones de trabajo, o si se limita el rango de operación del compresor. Consulte el manual de servicio técnico para información más detallada.
- Pendientes de certificación.



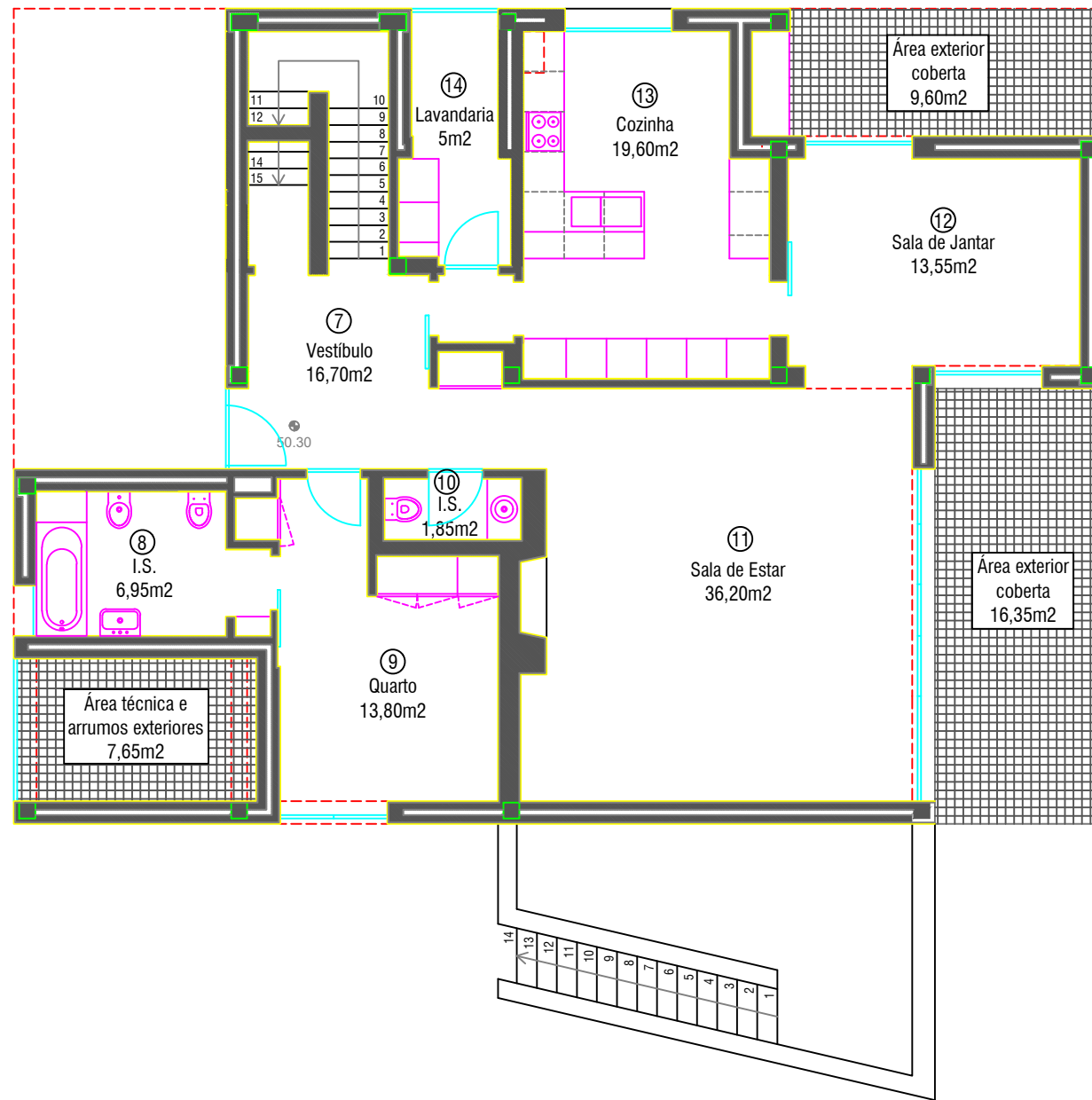
Figura A 16 – Características da Bomba de Calor Geotérmica

Página deixada propositadamente em branco

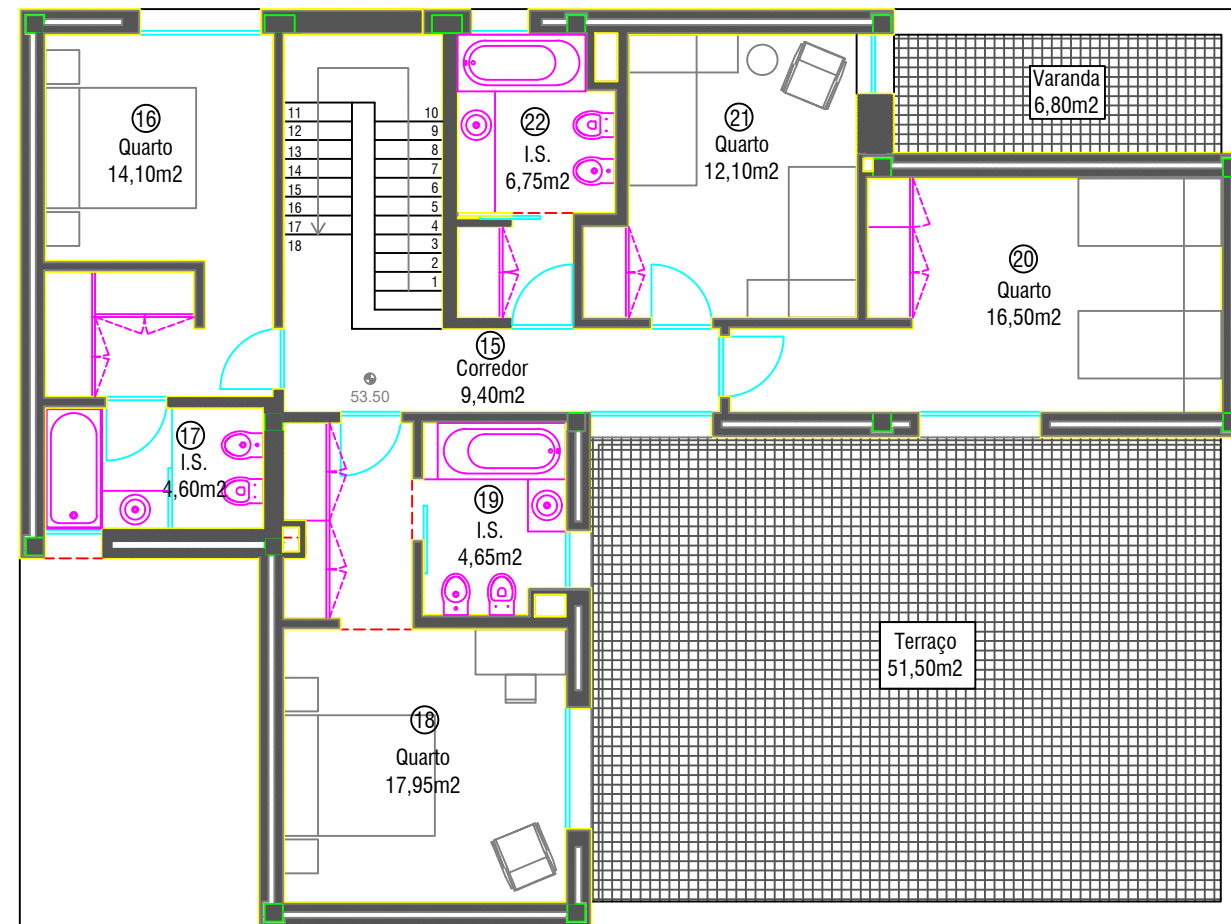
Apêndice 13
Peças Desenhadas



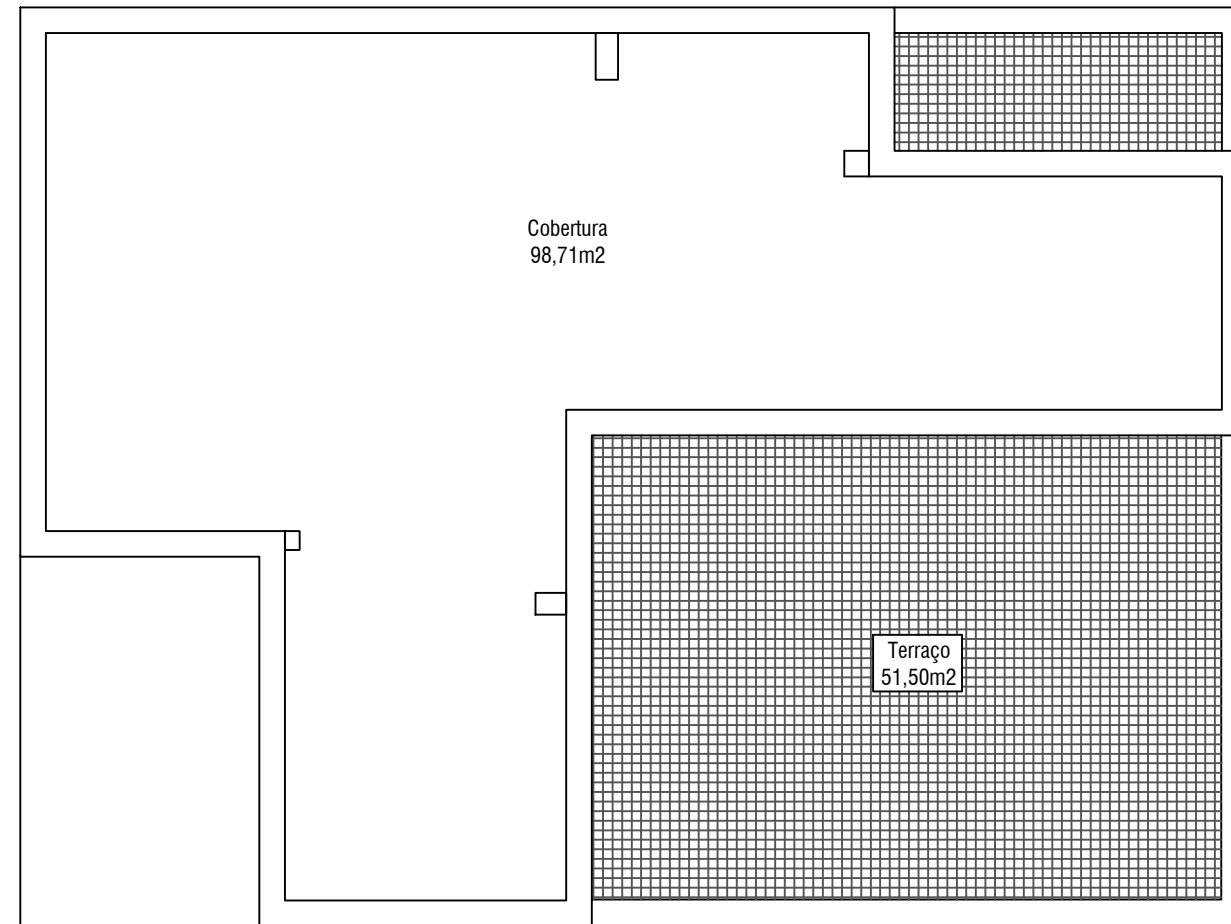
INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA					 ISEL <small>INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA</small>
Área Departamental de Engenharia Mecânica					
Pinhal das Freiras Habitação Unifamiliar (Projeto de Execução)	Proj.	Verif.	Designação	Escala	Língua
			PLANTA PISO -1	1:100	PT
	Des.	Aprov.	Desenho	Data	Folha
		TFM JM 01	OUT/20	1/4	Revisão



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA Área Departamental de Engenharia Mecânica					 ISEL INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Pinhal das Freiras Habitação Unifamiliar (Projeto de Execução)	Proj.	Verif.	Designação PLANTA PISO 0	Escala 1:100	
	Des.	Aprov.	Desenho TFM JM 02	Data OUT/20	Folha 2/4
					Revisão



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA Área Departamental de Engenharia Mecânica					 <small>INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA</small>
Pinhal das Freiras Habitação Unifamiliar (Projeto de Execução)	Proj.	Verif.	Designação	Escala	
			PLANTA PISO 1	1:100	PT
	Des.	Aprov.	Desenho	Data	Folha
		TFM JM 03	OUT/20	3/4	Revisão



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA				 ISEL <small>INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA</small>	
Área Departamental de Engenharia Mecânica					
Pinhal das Freiras Habitação Unifamiliar (Projeto de Execução)	Proj.	Verif.	Designação PLANTA PISO 2	Escala 1:100	Língua PT
	Des.	Aprov.	Desenho TFM JM 04	Data OUT/20	Folha 4/4
					Revisão