

# **SISTEMAS TÉRMICOS EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO**

Desempenho e contributo para a eficiência  
energética

**RODRIGO MESQUITA FREITAS**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES**

---

Orientador: Professor Doutor Nuno Manuel Monteiro Ramos

JULHO DE 2014

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2013/2014**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2013/2014 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2014.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus Pais

*“O Conhecimento é uma ferramenta, e como todas as ferramentas, o seu impacto está nas mãos de quem o usa”.*

*Dan Brown*



## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Doutor Nuno Manuel Monteiro Ramos, por toda a disponibilidade e orientação dada no decorrer deste trabalho. Ao Engenheiro Fernando Pedro Fernandes Pereira pela ajuda prestada, em especial pelo seu contributo relativamente ao funcionamento do programa Cype.

À Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e a todos os docentes associados que fomentaram e estimularam o meu interesse pela área da Engenharia Civil.

Ao Sr. Alfredo da Polizona e ao Engenheiro Luís Carvalho do departamento de formação e suporte técnico da Vulcano, por me terem ajudado a entender alguns conceitos importantes para esta dissertação e terem proporcionado uma visita à fábrica e centro de formação da Bosch, em Aveiro.

A todos os meus amigos que me incentivaram e motivaram ao longo da minha vida, em particular ao António Castilho e à Sofia Manuel por me terem acompanhado praticamente todos os dias durante este semestre, que nunca esquecerei.

Ao meu irmão, João Miguel Mesquita Freitas pela ajuda, motivação e aconselhamento ao longo da realização deste trabalho.

Por último, um obrigado a toda a minha família, em especial aos meus pais, pela ajuda e motivação constante que me transmitem e por me terem proporcionado uma vida académica de excelente qualidade.



## RESUMO

A eficiência energética é um tema que tem assumido cada vez mais importância mundialmente. A procura da otimização do desempenho energético de qualquer sistema é algo que é recorrente e é motivada principalmente pela redução do consumo da energia e, conseqüentemente, dos custos relacionados com esta.

Nesta dissertação foi elaborado um estudo sobre o desempenho energético de um edifício localizado na cidade do Porto. A avaliação do desempenho energético de um edifício de habitação é baseada nos seguintes pilares: o comportamento térmico e a eficiência dos sistemas. Uma vez que o pretendido neste trabalho é estudar os diversos equipamentos destinados à climatização e preparação de águas quentes sanitárias (AQS) em edifícios e a sua influência para a eficiência energética, os dados relativos ao comportamento térmico são calculados com o auxílio do programa *Cype*, mais concretamente, através do módulo *Cypeterm*.

Segundo a legislação em vigor, verifica-se que a eficiência dos sistemas integra somente o cálculo das necessidades anuais nominais de energia primária, que está diretamente relacionada com o rácio de classe energética ( $R_{Nt}$ ). Posto isto, foram fixados os valores relativos ao comportamento térmico do edifício e fez-se variar os valores correspondentes ao contributo das instalações para aquecimento, arrefecimento, preparação de águas quentes sanitárias e energias de fonte renovável. Deste modo, foi possível perceber de que forma o desempenho energético de um edifício se altera com a aplicação de determinados equipamentos. Para tal, foram concebidos 10 cenários, correspondentes a diferentes combinações de sistemas a instalar no edifício e associados os custos dos aparelhos instalados, permitindo assim relacionar a melhoria do desempenho energético a um custo estimado de implementação. Numa fase final da dissertação, foi elaborado um estudo análogo para diferentes cidades do país, considerando o mesmo edifício, permitindo, deste modo, entender o efeito das condições climatéricas na avaliação e desempenho energético do edifício.

Palavras-Chave: eficiência energética, desempenho energético, instalações em edifícios, energia primária, *Cypeterm*.



## ABSTRACT

Energy efficiency is a topic that has been assuming greater importance worldwide. The search for optimization in the energy performance of any system is something that is recurring and is mainly aimed towards the reduction of energy consumption and therefore the costs related to it.

In this thesis, a study was prepared on the energy performance of a building located in the city of Porto. The assessment of the energy performance of a housing building is based on the following pillars: the thermal behavior and the efficiency of the systems. Since this work is intended to study the various equipments for heating, cooling and preparation of hot water (DHW) in buildings and its influence on energy efficiency, the data concerning the thermal behavior are calculated with the aid of a computer program called *Cype*, more specifically, by the *Cypeterm* module.

According to the legislation, it appears that the efficiency of the systems only interferes on the calculation of the nominal annual primary energy needs, which are directly related to the ratio of energy class ( $R_{Nt}$ ). That said, the values concerning the thermal behavior of the building were fixed as the contribution of the installations related to heating, cooling, hot water preparation (DHW) and renewable source of energy values were changed. Thus, it was possible to understand how the energy performance of a building changes with the application of certain equipments. To this end, 10 scenarios were designed, corresponding to different combinations of systems to be installed in the building and associated costs of the installed devices. By this mean it was possible to relate the improving energy performance of the building to an estimated cost of implementation. In the final phase of the dissertation, analogous studies were made for different cities in the country, considering the same building, making it possible to understand the effect of weather conditions on the energy performance of the building and its assessment.

**KEYWORDS:** energy efficiency, energy performance, building installations, primary energy, *Cypeterm*.



## ÍNDICE GERAL

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	i
<b>RESUMO</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>1.1. ENQUADRAMENTO</b> .....	1
<b>1.2. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO</b> .....	1
<b>1.3. ESTRUTURAÇÃO DO TEXTO</b> .....	2
<b>2. AVALIAÇÃO DA ENERGIA PRIMÁRIA NO REH</b> .....	3
<b>2.1. ENQUADRAMENTO</b> .....	3
<b>2.2. CLASSE ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS</b> .....	4
<b>2.3. DEFINIÇÃO DE NTC</b> .....	5
<b>2.4. FATORES DE CONVERSÃO</b> .....	8
<b>2.5. CALDEIRAS E ESQUENTADORES A GÁS</b> .....	9
2.5.1. O QUE SÃO? .....	9
2.5.2. FUNCIONAMENTO DE UM CALDEIRA/ESQUENTADOR .....	10
2.5.3. EFICIÊNCIA DE UMA CALDEIRA/ESQUENTADOR .....	11
<b>2.6. BOMBAS DE CALOR E MÁQUINAS FRIGORÍFICAS</b> .....	13
2.6.1. O QUE SÃO? .....	13
2.6.2. COMO FUNCIONAM? .....	14
2.6.3. EFICIÊNCIA DE UMA BOMBA DE CALOR .....	16
<b>2.7. CALDEIRAS A PELLETS</b> .....	20
<b>2.8. RECUPERADORES DE CALOR E SALAMANDRAS</b> .....	21
<b>2.9. COLETORES SOLARES</b> .....	22
<b>3. APLICAÇÃO DO CYPETERM</b> .....	23
<b>3.1. CASO DE ESTUDO</b> .....	23
<b>3.2. CYPETERM</b> .....	24
<b>3.3. UTILIZAÇÃO DO CYPETERM</b> .....	25
3.3.1. PARÂMETROS GERAIS .....	25
3.3.2. GEOMETRIA DO CASO DE ESTUDO .....	27
3.3.3. ELEMENTOS CONSTRUTIVOS .....	29
3.3.3.1. Paredes Exteriores .....	30

3.3.3.2. Paredes Interiores .....	31
3.3.3.3. Lajes .....	32
3.3.3.4. Aberturas .....	34
3.3.4. VISUALIZAÇÃO DA OBRA EM 3D .....	35
3.3.5. COMPARTIMENTOS .....	36
3.3.6. FRAÇÕES AUTÓNOMAS.....	37
3.3.7. RESULTADOS – CUMPRIMENTO DAS EXIGÊNCIAS DO REH .....	40
3.3.8. RESULTADOS – DESEMPENHO ENERGÉTICO.....	43

## **4. DESEMPENHO DE EQUIPAMENTOS .....**

47

### **4.1. INTRODUÇÃO .....**

47

### **4.2. EQUIPAMENTOS .....**

47

#### 4.2.1. SISTEMA DE AQUECIMENTO .....

49

#### 4.2.2. SISTEMA DE ARREFECIMENTO.....

51

#### 4.2.3. SISTEMA DE PREPARAÇÃO DE AQS .....

52

#### 4.2.4. ENERGIA DE FONTE RENOVÁVEL .....

53

### **4.3. COMBINAÇÕES DE SISTEMAS .....**

58

#### 4.3.1. CASO 1.....

59

#### 4.3.2. CASO 2.....

62

#### 4.3.3. EQUIPAMENTOS DE EMISSÃO .....

65

#### 4.3.4. ANÁLISE DE MELHORIA DE DESEMPENHO ENERGÉTICO VS INVESTIMENTO INICIAL .....

66

### **4.4. APLICAÇÃO DOS CENÁRIOS A DIFERENTES CIDADES PORTUGUESAS .....**

68

#### 4.4.1. LISBOA .....

70

#### 4.4.2. BRAGANÇA.....

73

#### 4.4.3. FARO.....

75

#### 4.4.4. SÍNTESE DE RESULTADOS.....

78

## **5. CONCLUSÕES .....**

81

## **BIBLIOGRAFIA.....**

83

## **ANEXOS.....**

85

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Transformação de energia.....	8
Figura 2 – Caldeira de condensação.....	10
Figura 3 – Bomba de Calor para preparação de AQS.....	14
Figura 4 - Ciclo de uma Bomba de Calor.....	15
Figura 5 – Exemplo de sistema <i>multisplit</i> com unidades interiores de diferentes tipos.....	16
Figura 6 – Variação do <i>COP</i> em percentagem [adaptado de (Termotechnology, 2013)]......	17
Figura 7 – Variação do <i>EER</i> em percentagem [adaptado de (Termotechnology, 2013)]......	18
Figura 8 - Símbolo do certificado “ <i>European Quality Label for Heat Pumps</i> ”.....	20
Figura 9 – Embalagem de Pellets (Timberexchange).....	20
Figura 10 – Moradia unifamiliar (caso de estudo).....	23
Figura 11 - Configuração do Gerador de Preços.....	26
Figura 12 - Introdução de Planos/Grupos.....	26
Figura 13 - Dados da obra.....	27
Figura 14 - Parâmetros térmicos.....	27
Figura 15 - Gestão de vistas de máscaras.....	28
Figura 16 - Ativar visibilidade de máscaras para cada piso.....	28
Figura 17 - Plano dos grupos.....	29
Figura 18 - Introdução do ângulo entre a orientação Norte com a orientação horizontal de referência no sentido direto ( $273,4^{\circ}$ ).....	29
Figura 19 - Adicionar camadas manualmente, recorrendo à biblioteca do LNEC.....	30
Figura 20 – Constituição da parede exterior para o primeiro caso.....	31
Figura 21 - Parede Exterior para o segundo caso.....	31
Figura 22 – Constituição de uma parede interior.....	32
Figura 23 – Constituição da parede interior mais espessa.....	32
Figura 24 – Constituição do pavimento térreo.....	32
Figura 25 – Constituição de uma laje entre pisos.....	33
Figura 26 – Constituição da laje para o desvão.....	33
Figura 27 – Cobertura.....	34
Figura 28 – Constituição de uma laje inclinada.....	34
Figura 29 – Constituição da solução do envidraçado considerado.....	35
Figura 30 - Caixilharias utilizadas.....	35
Figura 31 – Vista 3D do edifício em estudo.....	36
Figura 32 - Parâmetros prédefinidos para os estudos térmico e climático, de um quarto.....	37
Figura 33 - Novo compartimento.....	37
Figura 34 – Sistemas de uma fração autónoma.....	38
Figura 35 – Sistemas de aquecimento por defeito.....	39

Figura 36 – Sistema arrefecimento por defeito. ....	39
Figura 37 – Sistema de ventilação por defeito. ....	39
Figura 38 – Sistemas de AQS por defeito. ....	40
Figura 39 – Classe Energética para o primeiro caso. ....	45
Figura 40 – Classe Energética para o segundo caso. ....	46
Figura 41 – Exemplo de equipamento no gerador de preços do <i>Cype</i> . ....	49
Figura 42 – Condições Climáticas para efeitos de cálculo da Diretiva 2013/114/EU. ....	56
Figura 43 – Desenvolvimento do rácio de desempenho energético ao aplicar as diferentes medidas (caso 1), não considerando o contributo das energias de fonte renovável para as bombas de calor e equipamentos de ar-condicionado. ....	60
Figura 44 - Desenvolvimento do rácio de desempenho energético ao aplicar as diferentes medidas (caso 1), considerando o contributo das energias de fonte renovável para as bombas de calor e equipamentos de ar-condicionado. ....	62
Figura 45 - Desenvolvimento do rácio de desempenho energético ao aplicar as diferentes medidas (caso 2), não considerando o contributo das energias de fonte renovável para as bombas de calor e equipamentos de ar-condicionado. ....	63
Figura 46 - Desenvolvimento do rácio de desempenho energético ao aplicar as diferentes medidas (caso 2), considerando o contributo das energias de fonte renovável para as bombas de calor e equipamentos de ar-condicionado. ....	65
Figura 47 – Condições climáticas da cidade do Porto. ....	69
Figura 48 – Condições climáticas de Lisboa. ....	70
Figura 49 – Condições climáticas de Bragança. ....	73
Figura 50 – Condições climáticas de Faro. ....	76
Figura 51 – Relação entre $N_{tc}$ e investimento inicial das medidas a aplicar para a cidade do Porto. ..	79
Figura 52 - Relação entre $N_{tc}$ e investimento inicial das medidas a aplicar para a cidade de Bragança. ....	79

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Intervalos de valor para a determinação da classe energética em pré-certificados e certificados SCE de modelo tipo Habitação.....	5
Tabela 2 – Significado das componentes integrantes para o cálculo de $N_{tc}$ e respetivas unidades [adaptado de (DGEG, 2013c)].....	6
Tabela 3 - Significado das componentes integrantes para o cálculo de $N_t$ e respetivas unidades [adaptado de (Governo, 2013)].....	7
Tabela 4 – Valores de $F_{pu}$ em kWh <sub>ep</sub> para eletricidade de diferentes países da União Europeia. ....	9
Tabela 5 – Eficiência nominal de caldeiras e esquentadores. Adaptado de: tabela I.16 da Portaria n.º 349-B/2013.....	12
Tabela 6 – Determinação de Rendimento de Caldeiras segundo a Directiva 92/42CEE6.....	12
Tabela 7 – Classificação por estrelas de caldeiras a gás.....	13
Tabela 8 – Classificação do desempenho de unidades <i>split</i> , <i>multisplit</i> , <i>VRF</i> e compactas, com permuta ar-ar.....	18
Tabela 9 - Classificação do desempenho de unidades <i>split</i> , <i>multisplit</i> , <i>VRF</i> e compactas, com permuta ar-água. ....	19
Tabela 10 – Classificação do desempenho de unidades do tipo <i>Rooftop</i> .....	19
Tabela 11 – Classificação do desempenho de unidades do tipo <i>chiller</i> bomba de calor de compressão.....	19
Tabela 12 – Requisitos de <i>Pellets</i> .....	20
Tabela 13 – Coeficientes de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior. ....	41
Tabela 14 – Ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento.....	41
Tabela 15 – Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento. ....	42
Tabela 16 – Valores para determinação de $N_{ic}$ .....	42
Tabela 17 – Valores para determinação de $N_{vc}$ .....	43
Tabela 18 – Energia primária para diferentes sistemas. ....	43
Tabela 19 – Requisitos Energéticos – primeiro caso.....	44
Tabela 20 – Coeficientes de transmissão térmica (U).....	44
Tabela 21 – Requisitos Energéticos - segundo caso.....	45
Tabela 22 – Dados para cálculo de $N_{tc}$ e $N_t$ .....	48
Tabela 23 – Relação entre potência e área a climatizar de um ar-condicionado (EDP, 2014).....	50
Tabela 24 – Equipamentos de Aquecimento. ....	51
Tabela 25 – Valor de $\delta$ .....	52
Tabela 26 – Equipamentos de Arrefecimento.....	52
Tabela 27 – Equipamentos de Preparação de AQS.....	53
Tabela 28 – Valores de $Q_{usablefactor}$ e $SPF$ . ....	56
Tabela 29 – Contributo da Energia de Fonte Renovável para Caldeira a <i>Pellets</i> . ....	57
Tabela 30 – Contributo da energia de fonte renovável para o cálculo de $N_{tc}$ para as bombas de calor e ar-condicionado.....	57
Tabela 31 – Cenários de equipamentos a aplicar ao caso de estudo.....	59

Tabela 32 – Determinação da classe de desempenho energético para diferentes cenários (caso 1) não considerando o contributo das energias de fonte renovável nas bombas de calor e equipamentos de ar-condicionado. ....	60
Tabela 33 - Determinação da classe de desempenho energético para diferentes cenários (caso 1) considerando o contributo das energias de fonte renovável nas bombas de calor e equipamentos de ar-condicionado. ....	61
Tabela 34 - Determinação da classe de desempenho energético para diferentes cenários (caso 2) não considerando o contributo das energias de fonte renovável nas bombas de calor e equipamentos de ar-condicionado. ....	63
Tabela 35 - Determinação da classe de desempenho energético para diferentes cenários (caso 2) considerando o contributo das energias de fonte renovável nas bombas de calor e equipamentos de ar-condicionado. ....	64
Tabela 36 – Relação entre melhoria de $R_{Nt}$ e custo estimado para os diferentes cenários (caso 1)...	67
Tabela 37 - Relação entre melhoria de $R_{Nt}$ e custo estimado para os diferentes cenários (caso 2)...	68
Tabela 38 – Requisitos energéticos para o primeiro caso na cidade do Porto.....	69
Tabela 39 - Requisitos energéticos para o segundo caso na cidade do Porto.....	70
Tabela 40 – Requisitos energéticos para o primeiro caso na cidade de Lisboa.....	71
Tabela 41 - Requisitos energéticos para o segundo caso na cidade de Lisboa.....	71
Tabela 42 – Determinação da classe energética do edifício para o primeiro caso (Lisboa). ....	72
Tabela 43 - Determinação da classe energética do edifício para o segundo caso (Lisboa). ....	72
Tabela 44 - Requisitos energéticos para o primeiro caso na cidade de Bragança.....	73
Tabela 45 - Requisitos energéticos para o segundo caso na cidade de Bragança.....	74
Tabela 46 - Determinação da classe energética do edifício para o primeiro caso (Bragança). ....	74
Tabela 47 - Determinação da classe energética do edifício para o segundo caso (Bragança).....	75
Tabela 48 - Requisitos energéticos para o primeiro caso na cidade de Faro.....	76
Tabela 49 - Requisitos energéticos para o segundo caso na cidade de Faro.....	77
Tabela 50 - Determinação da classe energética do edifício para o primeiro caso (Faro). ....	77
Tabela 51 - Determinação da classe energética do edifício para o segundo caso (Faro).....	78

**SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS**

AQS – Águas Quentes Sanitárias.

DHW – *Domestic Hot Water*.

U - Coeficiente de transmissão térmica [ $W/(m^2 K)$ ].

UE – União Europeia.

SCE – Sistema de Certificação Energética.

REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação.

RECS – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e de Serviços.

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios.

DL – Decreto-Lei.

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios.

$R_{Nt}$  – Rácio de Classe Energética.

DGEG – Direção-Geral de Energia e Geologia.

Kgep – Quilograma Equivalente de Petróleo.

$kWh_{ep}$  – Kilowatt-hora de Energia Primária.

$N_{tc}$  – Necessidades Nominais Anuais de Energia Primária [ $kWh_{ep}/(m^2 \text{ ano})$ ].

$N_{ic}$  - Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil para Aquecimento [ $kWh/(m^2 \text{ ano})$ ].

$N_{vc}$  - Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil para Arrefecimento [ $kWh/(m^2 \text{ ano})$ ].

$f_{i,k}$  – Parcela das Necessidades de Energia Útil para Aquecimento, supridas pelo sistema k.

$f_{v,k}$  – Parcela das Necessidades de Energia Útil para Arrefecimento, supridas pelo sistema k.

$Q_a$  – Necessidades de Energia Útil para preparação de AQS (kWh/ano).

$f_{a,k}$  – Parcela das Necessidades de Energia Útil para Preparação de AQS, supridas pelo sistema k.

$\eta_k$  – Eficiência do sistema k.

$E_{ren}$  – Energia produzida a partir de fontes de origem renovável (kWh/ano).

$W_{vm}$  – Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano).

$A_p$  – Área Útil de Pavimento ( $m^2$ ).

$F_{pu}$  – Fatores de Conversão de Energia Útil para Energia Primária ( $kWh_{ep}/kWh$ ).

$N_t$  – Valor Máximo para as Necessidades Nominais Anuais de Energia Primária [ $kWh/(m^2 \text{ ano})$ ].

$N_i$  – Valor Máximo para as Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil para Aquecimento [ $kWh/(m^2 \text{ ano})$ ].

$N_v$  – Valor Máximo para as Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil para Arrefecimento [ $kWh/(m^2 \text{ ano})$ ].

$\eta_{ref,k}$  – Valor de referência para o rendimento dos diferentes sistemas técnicos utilizados ou previstos para aquecimento, arrefecimento ambiente e preparação de AQS.

PCI – Poder Calorífico Interior (KJ/Kg).

$P_n$  – Potência nominal (kW).

*SEDBUK* – *Seasonal Efficiency of Domestic Boilers in the United Kingdom*.

*VRF* – *Variable Refrigerant Flow*.

VRV – Volume de Refrigerante Variável.

*COP* – *Coefficient of Performance* (Coeficiente de Desempenho).

*EER* – *Energy Efficiency Ratio* (Rácio de Eficiência Energética).

Kg – Quilograma.

EN – Norma Europeia.

3D – 3 Dimensões.

ITED – Infraestruturas de Telecomunicações em Edifícios.

*CAD* – *Computer Aided Design*.

*BIM* – *Building Information Model*.

*DXF* – *Drawing Extention File (Autocad file extention)*.

*DWG* – *Drawing (Autocad file extention)*.

$R_{ph}$  – Taxa horária de renovação de ar ( $h^{-1}$ ).

Q – Energia sob a forma de calor (kWh/ano).

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono.

EDP – Energias de Portugal.

$Q_{usable}$  – Total de calor utilizável estimado produzido por bombas de calor (kWh).

*SPF* – *Seasonal Performance Factor (Fator Médio de Desempenho Sazonal)*.

$Q_{usablefactor}$  – número de horas equivalente ao funcionamento em carga total, num ano (h).

$\eta$  - rácio entre a população total bruta de eletricidade e o consumo de energia primária para a produção de eletricidade.

*SCOP* – *Seasonal Coefficient of Performance*.

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia.





# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. ENQUADRAMENTO

A eficiência energética de um edifício depende de vários fatores e técnicas que têm em vista a redução do consumo energético desse mesmo edifício durante o seu ciclo de vida, não comprometendo o conforto dos seus ocupantes. As instalações térmicas de um edifício têm influência no seu desempenho energético, tema no qual se baseia o presente estudo.

### 1.2. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

Em agosto de 2013, foi publicado em Portugal um novo regulamento para a térmica dos edifícios, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 118/2013. Este documento originou alterações profundas na forma como é calculada a eficiência energética de um imóvel e conseqüentemente, a sua classe energética.

Como tal, o principal objetivo desta dissertação é compreender como é calculado o desempenho energético de um edifício de habitação segundo a nova legislação e de que forma a eficiência das instalações térmicas influencia esse cálculo.

Para alcançar o pretendido, é necessário atingir certos objetivos, tais como:

- Conhecer e compreender os fatores que, segundo a nova legislação, influenciam a determinação do desempenho energético de um edifício de habitação;
- Conhecer as instalações térmicas existentes no mercado, como funcionam, que valores de eficiência geralmente assumem e quanto custam;
- Aprendizagem e aplicação do programa *Cype* para descrição e cálculo do desempenho energético de um caso de estudo;
- Definir uma série de cenários para os sistemas de aquecimento, arrefecimento e preparação de águas quentes sanitárias, doravante designadas por AQS, que se considerem adequados ao caso em estudo e proceder ao cálculo do desempenho energético para cada um deles;
- Verificar de que modo se alteram as conclusões para diferentes zonas do país.

### 1.3. ESTRUTURAÇÃO DO TEXTO

O presente documento encontra-se estruturado em 5 capítulos, encadeados de forma coerente, para melhor compreensão dos resultados obtidos e das soluções a aplicar ao caso de estudo. Após uma breve introdução, surge o capítulo 2 que é dedicado ao enquadramento da eficiência dos sistemas na legislação atual, para além da definição dos conceitos inerentes por forma a determinar a classe energética de um edifício de habitação. São também apresentados e caracterizados os equipamentos mais relevantes para a climatização e preparação de AQS de edifícios.

No capítulo 3 é apresentado o caso de estudo e o programa a utilizar para a sua caracterização. É explicado o processo de inserção de dados, com especial foco para as partes mais relevantes. No final deste capítulo, alguns dos resultados obtidos pelo programa são exibidos, salientando os valores que influenciam diretamente no cálculo para obtenção da classe de desempenho energético para duas situações distintas, fazendo variar o coeficiente de transmissão térmica ( $U$ ) das paredes exteriores.

O capítulo seguinte começa por caracterizar os equipamentos a aplicar no edifício em estudo para os diferentes sistemas: aquecimento, arrefecimento, preparação de AQS e energias de fonte renovável. Utilizando estes equipamentos foi então possível conceber cenários credíveis para aplicação ao caso de estudo. O principal objetivo é reconhecer de que forma é que cada cenário adotado interfere na classe de desempenho energético da habitação. Para além das instalações térmicas, é também estudada ainda a influência da localização geográfica do caso de estudo. Para tal, é realizado o mesmo procedimento para diferentes zonas do país.

O quinto e último capítulo é dedicado às conclusões aferidas do estudo realizado, com especial incidência nas metodologias aplicadas e nos resultados obtidos para os diferentes cenários e cidades.

# 2

## AVALIAÇÃO DA ENERGIA PRIMÁRIA NO REH

### 2.1. ENQUADRAMENTO

O certificado energético de um edifício é um documento muito importante para caracterização de um imóvel e a sua relevância tem crescido nos últimos anos. Este traduz o desempenho energético de um edifício, sendo que a um desempenho melhor, está associado um menor consumo de energia e consequentemente, a redução dos custos relacionados com esta. No entanto, entre dois edifícios semelhantes em que a única diferença seja o desempenho energético, o investimento inicial é geralmente superior para o edifício mais eficiente. Este documento assume uma grande importância especialmente na compra de um edifício, pois permite aos compradores ter uma visão mais aprofundada sobre as características dum imóvel contribuindo assim, para uma decisão mais fundamentada.

A publicação da Directiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010 vem introduzir novas disposições que visam o reforço do quadro de promoção do desempenho energético nos edifícios, à luz das metas e desafios acordados pelos Estados-Membros para 2020.

A transposição para o direito nacional desta Directiva deu origem ao Decreto-Lei n.º 118/2013, que aprova os seguintes regulamentos:

- Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE);
- Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH);
- Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e de Serviços (RECS).

Com a entrada em vigor desta nova legislação, que integra os regulamentos supracitados num só diploma, são revogados desta forma os seguintes documentos:

- Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE – D.L. n.º 78/2006 de 4 de abril);
- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE – D.L. n.º 80/2006 de 4 de abril);
- Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE – D.L. n.º 79/2006 de 4 de abril).

Em complemento a esta nova legislação, existem também Portarias e Despachos que são indispensáveis para a caracterização do edifício, e claro, para a determinação da sua classe energética.

Tendo em consideração os objetivos desta dissertação, é de salientar os seguintes:

- Despacho n.º 15793/2013-C/2013, que contém os modelos de certificação energética;
- Despacho n.º 15793/2013-D/2013, por quantificar os valores de fatores de conversão de energia útil para energia primária;
- Despacho n.º 15793/2013-H/2013, que quantifica a contribuição das energias de fonte renovável para o cálculo do desempenho energético;
- Despacho n.º 15793/2013-I/2013, que define as metodologias de cálculo das necessidades anuais nominais de energia útil para diferentes sistemas, para além das necessidades nominais anuais globais de energia primária;
- Despacho n.º 15793/2013-J/2013, que se refere às regras de determinação da classe energética;
- Portaria n.º 349-B/2013 de 29 de novembro, por referir as metodologias a adotar para o cálculo de valores limite de necessidades anuais nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, o cálculo do valor limite das necessidades nominais anuais de energia primária e por conter os valores de referência das eficiências dos equipamentos de climatização e preparação de AQS.
- Portaria n.º 349-C/2013 de 2 de dezembro, que contém as fichas de cálculo a utilizar pelos peritos para caracterização do edifício e determinação da classe energética.

Uma vez que o presente trabalho incide no estudo do desempenho energético de uma habitação, é de mencionar que, segundo a nova legislação e para edifícios deste tipo a determinação da classe energética assenta em dois pilares: o comportamento térmico e a eficiência dos sistemas. No entanto, esta dissertação vai incidir especialmente na eficiência dos sistemas.

## 2.2. CLASSE ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS

A classe energética dos edifícios é um parâmetro cuja importância tem vindo a aumentar mundialmente. A melhoria do desempenho energético está sempre associada à redução do consumo de energia e consequentemente dos custos, para além da minimização dos impactos ambientais.

A classe energética de um edifício de habitação é essencialmente determinada através da relação entre o imóvel em causa e este mesmo em condições de referência (Oliveira, 2014).

Segundo o Despacho n.º 15793-J/2013 a determinação da classe energética de um edifício de habitação é realizada através do rácio de classe energética ( $R_{Nt}$ ) (DGEG, 2013d):

$$R_{Nt} = \frac{N_{tc}}{N_t} \quad (1)$$

Em que,

$N_{tc}$  – Valor das necessidades nominais anuais de energia primária;

$N_t$  – Valor limite regulamentar para as necessidades nominais anuais de energia primária.

A Tabela 1 apresenta as oito classes energéticas existentes de acordo com os valores determinados para o rácio de classe energética ( $R_{Nt}$ ) em que F representa a classe menos eficiente possível e A+ representa o patamar máximo da eficiência energética. Note-se que, tal como será explicado no próximo subcapítulo, no caso de edifícios novos a classe energética nunca pode ser inferior a B-, por outras palavras,  $R_{Nt}$  nunca atinge valores superiores a 1.

Tabela 1 – Intervalos de valor para a determinação da classe energética em pré-certificados e certificados SCE de modelo tipo Habitação.

Classe Energética	Valor de $R_{Nt}$
A +	$R_{Nt} \leq 0,25$
A	$0,26 \leq R_{Nt} \leq 0,5$
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	$R_{Nt} \geq 2,51$

### 2.3. DEFINIÇÃO DE $N_{tc}$

Energia primária é o recurso energético que se encontra disponível na natureza (petróleo, gás natural, energia hídrica, energia eólica, biomassa, solar). Exprime-se, normalmente, em termos de massa equivalente de petróleo (quilograma equivalente de petróleo – kgep) ou em kilowatt-hora de energia primária ( $kWh_{ep}$ ). Há formas de energia primária (gás natural, lenha, sol) que também podem ser disponibilizadas directamente aos utilizadores, coincidindo nesses casos com a energia final (Gabinete para o Desenvolvimento do Sector Energético).

As necessidades nominais anuais de energia primária ou  $N_{tc}$  é o parâmetro que exprime a quantidade de energia primária correspondente à soma ponderada das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento ( $N_{ic}$ ), de arrefecimento ( $N_{vc}$ ), de preparação de águas quentes sanitárias e de ventilação mecânica, deduzidas de eventuais contribuições de fontes de energia renovável, tendo em consideração os sistemas adoptados ou, na ausência da sua definição, sistemas convencionais de referência, e os padrões correntes de utilização desses sistemas (DGEG, 2013c).

As metodologias de cálculo de  $N_{tc}$  encontram-se no Despacho n.º 15793-I/2013.

O seu cálculo pode ser efetuado de acordo com a seguinte expressão (DGEG, 2013c):

$$N_{tc} = \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_{ic}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{v,k} \cdot \delta \cdot N_{vc}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{a,k} \cdot Q_a / A_p}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \frac{W_{vm,j}}{A_p} \cdot F_{pu,j} - \sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} \cdot F_{pu,p} \quad (2)$$

O significado e as respetivas unidades das componentes integrantes para este cálculo encontram-se na

Tabela 2.

Tabela 2 – Significado das componentes integrantes para o cálculo de  $N_{tc}$  e respetivas unidades [adaptado de (DGEG, 2013c)]

Sigla	Significado	Unidade
$N_{ic}$	Necessidades nominais anuais de energia primária	$kWh_{ep}/(m^2 \cdot ano)$
$N_{ic}$	Necessidades de energia útil para aquecimento.	$kWh/(m^2 \cdot ano)$
$f_{i,k}$	Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema $k$ .	-
$N_{vc}$	Necessidades de energia útil para arrefecimento.	$kWh/(m^2 \cdot ano)$
$f_{v,k}$	Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema $k$ .	-
$Q_a$	Necessidades de energia útil para preparação de AQS.	$kWh/ano$
$f_{a,k}$	Parcela das necessidades de energia útil para preparação de AQS supridas pelo sistema $k$ .	-
$\eta_k$	Eficiência do sistema $k$ , que toma o valor de 1 no caso de sistemas para aproveitamento de fontes renováveis, à excepção de sistemas de queima de biomassa sólida em que deve ser usada a eficiência do sistema da queima.	-
$j$	Todas as fontes de energia incluindo as de origem renovável	-
$p$	Fontes de origem renovável	-
$E_{ren,p}$	Energia produzida a partir de fontes de origem renovável $p$ , incluindo apenas energia consumida.	$kWh/ano$
$W_{vm}$	Energia eléctrica necessária ao funcionamento dos ventiladores.	$kWh/ano$
$A_p$	Área interior útil de pavimento.	$m^2$
$F_{pu,j}$ e $F_{pu,p}$	Fator de conversão de energia útil para energia primária.	$kWh_{ep}/kWh$
$\delta$	Igual a 1, excepto para o uso de arrefecimento ( $N_{vc}$ ) em que pode tomar o valor 0 sempre que o fator de utilização de ganhos térmicos seja superior ao respetivo fator de referência, o que representa as condições em que o risco de sobreaquecimento se encontra minimizado.	-

Segundo o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), o valor de  $N_{tc}$  não pode exceder o valor máximo definido em portaria do membro do Governo responsável pela área da energia, ou seja,  $N_t$  e por esta razão os edifícios novos de habitação não apresentam rácios de classe energética inferior a 1. Por outras palavras, significa que segundo a legislação, a avaliação do desempenho energético de um edifício novo corresponderá no mínimo à classe energética B-.

Esse valor máximo, designado pela sigla  $N_t$ , é calculado admitindo o seguinte:

- A inexistência de consumos de energia associados à ventilação mecânica;
- A inexistência do contributo associado a sistemas de aproveitamento de energia renovável, incluindo os sistemas de energia solar para preparação de AQS;
- A consideração de valores de referência para o rendimento dos equipamentos ( $\eta_{ref,k}$ ).

Segundo a Portaria n.º 349-B/2013, o seu cálculo pode ser efectuado de acordo com a seguinte expressão (Governo, 2013):

$$N_t = \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_i}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{v,k} \cdot N_v}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{a,k} \cdot Q_a / A_p}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} \quad (3)$$

O significado e as respetivas unidades das componentes integrantes para este cálculo encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Significado das componentes integrantes para o cálculo de  $N_t$  e respetivas unidades [adaptado de (Governo, 2013)]

Sigla	Significado	Unidade
$N_t$	Valor máximo para as necessidades de energia primária	$\text{kWh}_{ep}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$
$N_i$	Valor máximo para as necessidades de energia útil para aquecimento.	$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$
$f_{i,k}$	Parcela das necessidades de energia de aquecimento supridas pelo sistema de referência $k$ .	-
$N_v$	Valor máximo para as necessidades de energia útil para arrefecimento.	$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$
$f_{v,k}$	Parcela das necessidades de energia de arrefecimento supridas pelo sistema de referência $k$ .	-
$Q_a$	Necessidades de energia útil para preparação de AQS, supridas pelo sistema $k$ .	$\text{kWh}/\text{ano}$
$f_{a,k}$	Parcela das necessidades de energia de preparação de AQS supridas pelo sistema de referência $k$ .	-
$\eta_{ref,k}$	Valores de referência para o rendimento dos diferentes tipos de sistema técnicos utilizados ou previstos para aquecimento ambiente, arrefecimento ambiente e preparação de AQS	-
$j$	Fonte de energia	-
$A_p$	Área interior útil de pavimento.	$\text{m}^2$
$F_{pu,j}$	Fator de conversão de energia primária de acordo com a fonte de energia do tipo de sistemas de referência utilizado, em quilowatt – hora de energia primária por kWh.	$\text{kWh}_{ep}/\text{kWh}$

É importante referir que, uma vez que neste trabalho se efetua um estudo dos equipamentos para climatização e preparação de AQS, a eficiência de um sistema não depende somente da eficiência do equipamento. É importante garantir que o sistema está bem instalado e que está a ser utilizado de uma forma correta, por forma a aproveitar o máximo da eficiência dos equipamentos envolvidos. Porém, visto que é extremamente complicado quantificar a eficiência de um sistema tendo em consideração este aspeto, para efeito de cálculo, a eficiência considerada é apenas a eficiência do equipamento envolvido, desprezando assim as eventuais perdas causadas por uma instalação deficiente ou incompatível e assumindo que o utente gere a utilização do equipamento duma forma inteligente.

## 2.4. FATORES DE CONVERSÃO

Como referido anteriormente, o valor das necessidades nominais anuais de energia primária é representado em kilowatt-hora de energia primária por metro quadrado por ano. Como se pode verificar pela fórmula, o fator de conversão de energia útil para energia primária ( $F_{pu,j}$  e  $F_{pu,p}$ ) é o elemento da equação que transforma as unidades de kilowatt-hora para kilowatt-hora de energia primária.

Para melhor compreensão do que representa este fator é incontornável definir alguns conceitos, nomeadamente os de energia primária, secundária, final e útil.

Uma vez que a energia primária já foi definida anteriormente, procede-se então à definição de energia secundária, que surge pela impossibilidade de consumo da energia sob a sua forma natural (energia primária), que tem de ser alvo de uma ou mais transformações, tendo em vista a sua aptidão para o consumo. Estes processos são realizados em centros de transformação (refinarias de petróleo, centrais elétricas, etc.) e aos quais estão sempre associadas perdas de energia (Gabinete para o Desenvolvimento do Sector Energético).

A energia final é a energia que é disponibilizada aos utilizadores sob diferentes formas (gás natural, eletricidade, biomassa, etc.) e quantifica-se com as unidades mais apropriadas para cada finalidade (kilowatt-hora, kilogramas, metros cúbicos, etc.).

Finalmente surge a energia útil, que se caracteriza pelo uso da energia final através de determinados equipamentos e para o efeito pretendido pelo utilizador. Neste processo existem naturalmente perdas associadas ao transporte e eficiência dos equipamentos. Na Figura 1 está representada a transformação da energia desde que surge até ser utilizada.

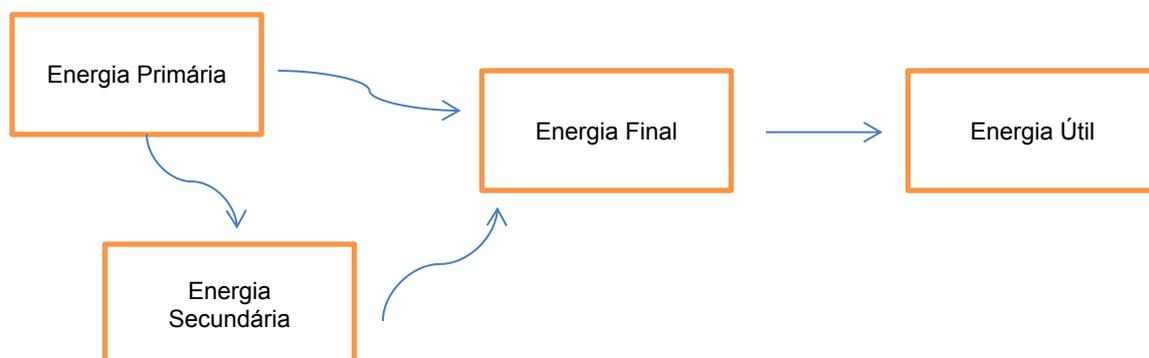


Figura 1 – Transformação de energia.

Segundo o Despacho n.º 15793-D/2013, o valor do fator de conversão de energia útil para energia primária pode tomar os seguintes valores (DGEG, 2013a):

- $F_{pu} = 2,5 \text{ kWh}_{ep}/\text{kWh}$  para eletricidade independentemente da origem (renovável ou não);
- $F_{pu} = 1,0 \text{ kWh}_{ep}/\text{kWh}$  para combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos não renováveis.

No caso de energia térmica de fonte de origem renovável,  $F_{pu}$  assume o valor de  $1 \text{ kWh}_{ep}/\text{kWh}$ .

A definição destes valores é um assunto complexo que depende do país em causa.

Não existe uma abordagem unificada em regulamentos europeus sobre a forma de calcular a energia primária na avaliação do desempenho energético dos edifícios. Cada Estado Membro pode selecionar o método de cálculo de energia primária que desejar (Gavalda *et al.*, 2014).

O valor deste fator para energias de fonte não renováveis, tal como o gás, é usualmente muito próximo de 1, pois o seu modo de obtenção é semelhante para todos os casos. No entanto, existem muitos métodos diferentes de geração de eletricidade e, naturalmente, cada país tem uma distribuição de fontes de energia diferente, o que causa uma diferença de valores mais evidente. Aliado a isso está o facto de o  $F_{pu}$  para a eletricidade na Europa também estar sujeito a mudanças como a evolução das energias renováveis até 2050.

Diferentes redes de captação de eletricidade, metodologias de cálculo e uma constante evolução da produção de eletricidade a partir de fontes de energia renovável levantam uma série de questões em relação ao modo como a energia primária influencia as decisões de cariz político e de construção. Avaliar o desempenho dos edifícios torna-se problemático, particularmente no que diz respeito ao espaço de climatização (gás versus eletricidade) (E. Molenbroek, 2011).

O  $F_{pu}$  para a eletricidade para a maioria dos países é de aproximadamente  $2,6 \text{ kWh}_{ep}$ . A Tabela 4 apresenta o valor que este fator assume em alguns países europeus.

Tabela 4 – Valores de  $F_{pu}$  em  $\text{kWh}_{ep}$  para eletricidade de diferentes países da União Europeia.

País	França	Holanda	Alemanha	Polónia	Espanha	Suécia	Grã-Bretanha	Portugal
$F_{pu}$	2,58	2,60	2,56	3,00	2,60	2,00	2,92	2,50

## 2.5. CALDEIRAS E ESQUENTADORES A GÁS

### 2.5.1. O QUE SÃO?

As caldeiras são equipamentos destinados ao aquecimento de águas para climatização e para preparação de águas quentes sanitárias (AQS). O conceito de caldeira somente para funções de aquecimento já não é tão frequente como outrora foi, sendo hoje muito mais usual uma caldeira fornecer água para aquecimento ambiente e preparação de AQS.

Há dois tipos de caldeira a referenciar: as caldeiras convencionais e as caldeiras de condensação (Figura 2). Dentro destes dois tipos há várias diferenças, nomeadamente em relação à forma como é admitido e extraído o ar, para além da potência.



Figura 2 – Caldeira de condensação.

#### 2.5.2. FUNCIONAMENTO DE UM CALDEIRA/ESQUENTADOR

A caldeira é constituída por um queimador cuja função é aquecer o ar presente na câmara de combustão e que é alimentado por um combustível, usualmente gás natural. Este ar, ao ser aquecido, é direcionado para um permutador situado no topo da câmara de combustão. O permutador é o elemento responsável pela transferência do calor presente no ar aquecido para a água fria proveniente do sistema de distribuição de águas. Após a passagem pelo permutador, a água está aquecida e pronta para sair da caldeira, para os sistemas de aquecimento e AQS.

Este é o funcionamento genérico de uma caldeira ou de um esquentador. No entanto, o aquecimento de águas para os dois sistemas pode ser diferente e isso está relacionado com a disposição interior das tubagens. Enumeram-se as disposições mais comuns:

- As tubagens de água para aquecimento ambiente e do sistema de AQS percorrem a caldeira paralelamente, passando por um permutador bitérmico;
- As tubagens dos diferentes sistemas entram na caldeira e juntam-se numa, passando num permutador monotérmico, separando-se no final do percurso;
- A tubagem destinada ao aquecimento ambiente percorre normalmente a caldeira, passando pelo permutador monotérmico, enquanto que a água destinada ao sistema de AQS é aquecida pela anterior quando esta é forçada a encaminhar-se para um permutador de placas, através de uma válvula de três vias.

Durante o processo de aquecimento de água das caldeiras, há libertação de gases provenientes da queima do combustível, que, no caso das caldeiras de condensação, são também aproveitados para o aquecimento da água. Isto ocorre porque, antes da sua extração para o exterior, estes gases são conduzidos para outro permutador que transfere calor para a água antes desta ser dirigida para o permutador principal. Nesta transferência são originados certos resíduos ácidos que são recolhidos por outra componente da caldeira, projetado para o efeito.

As caldeiras também se caracterizam pelo sistema de admissão e extração do ar. As de ventilação natural admitem o ar interior da vizinhança e expõem os gases para o exterior sem auxílio mecânico. Já as caldeiras ventiladas e as estanques, contêm um ventilador que força a saída dos gases de combustão. No entanto, o ar de admissão da ventilada é proveniente da vizinhança interior enquanto que a estanque tem um sistema de admissão de ar proveniente do exterior.

A maior parte das caldeiras existentes em edifícios de habitação são caldeiras murais a gás, no entanto há outro tipo de caldeiras, as caldeiras de chão. Estas são essencialmente úteis para necessidades maiores de aquecimento de águas, principalmente quando há necessidade simultânea de preparação de águas quentes sanitárias e de aquecimento central, sendo mais utilizadas em moradias unifamiliares de maiores dimensões e em empresas.

A diferença entre caldeira a gás e esquentador, em termos de legislação, é o facto de o esquentador possuir regulador de temperatura. Contudo, no ramo comercial, a diferença é assumida por o esquentador ser um equipamento dedicado apenas para a preparação de AQS, de ser um aparelho de dimensões menores e de funcionamento e constituição mais simples.

### 2.5.3. EFICIÊNCIA DE UMA CALDEIRA/ESQUENTADOR

Os produtores disponibilizam catálogos dos seus produtos, com referência as características destes (ficha técnica), nomeadamente a sua potência, capacidade, eficiência nominal e parcial.

- A potência é a quantificação de energia por unidade de tempo, que é utilizada para o aquecimento da água. Normalmente assume valores mais elevados para a preparação de águas quentes do que para a climatização.
- A capacidade de um equipamento destes está associada à potência útil e representa a quantidade de litros que este é capaz de aquecer por minuto, em regime de potência máxima.
- A eficiência nominal destes equipamentos é dada pela seguinte fórmula:

$$\eta_{nom} = \frac{\text{Calor transferido ao fluido}}{\text{Calor fornecido ao combustível}} = \frac{\text{Calor transferido ao fluido}}{\text{Massa de Combustível} \times \text{PCI}} \quad (4)$$

Em que PCI corresponde ao Poder Calorífico Interior, que depende do combustível a usar. A eficiência nominal é determinada à carga total. Porém existe frequentemente nas fichas técnicas dos equipamentos a indicação da eficiência a carga parcial (30% da carga total).

Pela análise de catálogos disponibilizados pelos fabricantes é possível concluir que os modelos à venda atualmente pelas diferentes marcas tem uma eficiência total de carga nominal bastante elevada a rondar os 92% para as caldeiras e os 88% para os esquentadores. Já os valores de eficiência à carga parcial são em média 90% para as caldeiras e 80% para os esquentadores (Vulcano, 2014a). Segundo a legislação anterior, o valor de eficiência a considerar para o cálculo de  $N_{tc}$  era o de eficiência à carga parcial (Adene, 2011). No entanto, na nova legislação o valor a assumir é o de eficiência total à carga total.

Segundo o REH, a classe de eficiência energética mínima para caldeiras atualmente é B, sendo que a partir de 31 de Dezembro de 2015 passará a ser a A. A Tabela 5 contém os intervalos de rendimentos nominais associados à classe de eficiência energética das caldeiras e esquentadores.

Tabela 5 – Eficiência nominal de caldeiras e esquentadores. Adaptado de: tabela I.16 da Portaria n.º 349-B/2013.

	Classe de eficiência energética	Rendimento nominal ( $\eta$ )
	Caldeiras	A++ (1)
A+ (2)		$96\% \geq \eta > 92\%$
A		$92\% \geq \eta > 89\%$
B		$89\% \geq \eta > 86\%$
C		$86\% \geq \eta > 83\%$
D		$83\% \geq \eta > 80\%$
E		$80\% \geq \eta > 77\%$
	F	$\eta \leq 77\%$
Esquentadores	Potência (kW)	Rendimento
	$\leq 10 \text{ kW}$	$\geq 0.82$
	$> 10 \text{ kW}$	$\geq 0.84$

(1) – A temperatura de retorno deverá ser inferior a 50°C (caldeiras a gás) ou 45°C (caldeiras a gasóleo).

(2) – A temperatura média da água na caldeira deverá ser inferior a 60°C.

Nota 1: As classes C a F correspondem a aparelhos fabricados antes de 1996.

Nota 2: As caldeiras de potência útil superior a 400 kW deverão evidenciar um rendimento útil superior ou igual ao exigido para aquela potência.

Atualmente, existe uma diretiva europeia: a Directiva 92/42 CEE 6, que produtores utilizam na determinação da eficiência das caldeiras de acordo com a sua potência.

Os diferentes tipos de caldeiras devem respeitar determinados níveis de rendimento úteis:

— à potência nominal, isto é, em funcionamento à potência nominal  $P_n$  expressa em kW e para uma temperatura média da água na caldeira de 70 °C;

— em carga parcial, isto é, em funcionamento em carga parcial de 30% para uma temperatura média da água na caldeira variável em função do tipo de caldeira.

Os níveis de rendimento úteis a respeitar constam na seguinte tabela:

Tabela 6 – Determinação de Rendimento de Caldeiras segundo a Directiva 92/42CEE6.

Tipos de Caldeiras	Intervalos de Potência kW	Rendimento à Potência Nominal		Rendimento em Carga Parcial	
		Temperatura média da água da caldeira (em °C)	Expressão da exigência de rendimento (em %)	Temperatura média da água na caldeira (em °C)	Expressão da exigência de rendimento (em %)
Caldeiras Padrão	4 a 400	70	$\geq 84 + 2\log P_n$	$\geq 50$	$\geq 80 + 3\log P_n$
Caldeiras de Baixa Temperatura (*)	4 a 400	70	$\geq 87.5 + 1.5\log P_n$	40	$\geq 87.5 + 1.5\log P_n$
Caldeiras de gás de condensação	4 a 400	70	$\geq 91 + 1\log P_n$	30(**)	$\geq 97 + 1\log P_n$

(\*) Incluindo as caldeiras de condensação que utilizem combustíveis líquidos.  
(\*\*) Temperatura da água de alimentação da caldeira.  
 $P_n$  – Potência nominal, em kW, da caldeira.

Muitas das marcas definem ainda a eficiência dos seus equipamentos através duma classificação por estrelas, com cálculo definido por esta diretiva. Na Tabela 7 está representado o método de classificação por estrelas (92/42/CEE, 1992).

Tabela 7 – Classificação por estrelas de caldeiras a gás.

Estrelas	Requisito de eficiência à Potência Nominal e água a temperatura média de 70 °C [%]	Requisito de eficiência à Carga Parcial e água a temperatura média de $\geq 50$ °C [%]
★	$\geq 84 + 2\log P_n$	$\geq 80 + 3\log P_n$
★★	$\geq 87 + 2\log P_n$	$\geq 83 + 3\log P_n$
★★★	$\geq 90 + 2\log P_n$	$\geq 86 + 3\log P_n$
★★★★	$\geq 93 + 2\log P_n$	$\geq 89 + 3\log P_n$

$P_n$  – Potência nominal, em kW, da caldeira.

A eficiência destes equipamentos para a preparação de AQS é normalmente considerada igual à do aquecimento central, sendo certo que o facto da água destinada para AQS é proveniente de uma rede externa que não estará certamente nas mesmas condições que a água destinada ao aquecimento central, que circula num circuito interno. A eventual diferença de temperaturas da água antes de se proceder ao aquecimento é relevante, pois altera o valor de eficiência.

Na Grã-Bretanha para efeitos de cálculo de eficiência real deste tipo de equipamentos é utilizado o método de *SEDBUK* e o cálculo de eficiência de Inverno e de Verão.

Contudo, o método de *SEDBUK* (*Seasonal Efficiency of Domestic Boilers in the United Kingdom*), é somente um valor de referência e já não integra nenhum cálculo posterior. O cálculo de eficiência de Inverno é utilizado para equipamentos de aquecimento do espaço. O cálculo de eficiência de Verão é aplicado para a preparação de AQS. A eficiência destinada ao AQS de Verão é calculada considerando-se uma combinação das duas estações (Government, 2009).

O cálculo destes indicadores baseia-se nos seguintes fatores:

- Padrões de uso doméstico típico;
- Clima do Reino Unido;
- Tipo de Caldeira;
- Ignição;
- Combustível usado;
- Dimensões da caldeira.

Ao analisar os catálogos das marcas comerciais que utilizam este sistema de classificação energética como a *British Gas*, *Baxi*, *Worcester*, *Vaillant*, *Potterton*, entre outras, conclui-se que atualmente os modelos de caldeiras para venda têm a classificação de A, com um valor de eficiência em média, a rondar os 90% tal como acontece com os modelos disponíveis em Portugal.

## 2.6. BOMBAS DE CALOR E MÁQUINAS FRIGORÍFICAS

### 2.6.1. O QUE SÃO?

O conceito de bombas de calor nasceu com o intuito de aquecer o ambiente interior através do aquecimento de águas. No entanto, com o desenvolvimento das tecnologias, estes equipamentos são hoje em dia associados aos sistemas de climatização e de preparação de AQS (Figura 3). No sentido

inverso, as máquinas frigoríficas são equipamentos que foram criados com a intenção de arrefecer o ambiente interior. Os primeiros ar-condicionados com função de arrefecimento eram máquinas frigoríficas, mas tal como no caso das bombas de calor e devido ao desenvolvimento tecnológico, estes adquiriram a capacidade de fornecer calor ao ambiente interior revertendo o ciclo de funcionamento. Desta forma surgiu o conceito de bomba de calor reversível.



Figura 3 – Bomba de Calor para preparação de AQS.

Tendencialmente, as marcas diferenciam o conceito de bomba de calor e de ar-condicionado. Usualmente, as bombas de calor são sistemas de ar-água, normalmente com função de aquecimento central e preparação de AQS, associados a uma rede de ventilo-convectores. Um ar-condicionado é um sistema normalmente ligado aos equipamentos que recorrem ao ar exterior para alterar a temperatura do ar interior. O facto de ambos serem essencialmente bombas de calor causa algumas dúvidas nomeadamente do âmbito legislativo.

#### 2.6.2. COMO FUNCIONAM?

As bombas de calor são equipamentos cujo funcionamento tem como finalidade fornecer calor a um ambiente quente (interior) a partir de uma fonte fria. As máquinas frigoríficas são equipamentos do mesmo cariz, mas com o principal objetivo de retirar calor do ambiente frio (interior).

Do ponto de vista termodinâmico estes dois equipamentos são iguais. Existe um sistema de tubos que faz a ligação a quatro elementos essenciais da bomba de calor: evaporador, compressor, condensador e válvula de expansão. Neste sistema circula um fluído, designado fluído refrigerante, que vaporiza ao receber calor e condensa ao perdê-lo.

O fluído, quando presente no evaporador encontra-se no estado líquido a baixa pressão e ao absorver calor da fonte fria, vaporiza-se e torna-se gás a baixa pressão. Este é encaminhado para o compressor que ao atuar sobre este vapor, aumenta a sua pressão e a sua temperatura. De seguida o vapor passa para condensador que permite transmitir o calor para o ambiente a aquecer causando que o fluído

passa para o estado líquido, ainda a alta pressão. Devido à ação da válvula de expansão a pressão e a temperatura diminuem. Este ciclo encontra-se representado na Figura 4 (Energy, 2001).

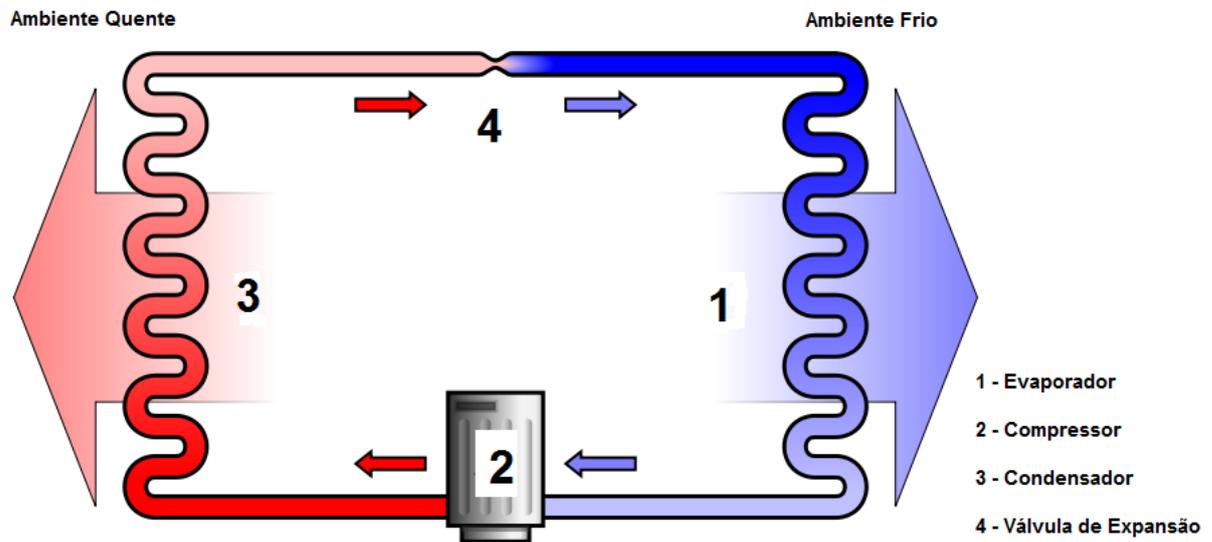


Figura 4 - Ciclo de uma Bomba de Calor.

Existem diversos tipos de bombas de calor, com diferentes fontes de calor, nomeadamente:

- Solo (geotérmica) – a mais estável;
- Água – corre o risco de congelar;
- Ar – aceitável em climas moderados, apresentando custos de instalação inferiores.

Não obstante, há também diferentes destinos para o calor e como tal, há bombas de diferentes relações entre fonte de calor e fluido de permuta, tais como:

- Água – água;
- Água – ar;
- Ar – água;
- Ar – ar;
- Solo – água;
- Solo – ar.

Os aparelhos de ar-condicionado tipicamente aplicados em habitações como referido anteriormente, não são normalmente denominados como bombas de calor. No entanto funciona da mesma forma que estas. Existem vários tipos de equipamentos de ar-condicionado:

- sistemas *split*, assim denominado por ter uma unidade interior que integra o evaporador e outra exterior que contém o condensador;
- *multisplit*, que tal como o nome sugere, é um conjunto de unidades interiores servida por uma exterior.
- sistemas compactos, que são unidades independentes que funcionam sem auxílio de outra.

Entre os sistemas *multisplit*, há um sistema designado por *VFR* (*variable refrigerant flow*), em Portugal mais conhecido por *VRV* (volume de refrigerante variável), que foi desenvolvido especialmente para residências amplas e edifícios comerciais de grande porte. Uma unidade exterior deste tipo de equipamentos é capaz de servir até 64 unidades interiores. A principal característica destes sistemas é o facto de constituir o único ar-condicionado que ajusta continuamente o volume de fluido frigorigéneo no sistema para corresponder exatamente ao requisito de aquecimento, ou arrefecimento em cada área, para um ótimo conforto e uma eficiência energética máxima (Daikin).

Para além destes, há também a referir os sistemas de ar-condicionado compactos, caracterizados por terem a capacidade de funcionarem autónomamente, sem auxílio de outra unidade. Estes tanto podem ser pequenas unidades para climatização de uma sala ou quarto, como podem constituir um sistema de grande porte para climatizar um edifício de maiores dimensões.

Ainda relativamente às unidades compactas, é de salientar os equipamentos do tipo *Rooftop*, que são equipamentos cuja unidade é geralmente colocada na cobertura dos edifícios, com funções de aquecimento ou arrefecimento. Mesmo, em alguns modelos, há a possibilidade de ventilar ar novo, contribuindo assim para regular a sua entrada e melhorar qualidade do ar interior. Estas unidades são ajustáveis podendo servir uma variada gama de edifícios conforme as dimensões destes, mas são utilizadas principalmente em edifícios de médio a grande porte. (Daikin).

As unidades interiores também podem ser de vários tipos: de parede, de teto e de chão.

Os sistemas de arrefecimento dos edifícios de habitação modernos geralmente são compostos por uma ou duas unidades exteriores do tipo *multisplit* de potências adequadas, com ligação a unidades de ar-condicionado de parede nas divisões mais relevantes.

Na Figura 5 está representado um exemplo de sistema de ar-condicionado *multisplit* do tipo ar-ar, com várias unidades interiores, servidas por apenas por uma unidade exterior.



Figura 5 – Exemplo de sistema *multisplit* com unidades interiores de diferentes tipos.

### 2.6.3. EFICIÊNCIA DE UMA BOMBA DE CALOR

A eficiência de uma bomba de calor é dada pelo *Coefficient of Performance (COP)* enquanto que no caso das máquinas frigoríficas, corresponde ao valor do *Energy Efficiency Ratio (EER)*:

*Coefficient of Performance:*

$$C.O.P = \frac{\text{Potencia Calorifica}}{\text{Potencia electrica consumida}} = \eta_h \cdot \frac{T_h}{T_h - T_{ext}} \quad (5)$$

*Energy Efficiency Ratio:*

$$E.E.R = \eta_c \cdot \frac{T_c}{T_{ext} - T_c} \quad (6)$$

Em que:

$\eta_h$  – rendimento associado ao motor elétrico da bomba de calor;

$T_h$  - Temperatura interior (quente) [K];

$T_c$  – Temperatura interior (fria) [K];

$T_{ext}$  – Temperatura exterior [K].

Estes equipamentos funcionam a eletricidade e quanto maior for a diferença de temperatura, maior a diferença de pressão necessária e, conseqüentemente, maior a energia requerida para comprimir o fluido. Portanto, para todas as bombas de calor, o *COP* ou *EER* decresce com o aumento da diferença de temperatura. As figuras seguintes representam a variação, em percentagem do valor da eficiência de um equipamento de ar condicionado *monosplit* de 2,6 a 3,5 kW de potência, consoante a temperatura exterior. Na determinação do gráfico referente ao aquecimento foi considerada uma temperatura interior de 20° C enquanto que para o gráfico relativo ao arrefecimento foi de 27° C.

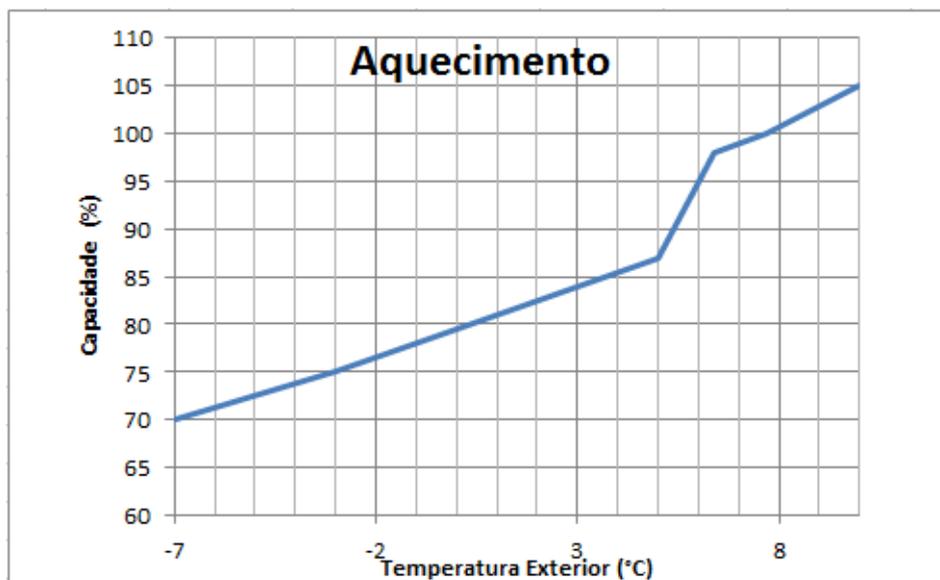


Figura 6 – Variação do *COP* em percentagem [adaptado de (Termotechnology, 2013)].

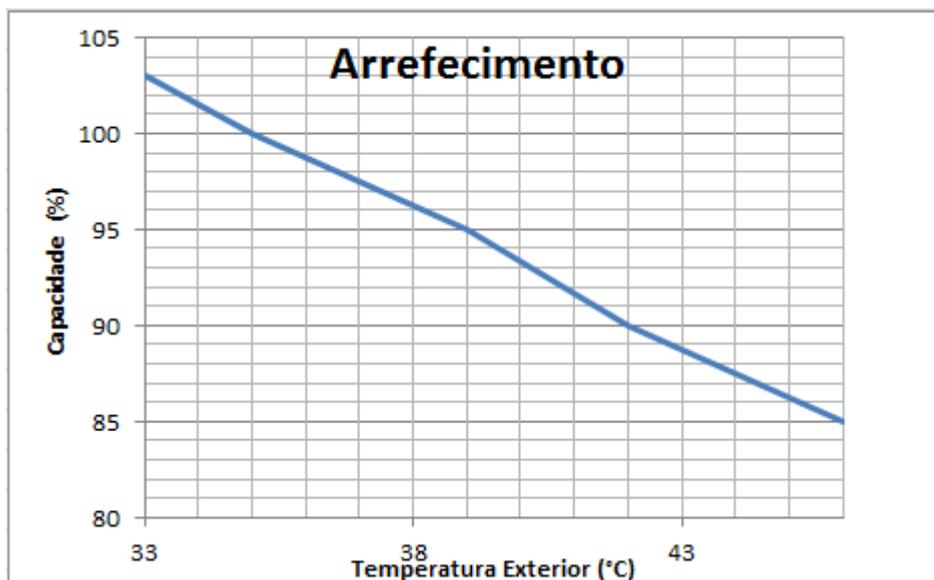


Figura 7 – Variação do *EER* em percentagem [adaptado de (Termotechnology, 2013)].

As bombas de calor são equipamentos bastante eficientes, com valores de *COP* que normalmente, rondam os 3 a 5, o que significa que para uma unidade de eletricidade consumida, este equipamento é capaz de produzir 3 a 5 unidades de energia sob a forma de calor.

Segundo o REH, atualmente os sistemas deste género têm de garantir uma classe de eficiência, em função da sua classificação pelo certificado do Eurovent, de pelo menos, C, sendo certo que após 31 de Dezembro de 2015 a classe de eficiência mínima será a B.

Nas seguintes tabelas está representada a classificação do desempenho de unidades deste tipo que não estão classificadas pela *Eurovent* (Governo, 2013).

Tabela 8 – Classificação do desempenho de unidades *split*, *multisplit*, *VRF* e compactas, com permuta ar-ar.

Classe	Unidades com permuta exterior a ar			
	Arrefecimento		Aquecimento	
	Unidades <i>split</i> , <i>multisplit</i> e <i>VRF</i>	Unidades compactas	Unidades <i>split</i> , <i>multisplit</i> e <i>VRF</i>	Unidades compactas
A	$EER > 3,20$	$EER > 3,00$	$COP > 3,60$	$COP > 3,40$
B	$3,20 \geq EER > 3,00$	$3,00 \geq EER > 2,80$	$3,60 \geq COP > 3,40$	$3,40 \geq COP > 3,20$
C	$3,00 \geq EER > 2,80$	$2,80 \geq EER > 2,60$	$3,40 \geq COP > 3,20$	$3,20 \geq COP > 3,00$
D	$2,80 \geq EER > 2,60$	$2,60 \geq EER > 2,40$	$3,20 \geq COP > 2,80$	$3,00 \geq COP > 2,60$
E	$2,60 \geq EER > 2,40$	$2,40 \geq EER > 2,20$	$2,80 \geq COP > 2,60$	$2,60 \geq COP > 2,40$
F	$2,40 \geq EER > 2,20$	$2,20 \geq EER > 2,00$	$2,60 \geq COP > 2,40$	$2,40 \geq COP > 2,20$
G	$EER \leq 2,20$	$EER \leq 2,00$	$COP \leq 2,40$	$COP \leq 2,20$

Tabela 9 - Classificação do desempenho de unidades *split*, *multisplit*, *VRF* e compactas, com permuta ar-água.

Classe	Unidades com permuta exterior a água			
	Arrefecimento		Aquecimento	
	Unidades <i>split</i> , <i>multisplit</i>	Unidades compactas	Unidades <i>split</i> , <i>multisplit</i>	Unidades compactas
A	$EER > 3,60$	$EER > 4,40$	$COP > 4,00$	$COP > 4,70$
B	$3,60 \geq EER > 3,30$	$4,40 \geq EER > 4,10$	$4,00 \geq COP > 3,70$	$4,70 \geq COP > 4,40$
C	$3,30 \geq EER > 3,10$	$4,10 \geq EER > 3,80$	$3,70 \geq COP > 3,40$	$4,40 \geq COP > 4,10$
D	$3,10 \geq EER > 2,80$	$3,80 \geq EER > 3,50$	$3,40 \geq COP > 3,10$	$4,10 \geq COP > 3,80$
E	$2,80 \geq EER > 2,50$	$3,50 \geq EER > 3,20$	$3,10 \geq COP > 2,80$	$3,80 \geq COP > 3,50$
F	$2,50 \geq EER > 2,20$	$3,20 \geq EER > 2,90$	$2,80 \geq COP > 2,50$	$3,50 \geq COP > 3,20$
G	$EER \leq 2,20$	$EER \leq 2,90$	$COP \leq 2,50$	$COP \leq 3,20$

Tabela 10 – Classificação do desempenho de unidades do tipo *Rooftop*.

Classes	Unidades com permuta exterior a ar		Unidades com permuta exterior a água	
	Arrefecimento	Aquecimento	Arrefecimento	Aquecimento
A	$EER > 3,00$	$COP > 3,40$	$EER > 4,40$	$COP > 4,70$
B	$3,00 \geq EER > 2,80$	$3,40 \geq COP > 3,20$	$4,40 \geq EER > 4,10$	$4,70 \geq COP > 4,40$
C	$2,80 \geq EER > 2,60$	$3,20 \geq COP > 3,00$	$4,10 \geq EER > 3,80$	$4,40 \geq COP > 4,10$
D	$2,60 \geq EER > 2,40$	$3,00 \geq COP > 2,60$	$3,80 \geq EER > 3,50$	$4,10 \geq COP > 3,80$
E	$2,40 \geq EER > 2,20$	$2,60 \geq COP > 2,40$	$3,50 \geq EER > 3,20$	$3,80 \geq COP > 3,50$
F	$2,20 \geq EER > 2,00$	$2,40 \geq COP > 2,20$	$3,20 \geq EER > 2,90$	$3,50 \geq COP > 3,20$
G	$EER \leq 2,00$	$COP \leq 2,20$	$EER \leq 2,90$	$COP \leq 3,20$

Tabela 11 – Classificação do desempenho de unidades do tipo *chiller* bomba de calor de compressão.

Classes	Unidades com permuta exterior a ar		Unidades com permuta exterior a água	
	Arrefecimento	Aquecimento	Arrefecimento	Aquecimento
A	$EER \geq 3,10$	$COP \geq 3,20$	$EER \geq 5,05$	$COP \geq 4,45$
B	$3,10 > EER \geq 2,90$	$3,40 > COP \geq 3,00$	$5,05 > EER \geq 4,65$	$4,45 \geq COP \geq 4,15$
C	$2,90 > EER \geq 2,70$	$3,00 > COP \geq 2,80$	$4,65 > EER \geq 4,25$	$4,15 \geq COP \geq 3,85$
D	$2,70 > EER \geq 2,50$	$2,80 > COP \geq 2,60$	$4,25 > EER \geq 3,85$	$3,85 \geq COP \geq 3,55$
E	$2,50 > EER \geq 2,30$	$2,60 > COP \geq 2,40$	$3,85 > EER \geq 3,45$	$3,55 \geq COP \geq 3,25$
F	$2,30 > EER \geq 2,10$	$2,40 > COP \geq 2,20$	$3,45 > EER \geq 3,05$	$3,25 \geq COP \geq 2,95$
G	$EER < 2,10$	$COP < 2,20$	$EER < 3,05$	$COP < 2,95$

As bombas de calor para preparação de água quente destinada a climatização e preparação de AQS devem apresentar o certificado “*European Quality Label for Heat Pumps*” representado na Figura 8, ou em alternativa, prova de que o seu desempenho foi avaliado pelo mesmo referencial normativo, EN 14511, obtendo um *COP* mínimo de 2,3.

As bombas de preparação exclusiva de AQS devem ter um desempenho determinado de acordo com EN 16147 caracterizado por um *COP* mínimo de 2,3.



Figura 8 - Símbolo do certificado “European Quality Label for Heat Pumps”.

## 2.7. CALDEIRAS A *PELLETS*

Os *pellets* (Figura 8) são pequenos cilindros de madeira seca prensada (usualmente serrim e estilha provenientes da indústria da serração e resíduos da exploração florestal), com valores restritos e controlados de humidade, resina e água.



Figura 9 – Embalagem de Pellets (Timberexchange).

A sua alta densidade resulta num grande poder calorífico, em dimensões compactas e fácil armazenamento (normalmente em sacos de 15 Kg).

A norma europeia para certificação deste material é a CSN EN 14961-2 (ANPEB).

Os *pellets* certificados apresentam as características indicadas na Tabela 12.

Tabela 12 – Requisitos de *Pellets*.

Comprimento máximo	30 mm
Diâmetro	6 mm
Humidade	< 10%
Poder calorífico	5 kW / kg
Densidade	650 Kg / m <sup>3</sup>
Teor de cinzas	< 0,5%

A utilização deste material traduz-se nas diversas vantagens, tais como:

- É limpo, pois a quantidade de gases nocivos produzidos na sua combustão é muito reduzida;
- Liberta menos fumo na sua combustão do que os combustíveis mais utilizados;
- É barato;
- Não só não é necessário cortar árvores para a sua produção como também a sua extração contribui para a limpeza das florestas e conseqüentemente, para a diminuição da propagação dos incêndios;
- Estão previstos benefícios fiscais para a aquisição de sistemas que funcionem neste tipo de combustível.

Segundo a tabela I.19 do anexo relativo aos requisitos de conceção para edifícios novos e intervenções, integrados na Portaria n.º 349-B/2013, as caldeiras a *pellets*, pertencente ao grupo das caldeiras a combustível sólido, granulado, tem o requisito de eficiência mínimo estabelecido pela norma europeia EN 12809 de 0,85.

No mercado existem modelos para diferentes capacidades de *pellets*, 70 Kg, 175 Kg, 225 Kg, e 295 Kg, com rendimentos na ordem dos 92% (ENAT, 2014).

## 2.8. RECUPERADORES DE CALOR E SALAMANDRAS

Os recuperadores de calor são sistemas muito semelhantes às lareiras, mas concebidos com a intenção de atingir eficiências mais elevadas. A função destes equipamentos é de aquecimento através da combustão de lenha. O calor é emanado através do vidro e pela estrutura envolvente, que pode ter tubagens que transportem o calor para outras divisões do edifício. O equipamento é idêntico a uma lareira convencional, mas fechada. A maioria dos recuperadores de calor consegue funcionar através do ar novo proveniente das portas e janelas do edifício, mas há casos em que a quantidade de entrada de ar se revela insuficiente, sendo assim necessário construir uma grelha de ventilação numa parede exterior próxima do recuperador de calor.

Não obstante, o material deste tipo de equipamentos tem de apresentar boa qualidade, pois é frequente que materiais mais fracos se deteriorem muito rapidamente. A porta geralmente é em vidro vitrocerâmico e as peças metálicas são normalmente em ferro fundido ou chapa de aço.

As salamandras, também conhecidas como estufas, são soluções de aquecimento bastante utilizadas em Portugal. Este equipamento consiste no aproveitamento do calor resultante da combustão de lenha, carvão ou *pellets*, num compartimento fechado. Este calor é transferido para a chapa, que por sua vez, em contacto com o ambiente, o transfere para o ar interior. Estes equipamentos são normalmente constituídos por ferro fundido e por um tubo de exaustão vertical até ao telhado do edifício.

Segundo a tabela I.19 do anexo referente aos requisitos de conceção para edifícios novos e intervenções, integrado na Portaria n.º 349-B/2013, os recuperadores de calor e salamandras, têm o requisito de eficiência mínimo de 0,75 estabelecido pelas normas europeias EN 13229, EN 13240 e EN 14785.

## 2.9. COLETORES SOLARES

Os coletores solares são equipamentos solar térmicos que convertem radiação solar em calor. Estes são revestidos por um material plástico que absorve a radiação incidente e a impede de sair, criando efeito estufa, aumentando a radiação a ser absorvida pelos restantes componentes. O interior destes equipamentos é constituído por uma placa metálica que absorve a radiação solar e que normalmente assume uma tonalidade escura por forma a diminuir a percentagem de radiação refletida. Dentro desta placa, através de tubos de metal, circula um fluido térmico que absorve o calor da placa. Este por sua vez é transferido para a água presente no depósito através de um permutador.

Este depósito situa-se no topo do painel no caso dos sistemas por termossifão em que a circulação do fluido térmico é causada pela diferença de densidades ao longo do seu percurso. Nos casos em que é inviável colocar o depósito no topo do painel, a circulação do fluido térmico é forçada através de bombas eletrocirculadoras, originando o sistema de circulação forçada.

Este tipo de sistema é bastante popular, pois contribui para o aquecimento de águas quentes aproveitando uma fonte de energia renovável, não emitindo nenhum gás nocivo para o ambiente, contribuindo assim não só para a eficiência energética, mas também para um ambiente mais limpo (Vulcano, 2014b).

As principais aplicações destes sistemas para uma moradia unifamiliar são:

- Preparação de AQS;
- Aquecimento de piscinas;
- Aquecimento central por pavimento radiante.

Segundo o Decreto-Lei n.º 118/2013 (artigo 27.º):

- “A instalação de sistemas solares térmicos para aquecimento de água sanitária nos edifícios novos é obrigatória sempre que haja exposição solar adequada”;
- “A energia fornecida pelo sistema solar térmico a instalar tem de ser igual ou superior à obtida com um sistema solar constituído por coletores padrão”;
- “No caso de o sistema solar térmico se destinar adicionalmente à climatização do ambiente interior, deve salvaguardar-se que a contribuição deste sistema seja prioritariamente na preparação de água quente sanitária.”

Conforme a Portaria n.º 349-B/2013 de 29 de novembro os sistemas e/ou coletores que compõem as instalações para aproveitamento de energia solar térmica devem ser certificados de acordo com as normas EN 12976 ou 12975, respetivamente.

Em termos de eficiência, a energia que o sistema fornece para o aquecimento de águas não é o mesmo que é transferido para a água sob a forma de calor, pela existência inevitável de perdas, nomeadamente de radiação, absorção, condução e convecção (Carvalho, 2014). No entanto, no que diz respeito a esta dissertação, o valor de eficiência do sistema ( $\eta_k$ ) para cálculo de  $N_{ic}$  é:

“Eficiência do sistema k, que toma o valor de 1 no caso de sistemas para aproveitamento de fontes renováveis, à exceção de sistemas de queima de biomassa sólida em que deve ser usada a eficiência do sistema da queima.” (DGEG, 2013c).

## 3

## APLICAÇÃO DO CYPETERM

## 3.1. CASO DE ESTUDO

O caso de estudo é uma moradia unifamiliar geminada (Figura 10) localizada na cidade do Porto. Este edifício tem o projeto aprovado à data de 1938, tendo sofrido alterações recentemente. Nesta dissertação são consideradas aplicações de algumas medidas por forma a melhorar o desempenho energético do edifício, porém, as intervenções a estudar funcionam apenas como alternativa à que foi realizada na realidade.



Figura 10 – Moradia unifamiliar (caso de estudo).

Através das plantas do edifício, foi possível compreender melhor a sua constituição interior, o que permitiu definir os seus elementos construtivos no programa.

O edifício é constituído por três pisos acima da cota de soleira. No piso térreo existem dois salões, com uma casa de banho cada, no primeiro piso existe uma sala de jantar, uma cozinha, uma sala de estar, um *hall* de entrada e uma pequena casa de banho. No segundo piso há um corredor que faz a ligação a três quartos e uma *suíte* e ainda uma casa de banho.

Uma vez que se trata duma moradia geminada optou-se por definir também a moradia adjacente, considerando-as simétricas segundo a parede comum, procurando, deste modo, a obtenção de resultados mais credíveis. O cálculo foi efetuado para cada moradia individualmente, apesar dos resultados referentes à fração adjacente não terem sido utilizados no estudo presente.

Tratando-se de um edifício antigo, constituído por blocos de granito e pavimentos de madeira, foram consideradas duas situações distintas relativamente à constituição das paredes exteriores:

- Parede de blocos de granito (50 cm de espessura) com caixa de ar de 4 cm e placa de gesso cartonado e reboco pelo exterior da parede;
- Parede de blocos de granito (50 cm de espessura) com caixa de ar totalmente preenchida por 4 cm de lã de rocha e reboco pelo exterior da parede.

Será importante mencionar que as paredes exteriores do edifício adjacente permanecem inalteradas ao longo do estudo e que correspondem à primeira situação descrita.

O objetivo desta diferenciação é de verificar de que forma a introdução de isolamento térmico nas paredes exteriores influencia os valores obtidos pelo programa, nomeadamente nos requisitos energéticos e na determinação da classe de desempenho energético do edifício. Tal como foi evidenciado no primeiro capítulo, a avaliação do desempenho energético de um edifício assenta em dois pilares: o comportamento térmico e a eficiência dos sistemas. Através desta medida é então possível compreender de que forma o comportamento térmico altera o desempenho energético do edifício. Não sendo este o principal objetivo desta dissertação, não se incorre em mais nenhuma alteração relativamente à constituição dos elementos construtivos.

### 3.2. CYPETERM

Para a realização desta dissertação será utilizado o programa informático *Cype*, mais concretamente o módulo *Cypeterm* integrado no programa *Cypecad Mep*.

Este *software*, fora do mundo académico, tem como objectivo auxiliar os técnicos no cumprimento das exigências impostas pelo REH, em termos de desempenho energético dos edifícios de habitação. Contudo, este programa é conhecido por dimensionar numa forma pouco exata, já que se baseia em dados puramente numéricos. É igualmente reconhecido que a sua utilização deve ser cuidada e que se torna produtiva quando aliada ao domínio e conhecimento do tema, auxiliada pela sensibilidade e bom senso dos seus utilizadores.

O objetivo principal deste capítulo é apresentar o programa, explicando o seu funcionamento enquanto com base no caso em estudo. Esta apresentação é realizada com algum detalhe de forma a poder apoiar trabalhos subsequentes.

A utilização do *Cypeterm* permite obter de uma forma rápida e intuitiva uma descrição geral do caso de estudo, com destaque para os elementos construtivos e para as listagens de desempenho energético e cumprimento das exigências do REH. A grande vantagem deste programa é conter uma base de dados com inúmeros materiais e as suas características, especialmente térmicas e acústicas. É também possível criar materiais personalizados com propriedades a definir pelo utilizador. Para além disto, também contém elementos pré-definidos, com a possibilidade de serem editados a qualquer momento, na sua espessura, material ou em algum outro parâmetro. Estas características permitem que o utilizador represente um edifício no programa com grande facilidade e rapidez e obter resultados com grande celeridade.

A utilidade do programa para efeitos de cálculo, no âmbito desta dissertação, incide na determinação dos valores de  $N_{ic}$ ,  $N_i$ ,  $N_{vc}$ ,  $N_v$ ,  $Q_a$  e  $A_p$  para as duas situações de comportamento térmico já descritas. Estes valores vão ser posteriormente utilizados para o cálculo manual de  $N_{ic}$ ,  $N_t$  e  $R_{Nt}$  no capítulo seguinte.

Uma vez que para a determinação dos resultados de desempenho energético é necessário definir os sistemas de aquecimento, arrefecimento, preparação de AQS, ventilação e de energia de fonte renovável, decidiu-se adotar os “sistemas por defeito” caracterizados no REH. A fração autónoma caracterizada por estes sistemas é indispensável para a continuação deste estudo, pois é o ponto de partida para a análise do desempenho energético do edifício e serve como termo de comparação para os sistemas adotados no próximo capítulo.

### 3.3. UTILIZAÇÃO DO *CYPETERM*

#### 3.3.1. PARÂMETROS GERAIS

Ao iniciar o programa *Cypecad Mep* verifica-se que este é composto por vários módulos:

- Novo *Cypeterm*;
- *Cypevac 3D*;
- Contra incêndios;
- Águas, residuais e pluviais;
- Climatização;
- Solar térmico;
- Gás;
- Eletricidade;
- ITED.

Na presente dissertação interessa somente o módulo “Novo *Cypeterm*” que, tal como já explicado, foi utilizado no cálculo de vários parâmetros com influência direta na determinação do desempenho energético de um edifício. Os módulos “Climatização” e “Solar Térmico” não foram utilizados, pois constituem ferramentas muito específicas e que envolveriam um estudo muito aprofundado para o dimensionamento dos sistemas, desviando-se assim, do objetivo principal deste trabalho.

Para dar início a uma nova obra, clica-se em “Arquivo” → “Novo”. Aparecerá de imediato uma janela com o nome e descrição do ficheiro a criar tal como o destino do ficheiro no computador. De seguida, introduz-se o país em que a obra está localizada. Neste caso, Portugal já se encontra selecionado por defeito.

Validado o primeiro conjunto de informação, surge uma janela com a opção de “Obra vazia” ou “Introdução automática. Importação de modelos de *CAD/BIM*”. Foi selecionada a opção “Obra vazia”.

Após esta etapa, o programa processa alguma informação inicial e procede-se à introdução dos dados gerais da obra, distribuídas em oito passos.

- Tipo de Edifício, em que foi selecionada a opção “Unifamiliar”;
- Tipo de Projecto, que no caso será o “Novo *Cypeterm*”;
- Localização: Porto;
- Município: Porto.
- Configuração de preços: este parâmetro foi desprezado numa fase inicial. Porém, numa fase posterior decidiu-se recorrer a um outro módulo do programa específico para o efeito denominado ‘Gerador de Preços’ em que este parâmetro assume grande relevância para o cálculo de custos, nomeadamente, associados aos equipamentos e à instalação. A Figura 11 ilustra a caixa de diálogo gerada pelo programa. Note-se que entre as opções

disponíveis, concluiu-se que o campo ‘Mercado’ é o único que influencia os resultados, tendo-se assumido, neste caso, um mercado em estado de ‘Recessão Moderada’.

Figura 11 - Configuração do Gerador de Preços.

- Plantas/Grupos: atendendo aos alçados e plantas, foram determinadas as alturas para cada piso (Figura 12). Considerou-se um pé-direito de 2,6 metros pra o Rés-do-Chão, 3,35 metros para o primeiro piso e 2,70 metros para o segundo. Considerou-se ainda um desvão de 0,20 metros de altura mínima, tendo em conta que a cobertura é inclinada.

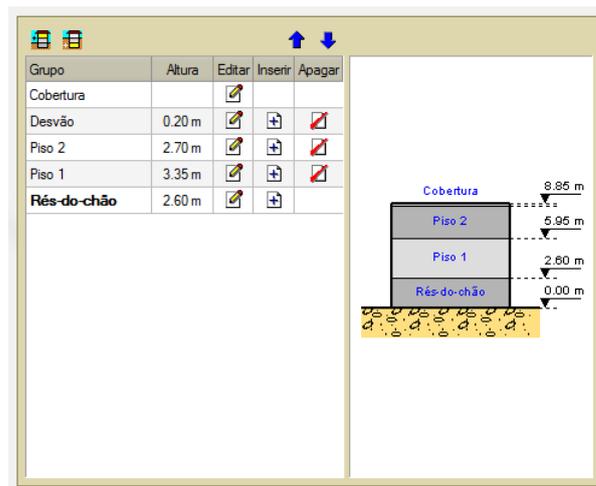


Figura 12 - Introdução de Planos/Grupos.

- Dados obra: nesta etapa são introduzidos os dados climáticos, tipo de terreno e nível de proteção contra o vento. Os dados utilizados foram os sugeridos pelo programa e são apresentados na Figura 13.

Figura 13 - Dados da obra.

- Parâmetros térmicos: nesta fase são seleccionadas as normas a respeitar, nomeadamente em relação à resistência e transmitância térmica de elementos construtivos e à análise de pontes térmicas lineares, entre outras (Figura 14).

Figura 14 - Parâmetros térmicos.

### 3.3.2. GEOMETRIA DO CASO DE ESTUDO

Introduzidos os dados gerais da obra, inicia-se a fase de modelização do edifício, com a definição dos seus elementos estruturais.

Esta tarefa torna-se muito mais simples se o utilizador puder introduzir as plantas do edifício no programa, funcionando como uma imagem de base (máscara), sobrepondo e localizando devidamente os elementos criados no *Cypeterm*, tornando todo o processo bastante mais simples e rápido de executar.

Para importar as máscaras, selecciona-se a opção na barra de ferramentas designada “Editar máscaras” e o programa abre uma janela denominada por “Gestão de vista de máscaras” (Figura 15).

Para este passo é necessário possuir previamente as plantas de cada piso em formato digital *DXF* ou *DWG*. Note-se que, para evitar prejudicar a eficiência e o funcionamento do programa, é habitual proceder-se a um tratamento prévio das máscaras, apagando informações e detalhes irrelevantes para o pretendido, tornando, deste modo, os ficheiros mais “ligeiros”.

Inseriram-se cinco plantas correspondentes ao “Rés do Chão”, “Piso 1”, “Piso 2”, “Desvão” e “Cobertura”.

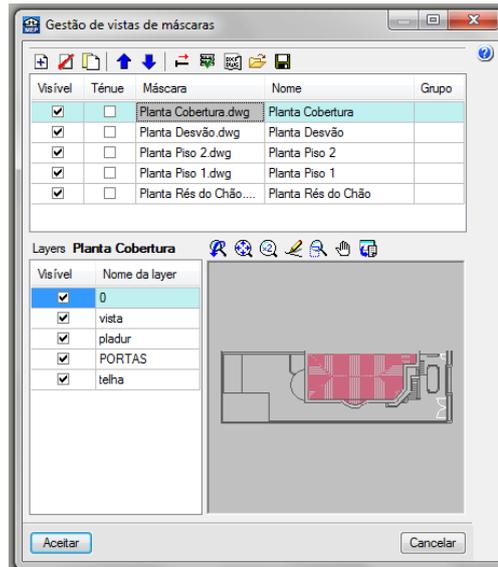


Figura 15 - Gestão de vistas de máscaras.

Escolheram-se os “layers” a utilizar e de seguida foram associadas as plantas importadas aos pisos já criados através da função representada na Figura 16 e 17.

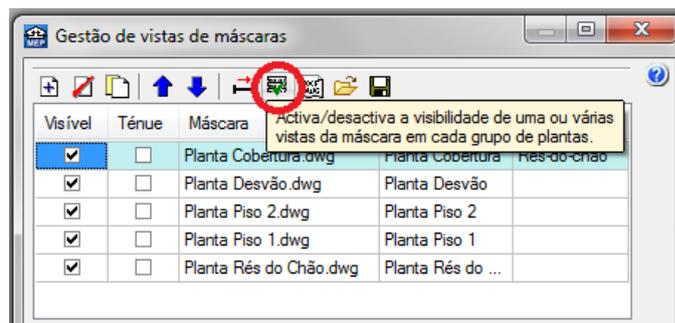


Figura 16 - Ativar visibilidade de máscaras para cada piso.



Figura 17 - Plano dos grupos.

Realça-se a importância das plantas estarem alinhadas segundo o mesmo referencial. No caso presente, optou-se por alterar a origem do referencial para um ponto comum em todas as plantas, ao qual foi associando um ponto fixo do referencial do *Cype*, sobrepondo-as, tal como pretendido.

### 3.3.3. ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

Antes de se proceder à introdução dos elementos construtivos, é usual definir a orientação da obra. Este parâmetro pode ser alterado a qualquer momento se o utilizador assim o entender. O procedimento é o seguinte:

- Obra → Orientação (Figura 18).

Ativando a opção de cotar os pontos é possível introduzir o valor do ângulo com a horizontal de referência, neste caso,  $273,4^\circ$ .

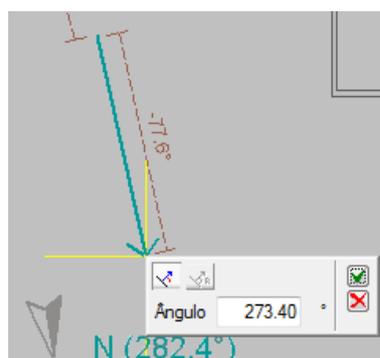


Figura 18 - Introdução do ângulo entre a orientação Norte com a orientação horizontal de referência no sentido direto ( $273,4^\circ$ ).

Procede-se agora à introdução das paredes. Nesta etapa é fundamental ativar as capturas de máscaras, por forma a melhorar a precisão das medidas dos elementos a representar. É usual ativar os pontos de

interseção e pontos extremos. Para tal, basta premir o botão F3 do teclado, mas embora seja possível, ao clicar no botão correspondente na barra horizontal, é possível não só ativar as capturas como escolher quais delas pretendemos usar.

### 3.3.3.1. Paredes Exteriores

As paredes exteriores são os primeiros elementos a colocar na obra vazia, pois é através destas é que se definem os contornos do edifício.

Para criar as paredes exteriores, é necessário clicar em “Elementos” → “Muros e divisões” → “Parede exterior”, comando que dá acesso a um menu que possibilita criar vários tipos de parede.

Tal como mencionado anteriormente, criaram-se dois tipos de paredes exteriores. Estas são constituídas por 2 cm de reboco exterior, 50 cm de parede de pedra (granito com massa volúmica de  $2600 \text{ kg/m}^3$ ), 4 cm de caixa de ar e 1,25 cm de gesso cartonado. A diferença entre as duas soluções reside no facto de para a segunda existir uma camada de lã de rocha ( $\lambda = 0,04 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$ ) que preenche totalmente a caixa de ar, ou seja, de 4 cm de espessura.

O procedimento de instrução para um novo elemento de parede é o seguinte:

- Clicar em “Prima aqui para editar a lista de tipos disponíveis”;
- Ao surgir uma nova janela, seleccionar a opção “Novo (introdução manual, editável)”;
- Preencher a referência, descrição e as camadas da parede. Foram adotados materiais da biblioteca do LNEC, que o programa disponibiliza, conforme ilustrado na Figura 19.
- Clicar “Aceitar” e aguardar até surgir a representação da parede (ver Figura 20).

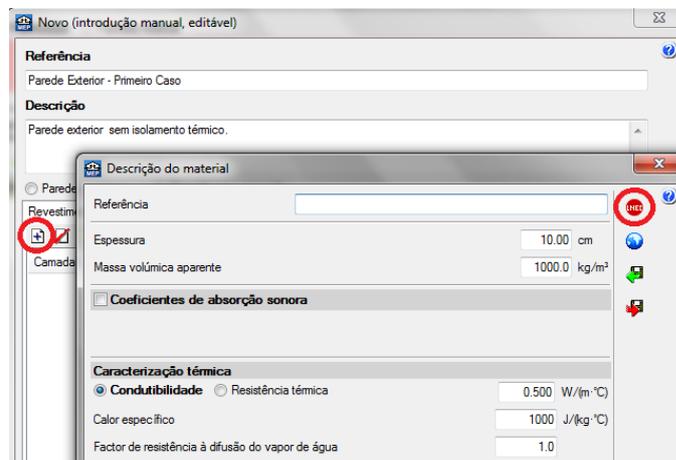


Figura 19 - Adicionar camadas manualmente, recorrendo à biblioteca do LNEC.

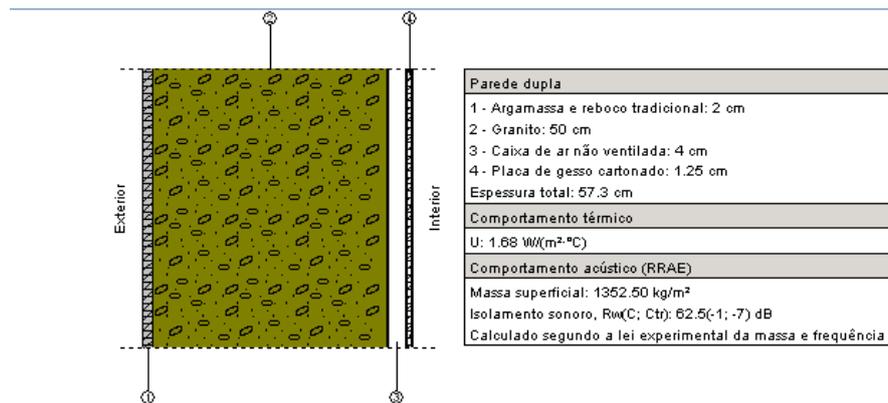


Figura 20 – Constituição da parede exterior para o primeiro caso.

A parede exterior está assim criada para o primeiro caso, sendo possível, sem fechar a mesma caixa de diálogo, adicionar outro tipo de parede ao clicar novamente em “Novo (introdução manual, editável)”. A Figura 21 representa a parede considerada para o segundo caso.

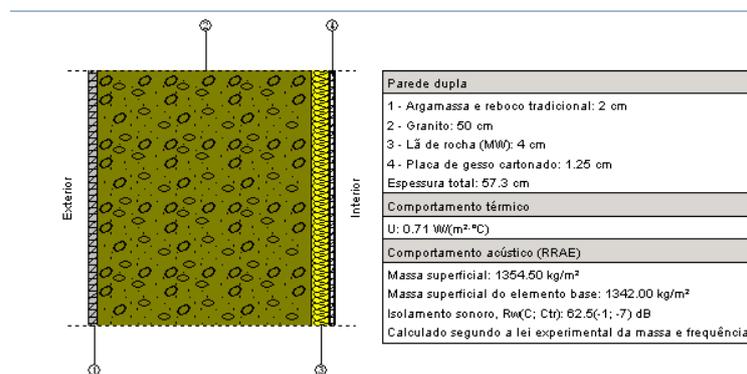


Figura 21 - Parede Exterior para o segundo caso.

Para a introdução das paredes no desenho é necessário ter em atenção que está definido por defeito que o elemento se situa alinhado com o eixo, o que poderá não corresponder à realidade, como é o caso. Para retificar essa situação é necessário modificar essa característica, indicando na barra de ferramentas vertical que o elemento se situa “à direita” ou “à esquerda” da linha introduzida.

### 3.3.3.2. Paredes Interiores

A introdução de paredes interiores é em tudo semelhante ao das paredes exteriores. No caso em estudo foi atribuído uma constituição genérica com o intuito de simular o tabique, cuja importância reside apenas nos parâmetros térmicos e não no material ou espessura destas. São constituídas por 10 cm de gesso cartonado (ver Figura 22) com exceção das paredes interiores mais espessas constituídas por 20 cm de granito e com revestimentos de 2 cm de gesso cartonado, tal como representado na Figura 23.

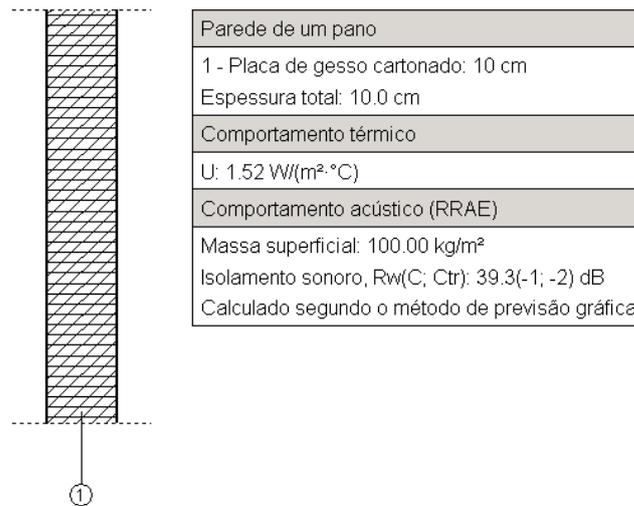


Figura 22 – Constituição de uma parede interior.

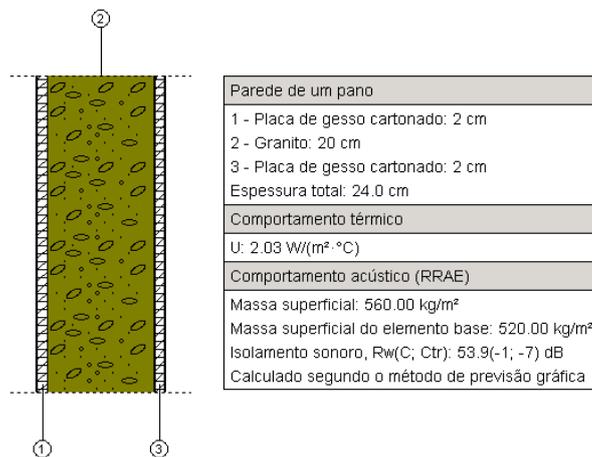


Figura 23 – Constituição da parede interior mais espessa.

### 3.3.3.3. Lajes

Para criar o elemento de laje é necessário seleccionar “Elementos” → “Lajes”.

No piso “Rés-do-Chão” é seleccionada a opção laje térrea em betão armado de 20 cm de espessura, tal como representado na Figura 24.

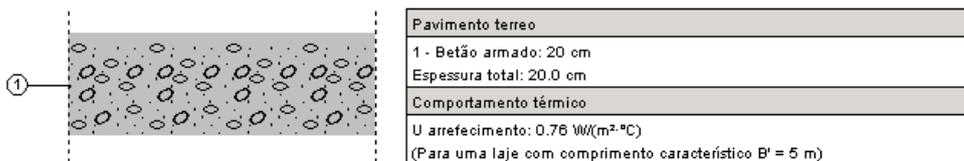


Figura 24 – Constituição do pavimento térreo.

Para os pisos intermédios, incluindo as varandas, é necessário seleccionar “Laje entre pisos”, constituída por um pavimento genérico com  $U$  [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ] igual a 1,25; cuja representação consta na Figura 25.



Figura 25 – Constituição de uma laje entre pisos.

No desvão é utilizado outro tipo de laje (Figura 26), em tudo igual às dos pisos intermédios, mas com a adição de uma camada superior de lã de rocha com 6 cm de espessura.

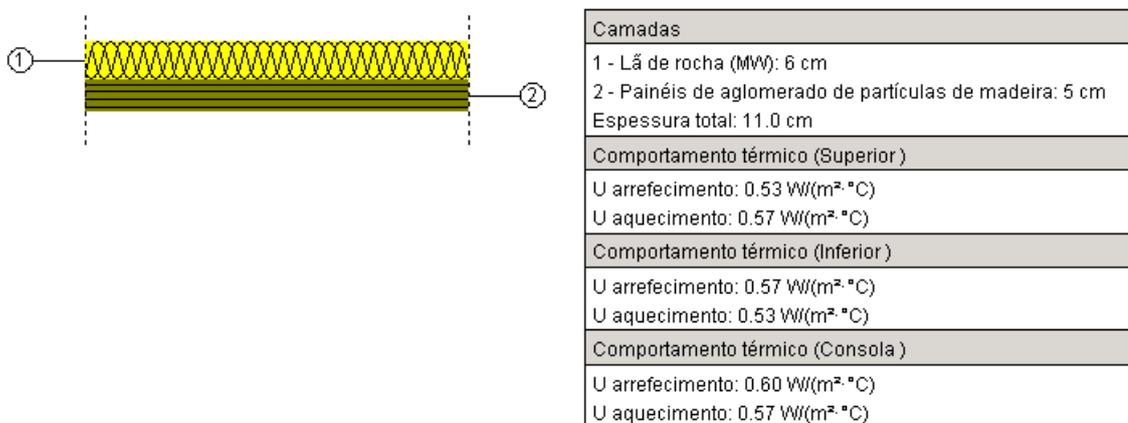


Figura 26 – Constituição da laje para o desvão.

Tal como foi referido anteriormente, a cobertura é um elemento inclinado e por essa mesma razão, deve ser tratado com algum cuidado, pois a definição das lajes inclinadas no programa é mais complexa. Isto deve-se ao facto de ser necessário de criar várias lajes, uma para cada inclinação, com pontos comuns entre elas. Contudo, o programa é pouco prático neste ponto, dado que assume um ponto de intersecção entre lajes, como um ponto independente para cada laje. Deste modo, no caso de se alterar as propriedades desse ponto, como por exemplo, a sua cota, esta não se alterará automaticamente para as outras lajes, sendo por isso necessário alterá-la manualmente para cada laje considerada, de modo a evitar eventuais erros e incompatibilidades no modelo de cálculo.

Para criar os desníveis no telhado é necessário premir em “Elementos” → “Lajes” → “Introduzir desníveis na cobertura”. Ao clicar nos pontos que caracterizam os diferentes planos da cobertura, é

possível introduzir manualmente o valor do desnível. Introduziu-se o valor de 1,9 metros de desnível entre os extremos do edifício e os extremos da cumieira. Todos os outros valores intermédios foram extrapolados e calculados automaticamente pelo programa. Ao finalizar este procedimento, o programa assinala sobre a cobertura as respetivas indicações sobre o sentido do desnível, tal como representado na Figura 27.

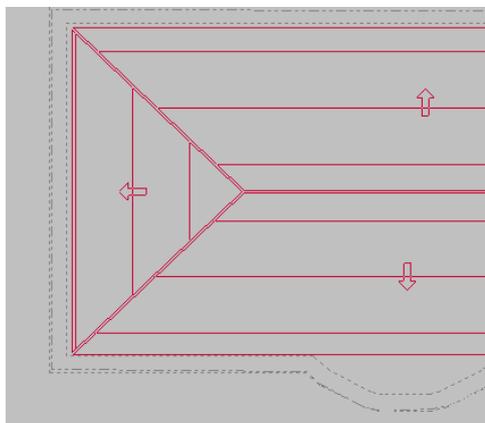


Figura 27 – Cobertura.

Na definição da constituição da cobertura utiliza-se a opção “Laje inclinada”, tendo-se indicado, neste caso, o mesmo tipo de laje que os pisos intermédios com a adição de um revestimento exterior em telhas cerâmicas (Figura 28).

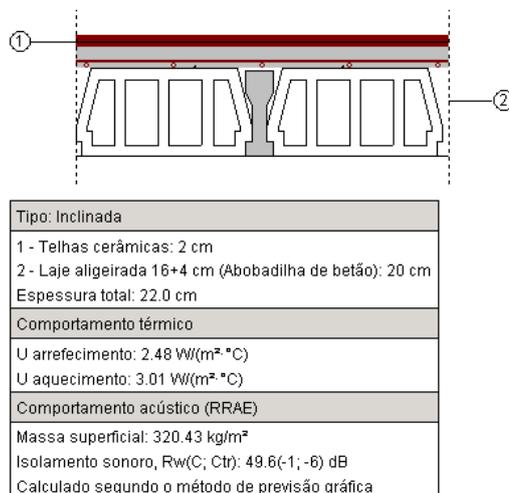


Figura 28 – Constituição de uma laje inclinada.

#### 3.3.3.4. Aberturas

Neste tipo de elementos, estão inseridas as portas, clarabóias, aberturas em lajes e as janelas. Na moradia em estudo, interessa particularmente caracterizar as janelas, pois como se sabe estas influenciam fortemente o comportamento térmico de qualquer edifício. Todavia as portas também foram caracterizadas, optando-se por colocar portas de madeira genéricas tanto para o interior como para o exterior.

Para colocar estes elementos na obra realizada, basta selecionar “Elementos” → “Aberturas” → “Caixilharia exterior e abertura envidraçada” para a definição das janelas ou “Portas”.

As janelas foram selecionadas segundo o gerador de preços, considerando a janela como sendo composta por vidro duplo, “Standard” com 6 mm de caixa de ar, cuja constituição se encontra na Figura 29. Considera-se a caixilharia de alumínio e com dimensões compatíveis com as plantas e com os valores de pé-direito indicados anteriormente (Figura 30) e tomando-se uma altura do parapeito de 0 metros e 1,20 metros em relação à laje do piso em questão, conforme os casos. No caso em estudo adiciona-se também na opção de “acessórios” uma cortina interior com fração de fator solar igual a 0,47.

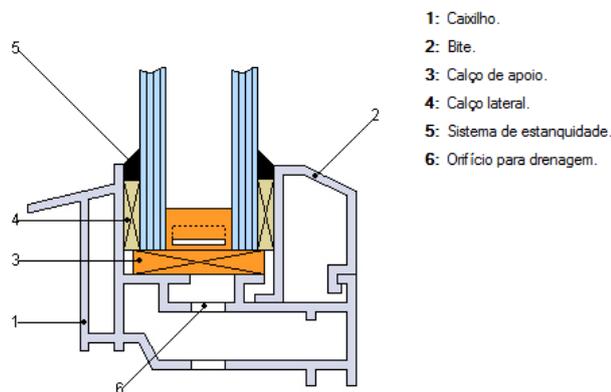


Figura 29 – Constituição da solução do envidraçado considerado.



Figura 30 - Caixilharias utilizadas.

### 3.3.4. VISUALIZAÇÃO DA OBRA EM 3D

A qualquer momento é possível ver a obra realizada em 3D, em “Obra” → “Vistas 3D”.

Através desta função é possível visualizar o piso separadamente ou o edifício todo. Para além desta possibilidade, há ainda a opção de ver somente o projeto realizado no módulo *Cype* em questão (neste caso, *Cypeterm*) ou todos os módulos de instalações (Solar térmico, iluminação, eletricidade, etc.) ou ainda visualizar as máscaras já inseridas na obra. Na Figura 31 está representada a vista em 3D do edifício em questão após a introdução dos dados anteriores.

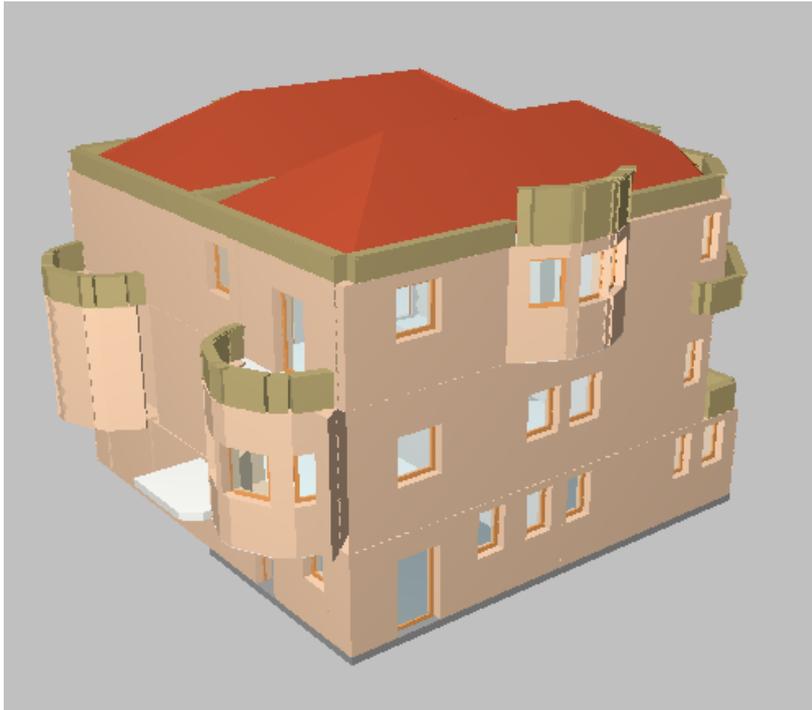


Figura 31 – Vista 3D do edifício em estudo.

### 3.3.5. COMPARTIMENTOS

Após a definição dos elementos construtivos procede-se à definição dos compartimentos. Este procedimento permite definir o espaço segundo a sua função (quarto, cozinha, arrumos, etc.), aos quais estão associados parâmetros prédefinidos para o estudo térmico e para o estudo climático. Na Figura 32 estão representados os parâmetros associados a um quarto.

Esta função permite ainda adicionar camadas de revestimento de pavimento, de parede e de teto nos elementos da envolvente desses compartimentos. Para esta dissertação a compartimentação assume especial importância, dado que, para além de definir mais especificamente o espaço, o número de quartos é fundamental no dimensionamento das instalações de preparação de AQS.

Para definir compartimentos clica-se em “Compartimentos” → “Novo”. Uma nova janela surge com quatro fases de definição: “Descrição”, “Revestimento de paredes”, “Revestimento de pavimento” e “Revestimento de teto” (Figura 33).

A descrição de cada compartimento foi realizada de acordo com as plantas do edifício. Quanto aos revestimentos, estes foram adicionados consoante o tipo de compartimento e ao uso a que se destina.

Parâmetros para o estudo térmico	
Habitável	
Parâmetros para o estudo climático	
Climatizada:	
Condições interiores	
Temperatura de verão:	24.00°C
Temperatura de inverno:	21.00°C
Humidade relativa:	50.00%
Ocupação	
Número de pessoas:	2 pessoas
Iluminação	
Potência instalada de iluminação por superfície:	4.40W/m <sup>2</sup>
Instalações	
Potência sensível:	5.00W/m <sup>2</sup>
Ventilação	
Caudal mínimo de ventilação por pessoa:	18.00m <sup>3</sup> /h
Caudal mínimo de ventilação por superfície:	2.70m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> )

Figura 32 - Parâmetros prédefinidos para os estudos térmico e climático, de um quarto.



Figura 33 - Novo compartimento.

No caso em estudo foram atribuídos três salões, incluindo a sala de jantar, cinco casas de banho, uma cozinha, um *hall*, três varandas e quatro quartos. O compartimento associado ao desvão foi descrito genericamente como “outro”.

### 3.3.6. FRAÇÕES AUTÓNOMAS

A definição das frações autónomas é um processo fundamental para a obtenção e análise dos resultados. Para a sua caracterização é essencial criar previamente os compartimentos, para que seja possível associar esses espaços à fração autónoma que lhes corresponde.

Esta fase de inserção de dados é extremamente importante no âmbito desta dissertação, pois é neste momento que se definem os diferentes sistemas que caracterizam um edifício. Por outras palavras, o contributo da “eficiência dos sistemas” para o desempenho energético vai depender da informação que o utilizador colocar nesta etapa do programa.

Neste passo é possível criar inúmeras frações autónomas dentro do mesmo edifício, desde que a cada uma esteja associado pelo menos um compartimento. É, também, possível definir uma fração autónoma da forma mais conveniente para o utilizador, como por exemplo, por piso.

Esta função permite definir os sistemas para diferentes espaços do edifício, sendo que os resultados obtidos pelo programa são posteriormente apresentados por fração autónoma, permitindo assim, uma análise mais detalhada do edifício em causa.

No caso em estudo é considerado todo o edifício como uma única fração autónoma. O primeiro passo é atribuição dos compartimentos. Para tal, clica-se em “Frações Autónomas” no menu principal e em “Atribuir” selecionando-os um a um. Após a escolha dos compartimentos, clica-se em “Editar” e uma nova janela surge onde se podem gerir as frações autónomas. Na Figura 34 está representada uma janela dos sistemas a caracterizar.

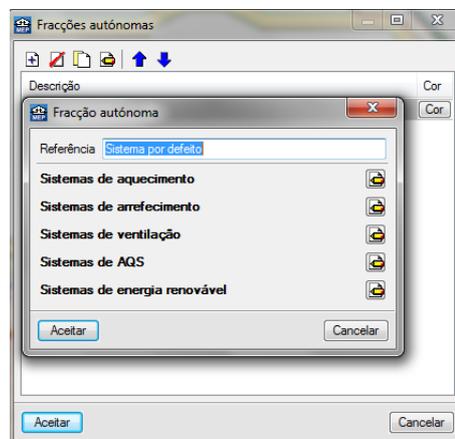


Figura 34 – Sistemas de uma fração autónoma.

Numa primeira abordagem a este assunto é admitido que os sistemas não se encontram especificados em projeto ou instalados, isto é: “sistemas por defeito”.

Segundo a legislação atual, mais concretamente conforme o Despacho n.º 15793-I/2013, em 3.2.2: neste tipo de situações “devem ser consideradas as soluções por defeito aplicáveis e indicadas na Tabela I.03 da Portaria n.º 349-B/2013, de 29 de novembro, para os diferentes tipos de sistema.”.

Esta tabela encontra-se dividida em 3 tipos de sistemas, nomeadamente: “Sistema para aquecimento ambiente”, “Sistemas para arrefecimento ambiente” e “Preparação de AQS”. Para cada uma destas funções, a tabela mencionada indica os valores de eficiência de referência a utilizar para o cálculo de  $N_t$ , que neste caso em particular, é aplicável também ao cálculo de  $N_{tc}$ .

De seguida são apresentadas as soluções a utilizar para caracterizar o sistema por defeito:

- Para sistemas de aquecimento ambiente é assumido que a fonte energética é a energia elétrica e que o valor de eficiência a considerar é 1 (Figura 35).

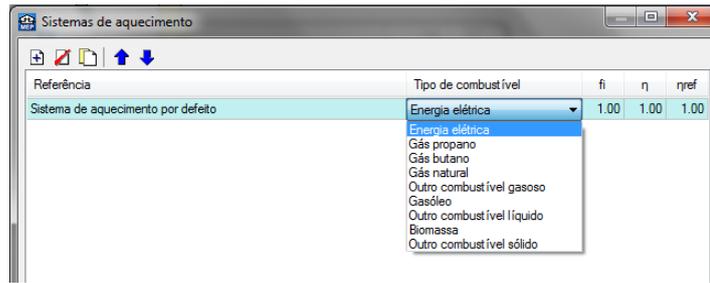


Figura 35 – Sistemas de aquecimento por defeito.

- No caso dos sistemas de arrefecimento é admitido um sistema de ar condicionado do tipo split ou multisplit com permuta ar-ar, elétrico e com valor de eficiência igual ao limite inferior, logo menos eficiente, da classe mínima aplicável (C atualmente e B a partir de 31 de Dezembro de 2015), ou seja, 2,80 (Figura 36).

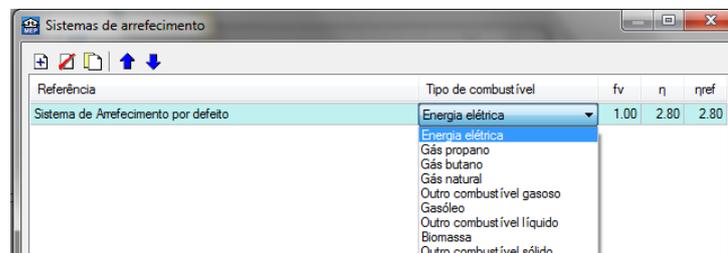


Figura 36 – Sistema arrefecimento por defeito.

- A ventilação natural é o sistema a adotar por defeito considerando o valor de  $R_{ph,i}$  e  $R_{ph,v}$  de  $0,4 \text{ h}^{-1}$  (Figura 37).

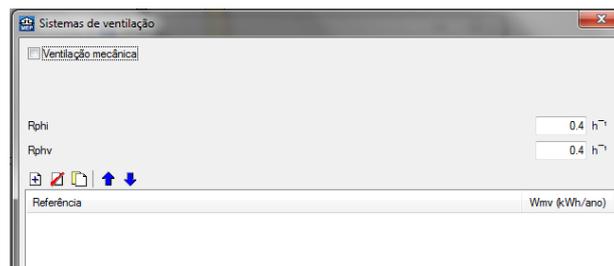


Figura 37 – Sistema de ventilação por defeito.

- Em relação ao sistema de preparação de AQS, o valor da eficiência a adotar é igual ao limite inferior da classe mínima aplicável (B atualmente e A a partir de 31 de Dezembro de 2015), logo o menos eficiente da tabela I.16 da Portaria n.º 349-B/2013 referente a caldeiras, ou seja 86% ou 95% se o edifício dispuser ou não de uma rede de abastecimento de combustível gasoso, respetivamente. Adotou-se o valor de 0,95 de eficiência para este sistema. A este valor é ainda multiplicado 0,9 devido à ausência de especificação do isolamento térmico da tubagem, consideração que o programa realiza

isoladamente à eficiência, bastando para isso, seleccionar a opção correspondente na caixa de texto conforme indicado na Figura 38.

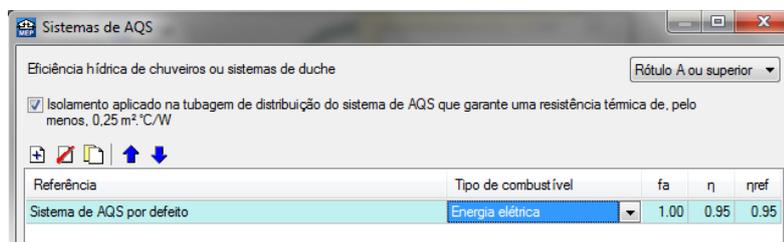


Figura 38 – Sistemas de AQS por defeito.

- Uma vez que o contributo dos sistemas de energia renovável é sempre favorável à diminuição do rácio de classe energética, não se considera a existência de sistemas deste cariz nos sistemas por defeito, correspondendo assim, a uma perspetiva conservativa.

### 3.3.7. RESULTADOS – CUMPRIMENTO DAS EXIGÊNCIAS DO REH

Para a obtenção de resultados de cálculo basta seleccionar “Resultados” na barra principal horizontal do programa e seleccionar “Calcular”. Após este processo, surge uma lista de documentos possíveis de visualizar, dos quais se destacam, no âmbito desta dissertação: “Cumprimento das Exigências do REH” e “Desempenho Energético”.

O primeiro documento mencionado é bastante detalhado, iniciando-se com a identificação da localização do edifício, o tipo de intervenção, caracterização da fração, resumo de cálculo e identificação do técnico responsável pelo projeto de comportamento térmico. As listagens obtidas para as duas situações de comportamento térmico encontram-se em anexo (A1 e A2).

O resto do documento é composto por 7 fichas de cálculo (desde A a G), que correspondem aos modelos de fichas referidos na Portaria 349-C/2013 de 2 de dezembro:

- Transferência de calor por transmissão;
- Transferência de calor por ventilação;
- Ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento;
- Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento;
- Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento;
- Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento;
- Necessidades nominais anuais globais de energia primária.

Na ficha A são calculados os coeficientes de transferência de calor por transmissão para três tipos de elementos: os que estão em contacto com a envolvente exterior, os que estão em contacto com a envolvente interior e, por fim, os elementos em contacto com o solo. Na Tabela 13 são apresentados esses coeficientes para alguns elementos da envolvente exterior e os valores de referência correspondentes. Estes valores são relativos ao primeiro caso de comportamento térmico (sem isolamento térmico nas paredes exteriores).

Tabela 13 – Coeficientes de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior.

Elementos em contacto com a envolvente exterior	U.A (W/°C)	U.A (W/°C) de referência
Paredes exteriores	278,91	83,09
Vãos envidraçados	141,67	98,95
Vãos opacos exteriores	11,99	19,43

Uma vez que no caso em estudo se considerou duas soluções distintas para as paredes exteriores (com ou sem isolamento térmico), é interessante referir que o valor do coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior das paredes, considerando a aplicação dos 4 cm de lã de rocha, é de 117,98 W/°C, ou seja, menos de metade que o obtido sem a camada de isolamento térmico nas paredes. Os restantes valores, referentes a outros elementos permanecem inalterados.

O valor total do coeficiente de transferência de calor por transmissão é de 620,81 W/°C para o caso apresentado, enquanto que para os casos em que as paredes exteriores contêm isolamento térmico, é de 461,56 W/°C.

A ficha B refere-se aos coeficientes de transferência de calor por ventilação. Para ambas as soluções adotadas para as paredes exteriores foram obtidas as mesmas soluções: 79,37 W/°C para estação de aquecimento e 119,06 W/°C para a estação de arrefecimento.

Em relação à ficha C, que representa os ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento, os valores obtidos são iguais para ambas situações de comportamento térmico analisadas. Na Tabela 14 estão representados os resultados finais desta ficha, comparando os ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento com os valores de referência.

Tabela 14 – Ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento.

Ganhos:	Q (kWh/ano)	Q <sub>ref</sub> (kWh/ano)
Internos brutos	3713,36	3713,36
Solares brutos	3328,69	979,33
Térmicos brutos	7042,05	4692,69

A ficha seguinte é idêntica, mas aplicada à estação de arrefecimento. Neste caso os valores obtidos não são iguais para os casos de comportamento térmico adotados, isto porque apesar dos ganhos solares brutos pelos elementos da envolvente envidraçada serem iguais (3218,21 kWh/ano), os ganhos solares brutos pelos elementos da envolvente opaca diferem, o que se justifica pelo facto das paredes exteriores com isolamento térmico reduzirem significativamente esse valor. Contudo, o valor de referência de ganhos térmicos brutos é igual para ambos os casos (1114,80 W/°C). Seguidamente é apresentada uma tabela com os valores dos ganhos térmicos para ambos os casos de comportamento térmico, em que Q corresponde à solução sem isolamento térmico e Q<sub>isol</sub> à situação das paredes exteriores com isolamento térmico (Tabela 15).

Tabela 15 – Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento.

Ganhos:	Q (kWh/ano)	Q <sub>isol</sub> (kWh/ano)
Internos brutos	2423,92	2423,92
Solares brutos	4724,33	3920,92
Térmicos brutos	7148,25	6344,84

As necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento são caracterizadas na ficha E, que tem por base valores das fichas A, B e C. Para obtenção de  $N_{ic}$  são somados os valores de transferência de calor por transmissão e por renovação de ar e deduzidos dos ganhos de calor úteis, na estação de aquecimento e por kWh/ano. Na Tabela 16, estão representados os valores mencionados para ambos os casos (Q e Q<sub>isol</sub>) e o valor limite (Q<sub>lim</sub>), que coincide para ambas as situações.

Tabela 16 – Valores para determinação de  $N_{ic}$ .

	Q (kWh/ano)	Q <sub>isol</sub> (kWh/ano)	Q <sub>lim</sub> (kWh/ano)
Transferência de calor por transmissão	19005,73	14130,38	10434,61
Transferência de calor por renovação de ar	2429,86	2429,86	2429,86
Ganhos de calor úteis	6760,37	2815,61	6549,11
Necessidades anuais	14675,22	10011,13	10048,86

Ao dividir a última linha pela área de pavimento útil ( $A_p = 206,96 \text{ m}^2$ ), obtêm-se os valores das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento:

- $N_{ic} = 70,91 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$ ;
- $N_{ic,isol} = 48,37 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$ ;
- $N_i = 48,55 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$ .

A ficha F tem em vista a determinação das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, sendo, para tal, necessário calcular o fator de utilização de ganhos ( $\eta_v$ ) para ambos os casos de comportamento térmico (Caso 1 – paredes exteriores sem isolamento térmico; Caso 2 – Paredes exteriores com 4 cm de lã de rocha) e de referência. O valor de  $N_{vc}$  é calculado através do produto de  $(1 - \eta_v)$  com os ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento ( $Q_{g,v}$ ), dividido pela área útil de pavimento. Na Tabela 17 são apresentados os valores de  $\eta_v$  e dos ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento.

Tabela 17 – Valores para determinação de  $N_{vc}$ .

	Caso 1	Caso 2	Referência
$\eta_v$	0,80	0,76	0,83
$Q_{g,v}$ [kWh/(m <sup>2</sup> .ano)]	7148,25	6344,84	11144,80

Obtidos estes valores, é possível determinar as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento para ambos os casos de comportamento térmico e para a situação limite:

- $N_{vc} = 6,91 \text{ kWh}_{ep}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$ ;
- $N_{vc,isol} = 7,36 \text{ kWh}_{ep}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$ ;
- $N_v = 9,15 \text{ kWh}_{ep}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$ .

A última ficha (G) refere-se ao cálculo das necessidades nominais anuais de energia primária ( $N_{te}$ ), sendo por isso, a ficha mais importante para o objetivo desta dissertação. A forma de cálculo é bastante simples (2) e já foi explicada no capítulo 2. Na Tabela 18 está representado o resultado para cada uma das parcelas, para os dois casos de comportamento térmico mencionados anteriormente, e o respetivo valor limite.

Tabela 18 – Energia primária para diferentes sistemas.

Energia primária para:	Caso 1 [kWh <sub>ep</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)]	Caso 2 [kWh <sub>ep</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)]	Limite [kWh <sub>ep</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)]
Aquecimento	177,28	120,93	121,38
Arrefecimento	6,17	6,57	8,17
Preparação de AQS	34,00	34,00	37,79
Total	217,45	161,50	167,34

Como referido anteriormente na descrição do sistema por defeito assumido para este cálculo, não se considerou o contributo da energia para ventilação mecânica, tal como também não foram deduzidos nenhuns contributos no que concerne a energias de fonte renovável.

### 3.3.8. RESULTADOS – DESEMPENHO ENERGÉTICO

O ficheiro referente ao desempenho energético inicia-se por um índice, composto por:

- Requisitos energéticos;
- Descrição de elementos;
- Envidraçados;
- Climatização e AQS;
- Energia Renovável;
- Ventilação;
- Classificação energética;
- Emissão de CO<sub>2</sub>.

As listagens referentes a estes resultados encontram-se no anexo A3 e A4.

O documento extraído para o primeiro caso (paredes exteriores sem isolamento térmico, como indicado na Figura 20) indica que o edifício não cumpre os requisitos do REH considerando os critérios de edifício novo, nomeadamente na relação entre as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento ( $N_{ic}$ ) com o seu valor limite regulamentar ( $N_i$ ) e as necessidades nominais anuais globais de energia primária ( $N_{ic}$ ) com o seu valor limite regulamentar ( $N_i$ ) (Tabela 19). De mencionar que se se considerasse o edifício como edifício existente antigo, a razão limite entre as necessidades de energia primária e o seu valor limite seria de 1,5, no entanto o edifício foi abordado como se fosse novo.

Tabela 19 – Requisitos Energéticos – primeiro caso.

Necessidades nominais anuais de energia...	Valor calculado [kWh/(m <sup>2</sup> .ano)]	Valor limite [kWh/(m <sup>2</sup> .ano)]
Útil para Aquecimento	70,91	48,55
Útil para Arrefecimento	6,91	9,15
Útil para Preparação de AQS	12,92	14,36
Primária [(kWh <sub>ep</sub> )/(m <sup>2</sup> .ano)]	217,45	167,34

É de salientar que segundo a nova legislação, o valor limite das necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS é o mesmo que o valor calculado, não correspondendo assim, ao valor obtido pelo *Cype*. Assumindo então o valor 12,92 kWh/(m<sup>2</sup>.ano) como valor limite, obtém-se o valor de  $N_i$  igual a 163,54 kWh<sub>ep</sub>/(m<sup>2</sup>.ano).

Uma vez que os resultados derivados dos sistemas de climatização, preparação de AQS, de ventilação e energias de fonte renovável já foram revelados no documento anterior, procede-se de seguida a uma breve descrição de alguns elementos contrutivos. Na Tabela 20 encontram-se os coeficientes de transmissão térmica adotados e respetivos limites regulamentares para as paredes exteriores, para as lajes e envidraçados.

Tabela 20 – Coeficientes de transmissão térmica (U).

Elemento	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	Umáx [W/(m <sup>2</sup> .°C)]
Parede exterior	1,67	1,75
Laje entre pisos	1,25	1,25
Laje para desvão	0,57	1,25
Envidraçados	4,33	-

Ao considerar 4 cm de lã de rocha na caixa de ar das paredes exteriores, o valor de U decresce de 1,67 para 0,71 [W/(m<sup>2</sup>.°C)].

Em relação à emissão anual de gases de efeito estufa associadas à energia primária para climatização e preparação de AQS, o valor é de 6,480 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes por ano. Considerando

isolamento térmico nas paredes exteriores, esse valor é reduzido para 4,813 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes por ano, o que significa uma redução de aproximadamente 25%.

Em termos de classificação energética obtida pela expressão (1), obtém-se para o primeiro caso um valor de  $R_{Nt}$  de 1,33, ou seja, correspondente à classe C, como indica a Figura 39.

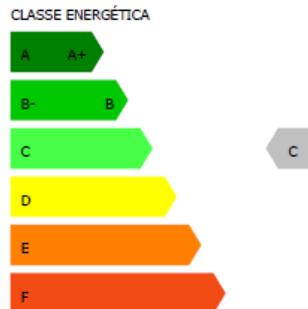


Figura 39 – Classe Energética para o primeiro caso.

Já para o segundo caso, o edifício cumpre as exigências do REH, como indica a Tabela 21.

Tabela 21 – Requisitos Energéticos - segundo caso.

Necessidades nominais anuais de energia...	Valor calculado [kWh/(m <sup>2</sup> .ano)]	Valor limite [kWh/(m <sup>2</sup> .ano)]
Útil para Aquecimento	48,37	48,55
Útil para Arrefecimento	7,36	9,15
Útil para Preparação de AQS	12,92	14,36
Primária [(kWh <sub>ep</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)]	161,50	167,34

Os valores limite são os mesmos que na situação anterior, sendo necessário corrigir novamente o valor correspondente à preparação de AQS e consequentemente o valor de  $N_t$  (passaria para 163,54 [kWh<sub>ep</sub>/(m<sup>2</sup>.ano)])

Em relação à classificação energética, o valor de  $R_{Nt}$ , como seria de esperar, encontra-se num intervalo mais eficiente em relação ao do primeiro caso. Recorde-se que, ao abrigo da legislação, para cumprir com as exigências do REH para edifício novo, a sua classificação tem de ser superior a C.  $R_{Nt}$  assume no entanto o valor de 0,99, que significa satisfaz os requisitos do REH para um edifício novo, por uma margem mínima. O edifício obtém a classe energética de B- como indica a Figura 40.

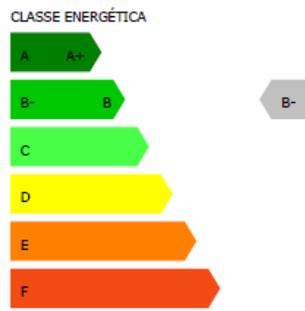


Figura 40 – Classe Energética para o segundo caso.

## 4

**DESEMPENHO DE EQUIPAMENTOS****4.1. INTRODUÇÃO**

Uma vez que se procedeu ao estudo dos equipamentos de climatização e preparação de AQS no capítulo 2 e à análise do caso de estudo no capítulo 3, neste capítulo conjugam-se estes dois, aplicando alguns equipamentos à moradia em questão. Os diferentes sistemas que podem ser aplicados na fração autónoma em estudo são abordados em diferentes pontos do subcapítulo 2, designando o tipo de equipamentos a considerar, a fonte de energia, eficiência e o preço estimado pelo gerador de preços do *Cype*.

No subcapítulo seguinte são apresentados 10 cenários caracterizados por diversos equipamentos que satisfaçam pelo menos os sistemas de climatização e preparação de AQS. Uma vez que se consideraram dois casos de comportamento térmico do edifício, com classes de desempenho energético diferentes, nomeadamente C para o caso em que as paredes exteriores não têm isolamento térmico e B- para o segundo caso (com 4 cm de lã de rocha), o pretendido é estudar de que forma a aplicação de alguns dos equipamentos estudados influenciam a determinação da classe energética do edifício, para cada caso. Na parte final deste capítulo, é elaborado um estudo análogo para diferentes cidades de Portugal.

**4.2. EQUIPAMENTOS**

Neste subcapítulo são descritos os equipamentos para os diferentes sistemas. Através do gerador de preços do programa *Cype*, é possível recolher alguma informação sobre estes assim como uma estimativa do custo do equipamento e sua instalação, incluindo acessórios e mão de obra (Figura 41). Há também disponibilizado no programa os catálogos das marcas. A eficiência dos equipamentos indicados ou é obtida através destes, especialmente no caso das caldeiras, ou pelo próprio gerador de preços que, por vezes, já indica esse valor ao selecionar o modelo.

A seleção de equipamentos é, contudo, complexa, na medida em que há modelos destinados a vários tipos de edifícios e que se adequam melhor a determinadas situações. Foi, portanto, por essa mesma razão, necessário filtrar alguns dos equipamentos. Um fator absolutamente fundamental é a potência dos equipamentos e a sua adequabilidade ao edifício em estudo, que poderá afetar consideravelmente o custo final. Relacionado com este assunto, está o número de equipamentos a considerar, que apesar de não interferir no cálculo de  $N_{tc}$ , interfere obviamente no preço final.

Apresenta-se um exemplo ilustrativo, considerando um edifício com as características representadas na Tabela 22:

Tabela 22 – Dados para cálculo de  $N_{tc}$  e  $N_t$ .

$A_p$	206,96 m <sup>2</sup>
$N_{ic}$	70,91 kWh/(m <sup>2</sup> .ano)
$N_i$	48,55 kWh/(m <sup>2</sup> .ano)
$N_{vc}$	6,91 kWh/(m <sup>2</sup> .ano)
$N_v$	9,15 kWh/(m <sup>2</sup> .ano)
$Q_a/A_p$	12,92 kWh/(m <sup>2</sup> .ano)
$Eren_p$	1320 kWh/ano

Ao considerar uma caldeira mural convencional a gás ( $\eta = 0,935$ ; Potência de 25 kW e custo de 1705 €) para aquecimento e preparação de AQS e um ar condicionado *split* 1x1 ar-ar de parede (EER = 5,2; Potência de 3,4 kW e custo de 1189 €), o cálculo de  $N_{tc}$  seria o seguinte:

$$N_{tc} = \frac{70,91}{0,935} \times 1 + \frac{6,91}{5,2} \times 2,5 + \frac{12,92}{0,935} \times 1 - \frac{1320}{206,96} \times 2,5 = 77,04 \text{ kWh}_{ep}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano}) \quad (7)$$

Já o cálculo de  $N_t$ , seria assim:

$$N_t = \frac{48,55}{0,92} \times 1 + \frac{9,15}{3,2} \times 2,5 + \frac{14,36}{0,92} \times 1 = 75,53 \text{ kWh}_{ep}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano}) \quad (8)$$

Conforme os cálculos mencionados,  $R_t$  seria igual a  $\frac{77,04}{75,53} = 1,02$ ; o que significa que o edifício pertence à classe energética C e o custo estimado pelo gerador de preços seria 2894 €.

É de salientar que, aplicar ao caso em estudo somente um equipamento de ar condicionado *split* 1x1 ar-ar de parede é algo que não faz sentido por si só, pois é capaz de arrefecer muito uma determinada área e não afetar em nada outras áreas mais distantes do equipamento de emissão. Todavia, ao introduzir seis unidades deste tipo, verifica-se que o cálculo de  $N_{tc}$ ,  $N_t$  e consequentemente de  $R_t$  não se altera. Porém, a aplicação destes equipamentos faz muito mais sentido e afeta obviamente o preço, passando em teoria de 2894 € para 8839 €. A potência está obviamente relacionada com este assunto e é preciso ter em conta para um projeto a relação entre esta com a área que é capaz de influenciar e o tempo que demora a atuar.

Explicado isto, torna-se essencial determinar uma gama de potências alvo para aplicar no caso em estudo para os diversos equipamentos. Após contacto com algumas marcas especializadas, considerou-se para as caldeiras uma gama de potência entre os 25 e os 35 kW, para os equipamentos de ar condicionado considerou-se unidades exteriores de potência entre os 10 e 12 kW. Já para as bombas de calor foram adotados valores a rondar os 20 kW.

É importante, no entanto referir que, devido ao facto de se considerarem vários equipamentos, com diferentes custos de rede de distribuição pelo edifício em questão, não se considera os custos de tubagens interiores que transportam o calor ou a água nem outros acessórios para além dos elementos de ligação do equipamento a essa mesma rede. Além disso, os elementos de emissão ou receção de

calor, como radiadores, ventilo-convectores e unidades interiores de ar-condicionado variam de acordo com os equipamentos seleccionados e foram considerados para a estimativa de custo. Através do programa foram seleccionados cerca de duzentos e cinquenta equipamentos no total e foi elaborada uma tabela para cada sistema, utilizando o programa *Microsoft Excel*.

ICG031 Ud Caldeira a gás, doméstica, convencional, mural, para aquecimento.					
Caldeira mural a gás N, só aquecimento, câmara de combustão estanque e tiragem forçada, potência modulante de 9 a 30 kW, dimensões 850x440x370 mm, modelo Ceraclass Excellence ZSC 30-3 MFA "JUNKERS", com programador encastrável no frontal da caldeira, para programação diária, modelo MT 10.					
Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt38cmj016Ee	Ud	Caldeira mural a gás N, só aquecimento, câmara de combustão estanque e tiragem forçada, potência modulante de 9 a 30 kW, dimensões 850x440x370 mm, modelo Ceraclass Excellence ZSC 30-3 MFA "JUNKERS", acendimento electrónico e segurança por ionização, sem chama piloto, equipamento formado por: corpo de caldeira, painel de controlo e comando, vaso de expansão com purgador automático, kit standard de evacuação de fumos e modelo de montagem.	1,000	1717,14	1717,14
mt38scj022d	Ud	Programador encastrável no frontal da caldeira, para programação diária, modelo MT 10 "JUNKERS", alimentação a 24 V.	1,000	57,88	57,88
mt38w w w 010	Ud	Material auxiliar para instalações de aquecimento.	1,000	1,62	1,62
mo003	h	Oficial de 1ª instalador de aquecimento.	3,059	16,62	50,84
mo096	h	Ajudante de instalador de aquecimento.	3,059	15,68	47,97
	%	Meios auxiliares	2,000	1875,45	37,51
	%	Custos indirectos	3,000	1912,96	57,39
Custo de manutenção decenal: 1.871,83€ nos primeiros 10 anos.				Total:	1970,35

Figura 41 – Exemplo de equipamento no gerador de preços do *Cype*.

#### 4.2.1. SISTEMA DE AQUECIMENTO

A escolha dos equipamentos incidiu, sobretudo na adequabilidade ao caso em estudo, como já foi mencionado. Na maior parte dos cenários a considerar a escolha do sistema de aquecimento recai nas caldeiras com radiadores como elementos de emissão. Posto isto, foram escolhidas três caldeiras diferentes com potências semelhantes e todas com capacidade para produzir AQS. Para além deste tipo de equipamento, estudou-se também a possibilidade de utilizar um sistema de ar-condicionado *multisplit* com capacidade de aquecimento e arrefecimento e uma bomba de calor do tipo ar-água para instalação no exterior, com função de aquecimento, arrefecimento e preparação de AQS. Os elementos de emissão seriam unidades interiores de ar-condicionado de parede para os cenários que incluem o sistema *multisplit* e ventilo-convectores de parede para os cenários que integram a bomba de calor.

As caldeiras escolhidas foram as seguintes:

- Caldeira mural convencional a gás natural com depósito de 48 Litros integrado, potência calorífica de 28 kW e potência para AQS de 28 kW;
- Caldeira mural de condensação a gás natural com depósito de 48 Litros integrado, potência calorífica de 24 kW e potência para AQS de 30 kW;

- Caldeira de chão a pellets, com depósito adequado para AQS e pellets, potência de 30 kW para ambas as funções.

Os equipamentos de ar-condicionado escolhidos são equipamentos com função não só de aquecimento, mas também de arrefecimento. Uma vez que se trata dum edifício com três pisos, surgem duas opções razoáveis a tomar: uma unidade exterior *multisplit* com potência calorífica de 13,5 kW, ou três unidades menos potentes (6,8 kW), uma em cada piso. As unidades interiores de ar-condicionado seriam de potências adequadas. Partindo duma sugestão da EDP, foram utilizados os critérios referidos na Tabela 23 para o dimensionamento das unidades interiores de ar-condicionado. Optou-se, portanto, por colocar 5 unidades de ar-condicionado de baixa potência nos quartos do segundo piso e na cozinha do primeiro e duas unidades mais potentes na vasta área do primeiro piso e mais duas no rés-do-chão correspondentes a salas ou salões.

Tabela 23 – Relação entre potência e área a climatizar de um ar-condicionado (EDP, 2014).

Área a climatizar (m <sup>2</sup> )	Potência do ar-condicionado
<15	5000 Btu/hora = 1,5 kW
15-25	6000 Btu/hora = 1,8 kW
25-30	7000 Btu/hora = 2,1 kW
30-40	9000 Btu/hora = 2,6 kW
40-50	12000 Btu/hora = 3,5 kW
50-70	14000 Btu/hora = 4,1 kW
70-90	18000 Btu/hora = 5,3 kW

A bomba de calor para instalação no exterior escolhida para aplicar ao caso em estudo tem potência calorífica de 25,1 kW e potência frigorífica de 22,1 kW, com grupo hidráulico e depósito de inércia de 100 Litros. O sistema de emissão para estes casos seria composto por ventilo-conectores de parede de potência semelhante às dos equipamentos de ar-condicionado.

De seguida é apresentada a Tabela 24 que contém as designações e algumas características relevantes dos equipamentos mencionados.

Tabela 24 – Equipamentos de Aquecimento.

Equipamento	Fonte de Energia	$\eta_k$	$\eta_{ref,k}$	$F_{pu,i}$ (kWh <sub>ep</sub> /kWh)	Preço (Cype)
Caldeira Mural Convencional (+ AQS)	Gás Natural	0,892	0,89	1	1911 €
Caldeira Mural de Condensação (+ AQS)	Gás Natural	1,086	0,96	1	3096 €
Caldeira de Chão (+ AQS)	<i>Pellets</i>	0,905	0,85	1	11444 €
Ar Condicionado <i>Multisplit</i> Exterior Ar-Ar (13,5 kW)	Eletricidade	3,21	3,20	2,5	3977 €
3 Ar Condicionados <i>Multisplit</i> Exterior Ar-Ar (6kW)	Eletricidade	4,5	3,6	2,5	5547 €
Bomba de Calor Ar-Água Exterior	Eletricidade	4,19	3,2	2,5	9778 €

#### 4.2.2. SISTEMA DE ARREFECIMENTO

Para sistema de arrefecimento naturalmente foram apenas adotados os sistemas de ar-condicionado e bombas de calor já mencionados e passíveis de ser utilizados para aquecimento (equipamentos de ciclo reversível).

Na fórmula das necessidades nominais de energia primária (2), a parcela relativa ao arrefecimento é a seguinte:

Parcela de  $N_{tc}$  relativa ao Arrefecimento:

$$n_{tc} = \delta \cdot \frac{N_{vc}}{\eta_k} \cdot F_{pu,j} \quad (9)$$

O valor de  $\delta$  ou é igual a 1, ou é igual a 0 nos casos em que o fator de utilização de ganhos térmicos seja superior ao respetivo valor de referência. Este coeficiente revela-se absolutamente indispensável de calcular, pois se for igual a 0, é igual a não existir a parcela relativa ao arrefecimento. Segundo as listagens retiradas pelo Cype, os valores destes fatores para a estação de arrefecimento estão representados na Tabela 25.

Tabela 25 – Valor de  $\delta$ .

	Fator de utilização ganhos térmicos	Fator de utilização ganhos térmicos (referência)	$\delta$
Primeiro Caso	0,80	0,83	1
Segundo Caso	0,76	0,83	1

Ora, posto isto, faz sentido elaborar uma tabela para os sistemas de arrefecimento a considerar, sabendo que representam um contributo para o cálculo de  $N_{ic}$ .

De seguida é apresentada a Tabela 26 correspondente a este tipo de sistema.

Tabela 26 – Equipamentos de Arrefecimento.

Equipamento	Fonte de Energia	$\eta_k$	$\eta_{ref,k}$	$F_{pu,i}$ (kWh <sub>ep</sub> /kWh)	Preço (Cype)
Ar					
Condicionado <i>Multisplit</i> Exterior Ar-Ar (12,5 kW)	Eletricidade	4,15	3,2	2,5	3977 €
3 Ar					
Condicionado <i>Multisplit</i> Exterior Ar-Ar (6 kW)	Eletricidade	4,2	3,2	2,5	5547 €
Bomba de Calor Ar- Água Exterior	Eletricidade	3,07	2,9	2,5	9778 €

#### 4.2.3. SISTEMA DE PREPARAÇÃO DE AQS

Os equipamentos para sistema de preparação de AQS também já foram mencionados anteriormente, pois, normalmente, um sistema de aquecimento com caldeiras e bombas de calor do tipo ar-água, tem como finalidade produzir água quente e como tal, é muito frequente adotar um só equipamento para os dois sistemas. Para além destes, também foi considerada a possibilidade de utilizar um esquentador ou uma bomba de calor do tipo ar-água com depósito de AQS de 303 litros de função exclusiva para este sistema.

A Tabela 27 refere-se às características dos equipamentos de preparação de AQS.

Tabela 27 – Equipamentos de Preparação de AQS.

Equipamento	Fonte de Energia	$\eta_k$	$\eta_{ref,k}$	$F_{pu,i}$ (kWh <sub>ep</sub> /kWh)	Preço (Cype)
Esquentador	Gás Natural	0,750	0,84	1	642 €
Caldeira Mural Convencional (+ Aquecimento)	Gás Natural	0,892	0,89	1	1911 €
Caldeira Mural de Condensação (+ Aquecimento)	Gás Natural	1,086	0,96	1	3096 €
Caldeira de Chão (+ Aquecimento)	Pellets	0,905	0,85	1	11444 €
Bomba de Calor Ar-Água Exterior	Eletricidade	4,19	3,2	2,5	9778 €
Bomba de Calor (exclusivo AQS)	Eletricidade	4,1	3,85	2,5	3455 €

#### 4.2.4. ENERGIA DE FONTE RENOVÁVEL

Alguns dos equipamentos já referidos funcionam recorrendo à energia proveniente de fontes renováveis, nomeadamente as caldeiras a *pellets*, que funcionam através da combustão de um material de origem renovável, e as bombas de calor, que contam com a contribuição de ar ou água ou até do solo para o seu funcionamento. Porém, hoje em dia existem ainda algumas dúvidas sobre a quantificação do contributo aplicado às bombas de calor, que posteriormente será analisada nesta dissertação.

Os métodos e as regras de quantificação e contabilização destes contributos encontram-se no despacho n.º 15793-H/2013. Este engloba os sistemas solares térmicos, sistemas fotovoltaicos, eólicos, biomassa, geotermia, mini-hídrica, aerotérmica e geotérmica.

A fórmula que quantifica a contribuição para estes equipamentos para o cálculo de  $N_{ic}$  é a seguinte:

$$\frac{E_{ren,p}}{A_p} \cdot F_{pu,p} \quad (10)$$

Já o valor de  $E_{ren,p}$  depende do tipo de equipamento. Para o caso das caldeiras a *pellets* e tendo em conta que este equipamento contribui tanto para o sistema de aquecimento como para o de preparação de AQS, este valor é calculado da seguinte forma:

$$E_{ren,p} = \left( \frac{N_{ic} \cdot A_p}{\eta_k} \right) \cdot f_{i,k} + \frac{Q_a}{\eta_k} \cdot f_{a,k} \cdot f_{r,a} \quad (11)$$

Em que:

$N_{ic}$  – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, [kWh/(m<sup>2</sup>.ano)];

$A_p$  – Área útil de pavimento;

$\eta_k$  – Eficiência do sistema a biomassa;

$f_{i,k}$  – Parcela das necessidades de energia para aquecimento suprida(s) pelo(s) sistemas a biomassa;

$Q_a$  – Necessidades de energia útil para a preparação de AQS [kWh/ano];

$f_{a,k}$  – Parcela das necessidades de energia para a preparação de AQS supridas pelo sistema a biomassa;

$f_{r,a}$  – Toma o valor de 1, exceto quando o sistema for instalado num espaço interior útil do edifício ou fração e condiciona o ambiente do mesmo, tomando, nesses casos, o valor de  $M/12$ , em que  $M$  é a duração da estação de aquecimento em meses.

Em relação às bombas de calor, a questão sobre se a contribuição da parcela referente à energia de fonte renovável é considerada ou não, foi alvo de alguns debates no concelho europeu. Atingiu-se o consenso ao definir energia aerotérmica, geotérmica e hidrotérmica (Nowak, 2011), sendo oficializado como uma tecnologia que aproveita energias de fonte renovável na Diretiva Europeia 28/2009/CE (Bettgenhäuser *et al.*, 2013). Estas novas formas de energia são definidas do seguinte modo:

- A energia aerotérmica é a energia sob a forma de calor presente no ar ambiente;
- A energia geotérmica é a energia sob a forma de calor que se encontra debaixo da superfície terrestre;
- A energia hidrotérmica é a energia sob a forma de calor na superfície da água.

Segundo as diferentes definições de energias de fonte renovável mencionadas, a conclusão a reter é que não só para os equipamentos designados como “bomba de calor” é que devem ser contabilizados estes contributos, pois um ar-condicionado normal funciona da mesma forma que uma bomba de calor, tornando-se assim também um equipamento associado à energia aerotérmica. No entanto, a legislação atual portuguesa não é clara sobre este assunto.

O cálculo de  $E_{ren,p}$  para este tipo de equipamentos é, no entanto, mais complexo do que para o caso das caldeiras a biomassa. A seguinte fórmula é utilizada para determinar este valor pra equipamentos que contam com o contributo das energias aerotérmica e geotérmica (DGEG, 2013b):

$$E_{ren,p} = Q_{usable} \cdot \left( 1 - \frac{1}{SPF} \right) \quad (12)$$

Em que:

$Q_{usable}$  – Total de calor utilizável estimado produzido por bombas de calor conformes aos critérios referidos no número 4 do artigo 5.º da Diretiva 2009/28/CE [kWh];

$SPF$  – Fator médio de desempenho sazonal estimado para as referidas bombas de calor, conforme a Diretiva 2009/28/CE.

No entanto, só poderá contar-se o contributo de energias de fonte renovável de bombas de calor se  $SPF > 1,15 \times (1/\eta)$ , em que  $\eta$  é o rácio entre a população total bruta de eletricidade e o consumo de energia primária para a produção de eletricidade, sendo calculado enquanto média da UE com base em dados do *Eurostat*.

Segundo o *Eurostat*, a eficiência média europeia em geração de eletricidade é de 45,5% e como tal, o valor de  $SPF$  de uma bomba de calor, por forma a ser contabilizado o contributo das energias renováveis terá de ser:

$$SPF > 1,15 \times (1/0,455) = 2.53 \quad (13)$$

A determinação dos valores de  $Q_{usable}$  e  $SPF$  são algo complexos de obter, pois se baseiam sobretudo em estimativas e estatísticas de vendas. Porém,  $Q_{usable}$  pode ser simplificado num produto entre a capacidade instalada em kW e  $Q_{usablefactor}$ , correspondente ao número de horas equivalente ao funcionamento em carga total, num ano [h].

Em Portugal ainda não existe, para já, um documento que forneça estes dados e, como tal, normalmente não considera qualquer contributo destes equipamentos para as energias de fonte renovável. No entanto, nesta dissertação são calculados os contributos e estudados os efeitos que estes têm no cálculo da classe de desempenho energético.

Como não existem os valores necessários para cálculo deste contributo para Portugal, é necessário recorrer a outras fontes que apresentem uma alternativa viável. Há alguns valores por defeito aconselhados pela União Europeia que podem ser tomados. Estes foram definidos tomando uma posição conservativa, reduzindo assim o risco de sobrestimar o contributo das energias de fonte renovável de uma bomba de calor. A Tabela 28 apresenta alguns destes valores para diferentes equipamentos e para três cenários climáticos (Union, 2013).

Tabela 28 – Valores de  $Q_{usablefactor}$  e  $SPF$ .

Fonte de Energia da Bomba de Calor:	Tecnologia de Bomba de Calor	Condições Climáticas Quentes		Condições Climáticas Médias		Condições Climáticas Frias	
		$Q_{usablefactor}$ (h)	$SPF$ ( $SCOP_{on}$ )	$Q_{usablefactor}$ (h)	$SPF$ ( $SCOP_{on}$ )	$Q_{usablefactor}$ (h)	$SPF$ ( $SCOP_{on}$ )
Energia do Ambiente	Ar-Ar	1200	2,7	1770	2,7	1970	2,7
	Ar-Água	1170	2,7	1640	2,7	1710	2,7
	Ar-Ar (reversível)	480	2,7	710	2,7	1970	2,7
	Ar-Água (reversível)	470	2,7	660	2,7	1710	2,7
	Exaustão Ar-Ar	760	2,7	660	2,6	600	2,5
	Exaustão Ar-Água	760	2,7	660	2,6	600	2,5
Energia Geotérmica	Solo-Ar	1340	3,2	2070	3,2	2470	3,2
	Solo-Água	1340	3,5	2070	3,5	2470	3,5
Energia Hídrica	Ár-Água	1340	3,2	2070	3,2	2470	3,2
	Água-Água	1340	3,5	2070	3,5	2470	3,5

Ora, segundo Figura 42 Portugal pertence ao grupo de países com condições climáticas quentes.

De seguida procede-se à quantificação do contributo das energias de fonte renovável para as caldeiras a biomassa e só posteriormente é que se procederá à quantificação para a as bombas de calor.

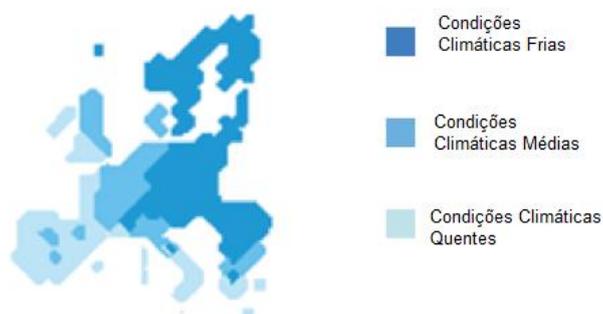


Figura 42 – Condições Climáticas para efeitos de cálculo da Diretiva 2013/114/EU.

Para melhor compreensão da quantificação do contributo das energias de fonte renovável relativamente aos sistemas a biomassa, foi elaborada a Tabela 29 que indica as características da caldeira a *pellets* e outros fatores a considerar para o cálculo do contributo das energias de fonte renovável.

Tabela 29 – Contributo da Energia de Fonte Renovável para Caldeira a *Pellets*.

Equipamento	Fonte de Energia	$F_{pu}$ (kWh <sub>ep</sub> /kWh)	$M_{ref}$ (meses)	$f_{r,a}$	$E_{ren1}$ (kWh/ano)	$E_{ren2}$ (kWh/ano)
Caldeira de Chão a <i>Pellets</i>	<i>Pellets</i>	1	6,2	0,517	17742,612	12588,05

Para o caso das bombas de calor e equipamentos de ar-condicionado, como já foi explicado, o cálculo do contributo é bastante diferente. Segundo o documento da união europeia mencionado, cada país tem a liberdade de calcular este contributo da forma que quiser. Para efeitos de cálculo, nesta dissertação, o valor de  $Q_{usablefactor}$  foi retirado da Tabela 28 consoante o tipo de equipamento e a este foi multiplicado maior valor de potência (calorífica ou frigorífica) do equipamento, por forma a obter uma estimativa de  $Q_{usable}$ . O valor de  $SPF$  foi tomado como a média entre o  $COP$  e  $EER$  do equipamento em questão (Tabela 30).

Tabela 30 – Contributo da energia de fonte renovável para o cálculo de  $N_{tc}$  para as bombas de calor e ar-condicionado.

Equipamento	Fonte de Energia	Potência Calorífica (kW)	Potência Frigorífica (kW)	$Q_{usablefactor}$ (h)	$Q_{usable}$ (kWh)	$SPF$	$E_{ren}$ (kWh/ano)
Ar Condicionado <i>Multisplit</i> Exterior Ar-Ar	Eletricidade	13,5	12,5	480	6480	3,68	4719
Ar Condicionado <i>Multisplit</i> Exterior Ar-Ar	Eletricidade	6,8	6	480	3264	4,35	2513,66
Bomba de Calor Ar-Água	Eletricidade	25,1	22,1	470	11797	3,63	8547,14
Bomba de Calor (exclusivo AQS)	Eletricidade	1,6	-	1170	1872	4,1	1415,42

Para além destes sistemas, que tinham sido já referidos para outros sistemas da fração autónoma, há a mencionar o método de quantificação do sistema solar térmico a ser aplicado em alguns cenários. Este sistema está destinado a apoiar as instalações de preparação de AQS. No entanto, para ser possível implementar este sistema é necessário que as instalações mencionadas em 4.2.3. estejam preparadas para receber o contributo destes equipamentos, que é o caso para as caldeiras a gás, para o esquentador e para as bombas de calor.

O contributo deste tipo de sistemas, para efeitos de cálculo, integra somente a parcela relativa às energias de fonte renovável, apresentando-se, portanto, sempre benéfico para a melhoria do desempenho energético de uma habitação, reduzindo o valor de  $N_{tc}$  e consequentemente de  $R_{Nt}$ .

A parcela mencionada corresponde à equação (10), no entanto, o valor de  $E_{ren}$  não é diretamente obtido por um cálculo ou consulta de alguma tabela. Segundo o despacho n.º 15793-H/2013: “A energia produzida pelo sistema solar térmico, deve ser determinada com recurso à versão em vigor do programa Solterm do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) ou outra ferramenta que utilize metodologia de cálculo equivalente que permita, quando aplicável, quantificar essa energia para diversos usos, devidamente validada por entidade competente designada para o efeito pelo ministério responsável pela área da energia.”.

Sendo que o objetivo deste trabalho não integra a utilização deste programa, através da análise de uma dissertação sobre este tema (Ribeiro, 2014), foram estimados valores a adotar para a energia solar.

Para este trabalho optou-se por escolher um sistema de termossifão, com dois coletores de área de coletor de  $4,2 \text{ m}^2$ , fornecendo um valor de energia ao sistema de preparação de AQS de  $1938,6 \text{ kWh/ano}$ . É de referir também que o custo desta solução é por volta dos  $2270 \text{ €}$  o valor de  $F_{pu}$  neste caso será de  $1 \text{ kWh}_{ep}/\text{kWh}$ .

### 4.3. COMBINAÇÕES DE SISTEMAS

Neste subcapítulo são apresentados alguns cenários cujo objetivo é representar situações reais e credíveis. Como mencionado no início do capítulo 3, a moradia é composta por três pisos habitáveis com necessidades de aquecimento, arrefecimento e AQS. Partindo das informações dos subcapítulos anteriores, é possível obter inúmeras combinações de sistemas para caracterizar a fração autónoma.

Tal como referido anteriormente, estes cenários são realizados para dois tipos de comportamento térmico do edifício: considerando paredes exteriores sem qualquer isolamento térmico (Caso 1) e considerando  $4 \text{ cm}$  de lã de rocha em todas as paredes exteriores do edifício em estudo (Caso 2).

Para além deste aspeto, é realizado também o cálculo considerando ou não o contributo de energias de fonte renovável para o caso das bombas de calor e equipamentos de ar-condicionado. Desta forma, é possível analisar de que forma esta contribuição afeta o desempenho energético e consequentemente a classe energética.

A Tabela 31 apresenta as dez medidas ou cenários a considerar para o caso em estudo, tendo em conta que, para cada cenário são considerados equipamentos que possam ser aplicados aos sistemas de aquecimento, arrefecimento e preparação de AQS, evitando assim utilizar quaisquer valores por defeito.

Tabela 31 – Cenários de equipamentos a aplicar ao caso de estudo.

Cenários	Equipamentos
Cenário 1	Caldeira convencional mural + uma unidade exterior de ar-condicionado <i>multisplit</i> do tipo ar-ar
Cenário 2	Uma unidade exterior de ar-condicionado <i>multisplit</i> do tipo ar-ar + esquentador
Cenário 3	Bomba de calor
Cenário 4	Caldeira de condensação mural + três unidades exteriores de ar-condicionado <i>multisplit</i> do tipo ar-ar
Cenário 5	Caldeira convencional mural + uma unidade exterior de ar-condicionado <i>multisplit</i> do tipo ar-ar + sistema solar térmico
Cenário 6	Três unidades exteriores de ar-condicionado <i>multisplit</i> do tipo ar-ar + bomba de calor para preparação de AQS
Cenário 7	Uma unidade exterior de ar-condicionado <i>multisplit</i> do tipo ar-ar + esquentador + sistema solar térmico
Cenário 8	Bomba de calor para todas as funções + sistema solar térmico
Cenário 9	Caldeira de condensação mural + três unidades exteriores de ar-condicionado <i>multisplit</i> do tipo ar-ar + sistema solar térmico
Cenário 10	Caldeira de chão a <i>pellets</i> + uma unidade exterior de ar-condicionado <i>multisplit</i> do tipo ar-ar

#### 4.3.1. CASO 1

Neste ponto são analisadas as consequências da aplicação dos cenários mencionados para o primeiro caso de comportamento térmico, ou seja, não considerando isolamento térmico nas paredes exteriores (ver Figura 20) para a determinação de  $R_{Nt}$  e da classe energética correspondente.

As tabelas seguintes apresentam as diversas soluções e as necessidades anuais de energia primária [ $kWh_{ep}/(m^2 \cdot ano)$ ] para cada sistema, ou seja, os valores das diferentes parcelas para cálculo de  $N_{tc}$ , o valor de  $R_{Nt}$  e a classe energética associada. Na Tabela 32 encontram-se representados os resultados excluindo o contributo das energias de fonte renovável das bombas de calor e equipamentos de ar-condicionado para este cálculo, em complemento é apresentado também na Figura 43 um gráfico indicativo da evolução do rácio de desempenho energético para as medidas tomadas.

Tabela 32 – Determinação da classe de desempenho energético para diferentes cenários (caso 1) não considerando o contributo das energias de fonte renovável nas bombas de calor e equipamentos de ar-condicionado.

Cenário	Aq.	Arr.	AQS	E.F.R.	$N_{tc}$	$N_t$	$R_{Nt}$	Classe de desempenho energético
Base (0)	177,28	6,17	34,00	0	217,45	163,54	1,33	C
1	79,50	4,16	14,48	0	98,14	76,22	1,29	C
2	55,23	4,16	17,23	0	76,62	60,46	1,27	C
3	42,31	5,63	7,71	0	55,64	55,91	0,99	B-
4	65,29	4,11	11,90	0	81,30	71,18	1,14	C
5	79,50	4,16	13,35	9,37	87,64	76,22	1,15	C
6	39,39	4,11	7,88	0	51,39	49,25	1,04	C
7	55,23	4,16	14,10	9,37	64,13	60,46	1,06	C
8	42,31	5,63	11,49	9,37	50,06	55,91	0,90	B-
9	65,29	4,11	12,64	9,37	72,68	71,18	1,02	C
10	78,35	4,16	14,28	92,63	4,16	79,47	0,05	A+

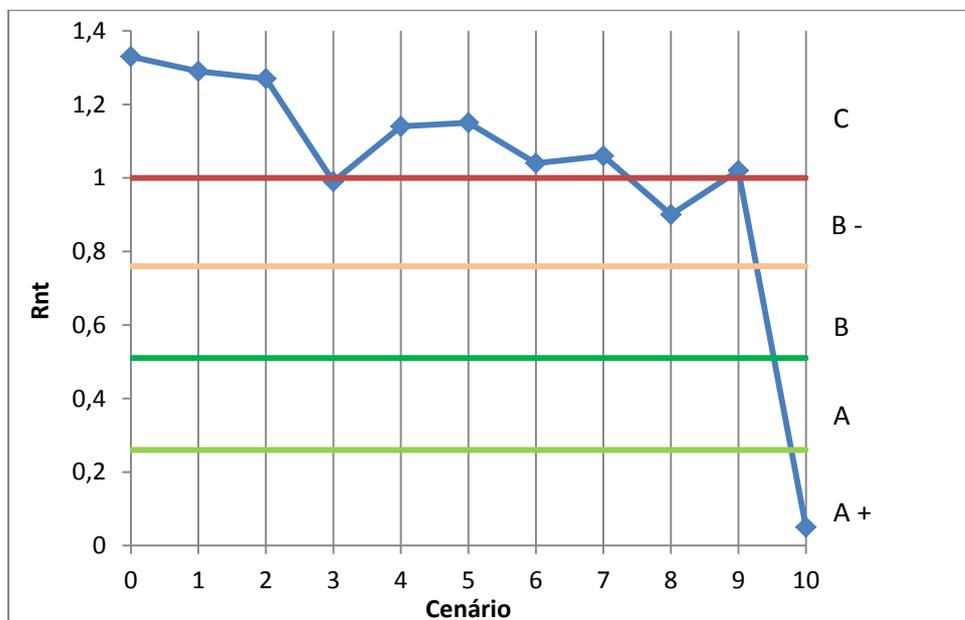


Figura 43 – Desenvolvimento do rácio de desempenho energético ao aplicar as diferentes medidas (caso 1), não considerando o contributo das energias de fonte renovável para as bombas de calor e equipamentos de ar-condicionado.

Como se verifica pela análise da tabela e figura anterior, ao aplicar os sistemas mencionados no edifício em estudo, não há uma variação significativa do desempenho energético que cause uma mudança de classe energética, com exceção dos cenários 3, 8 e 10, sendo que este último influencia consideravelmente o valor de  $N_{tc}$ , alterando a classe energética de C para A+.

É de salientar também que a adição do sistema solar térmico também teve algum efeito para a determinação da classe de desempenho energético. Considerando por exemplo as medidas 3 e 8, que diferem somente no sistema solar térmico (aplicado na última), conclui-se ao realizar a diferença entre os valores de  $R_{Nt}$  para os dois cenários, que esta é de 0,09.

De seguida é apresentado na Tabela 33 e na Figura 44 o mesmo estudo considerando agora o contributo das energias de fonte renovável para as bombas de calor e equipamentos de ar-condicionado. É de notar que para esta situação a energia relativa ao contributo das energias de fonte renovável não foi limitada pela imposição do REH: “o somatório da energia produzida a partir de fontes de origem renovável, destinada a suprir diferentes usos, deverá ser menor ou igual à energia consumida para esse tipo de uso.”, deste modo é possível verificar se a quantificação deste contributo é ou não credível, segundo os critérios de cálculo assumidos.

Tabela 33 - Determinação da classe de desempenho energético para diferentes cenários (caso 1) considerando o contributo das energias de fonte renovável nas bombas de calor e equipamentos de ar-condicionado.

Cenário	Aq.	Arr.	AQS	E.F.R.	$N_{tc}$	$N_t$	$R_{Nt}$	Classe de desempenho energético
Base (0)	177,28	6,17	34,00	0	217,45	163,54	1,33	C
1	79,50	4,16	14,48	57,01	41,14	76,22	0,54	B
2	55,23	4,16	17,23	57,01	19,61	60,46	0,32	A
3	42,31	5,63	7,71	103,25	-47,60	55,91	-0,85	A+
4	65,29	4,11	11,90	30,36	50,94	71,18	0,72	B
5	79,50	4,16	13,35	66,37	30,63	76,22	0,40	A
6	39,39	4,11	7,88	47,46	3,92	49,25	0,08	A+
7	55,23	4,16	14,10	70,84	7,12	60,46	0,12	A+
8	42,31	5,63	11,49	117,08	-53,19	55,91	-0,95	A+
9	65,29	4,11	12,64	44,20	42,32	71,18	0,59	B
10	78,35	4,16	14,28	151,73	-54,94	79,47	-0,69	A+

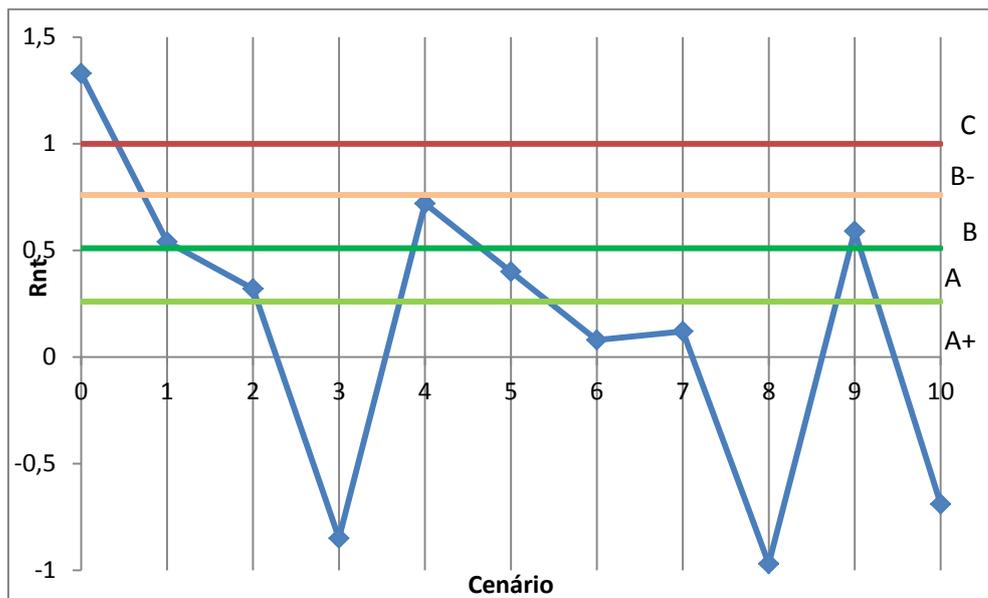


Figura 44 - Desenvolvimento do rácio de desempenho energético ao aplicar as diferentes medidas (caso 1), considerando o contributo das energias de fonte renovável para as bombas de calor e equipamentos de ar-condicionado.

Ao analisar os resultados apresentados nas tabelas e figuras anteriores, é notório que há alguma incoerência em relação ao contributo das energias de fonte renovável para as bombas de calor e ar-condicionados, havendo inclusivamente valores de  $N_{tc}$  negativos (cenários 3, 8 e 10), o que por si só, em termos teóricos, significa que o edifício em causa é capaz de produzir mais energia do que aquela que necessita para correto funcionamento. Deste modo, a existência destes resultados para estes cenários retira alguma credibilidade aos obtidos permitindo assim questionar se este contributo é de facto aplicável aos equipamentos em questão e se sim, de que forma deve ser quantificado para Portugal.

#### 4.3.2. CASO 2

Neste ponto é realizado o mesmo estudo que o anterior com a diferença que o comportamento térmico do edifício é diferente, mais concretamente causado pela aplicação de isolamento térmico nas paredes exteriores tal como representado na Figura 21.

De seguida é apresentado a Tabela 34 que apresenta, tal como no ponto anterior deste capítulo, as diferentes medidas/cenários a aplicar no edifício, os valores de necessidade de energia primária para cada sistema que originam, o valor de  $R_{Nt}$  e a determinação da classe energética do edifício. Em complemento é também apresentado na Figura 45 o desenvolvimento do rácio de classe energética ( $R_{Nt}$ ) para as diferentes medidas.

Tabela 34 - Determinação da classe de desempenho energético para diferentes cenários (caso 2) não considerando o contributo das energias de fonte renovável nas bombas de calor e equipamentos de ar-condicionado.

Cenário	Aq.	Arr.	AQS	E.F.R.	$N_{tc}$	$N_t$	$R_{Nt}$	Classe de desempenho energético
Base (0)	120,93	6,57	34,00	0	161,50	163,54	0,99	B-
1	54,23	4,43	14,48	0	73,14	76,22	0,96	B-
2	37,67	4,43	17,23	0	59,33	60,46	0,98	B-
3	28,86	5,99	7,71	0	42,56	55,91	0,76	B-
4	44,54	4,38	11,90	0	60,82	71,18	0,85	B-
5	54,23	4,43	13,35	9,37	62,64	76,22	0,82	B-
6	26,87	4,38	7,88	0	39,13	49,25	0,79	B-
7	37,67	4,43	14,10	9,37	46,84	60,46	0,77	B-
8	28,86	5,99	11,49	9,37	36,97	55,91	0,66	B
9	44,54	4,38	12,64	9,37	52,19	71,18	0,73	B
10	53,45	4,38	14,28	67,21	4,95	79,47	0,06	A+

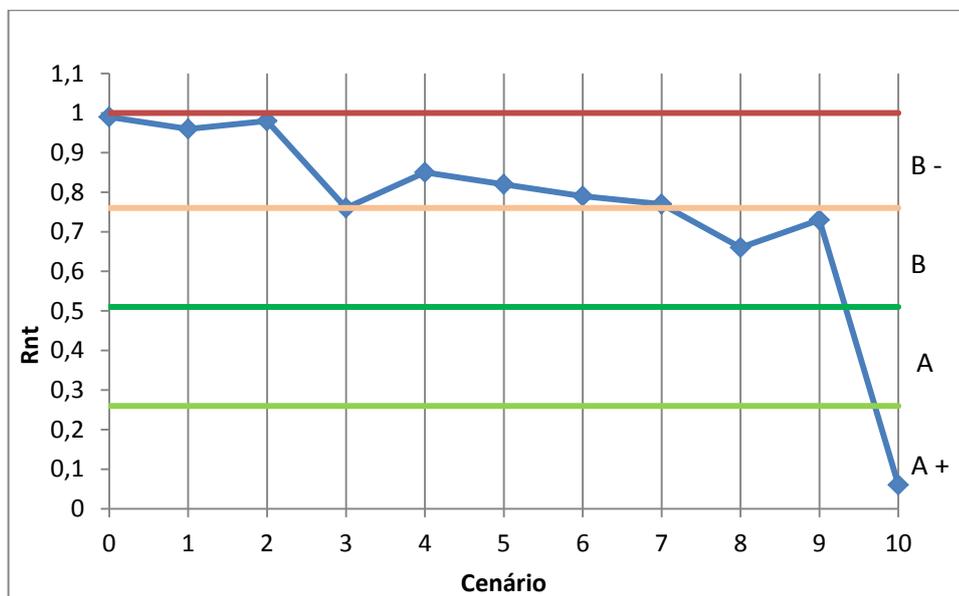


Figura 45 - Desenvolvimento do rácio de desempenho energético ao aplicar as diferentes medidas (caso 2), não considerando o contributo das energias de fonte renovável para as bombas de calor e equipamentos de ar-condicionado.

As ilações a retirar desta tabela e do gráfico são muito semelhantes às do caso anterior. A implementação de uma caldeira a *pellets* é claramente muito vantajosa para obter uma classe energética muito eficiente e a implementação de um sistema solar térmico também beneficia para uma significativa redução do valor de  $N_{tc}$  e consequentemente melhoria da classe de energética. No entanto, neste caso repara-se que há algumas medidas que não contribuem na mesma proporção que no caso 1. A isto se deve essencialmente ao facto do valor de  $N_{tc}$  ser consideravelmente inferior ao do caso anterior e a utilização de equipamentos muito eficientes para aquecimento central não ter um impacto tão significativo no cálculo final.

De seguida é apresentado, tal como para o caso 1, o mesmo estudo considerando o contributo das energias de fonte renovável das bombas de calor e dos equipamentos de ar-condicionado.

Tabela 35 - Determinação da classe de desempenho energético para diferentes cenários (caso 2) considerando o contributo das energias de fonte renovável nas bombas de calor e equipamentos de ar-condicionado.

Cenário	Aq.	Arr.	AQS	E.F.R.	$N_{tc}$	$N_t$	$R_{Nt}$	Classe de desempenho energético
Base (0)	120,93	6,57	34,00	0	161,50	163,54	0,99	B-
1	54,23	4,43	14,48	57,01	16,14	76,22	0,21	A+
2	37,67	4,43	17,23	57,01	2,33	60,46	0,04	A+
3	26,86	5,99	7,71	103,25	-60,68	55,91	-1,09	A+
4	44,54	4,38	11,90	30,36	30,45	71,18	0,43	A
5	54,23	4,43	13,35	66,37	5,64	76,22	0,07	A+
6	26,87	4,38	7,88	47,46	-8,33	49,25	-0,17	A+
7	37,67	4,43	14,10	66,37	-10,16	60,46	-0,17	A+
8	26,86	5,99	11,49	112,61	-66,27	55,91	-1,18	A+
9	44,54	4,38	12,64	39,73	21,83	71,18	0,31	A
10	53,45	4,38	14,28	124,21	-52,06	79,47	-0,66	A+

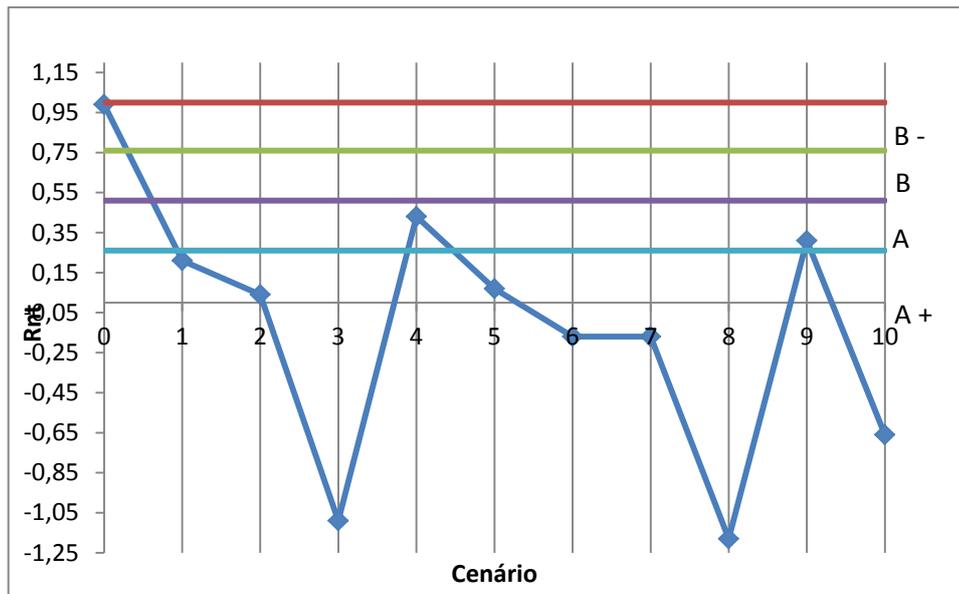


Figura 46 - Desenvolvimento do rácio de desempenho energético ao aplicar as diferentes medidas (caso 2), considerando o contributo das energias de fonte renovável para as bombas de calor e equipamentos de ar-condicionado.

Tal como no caso anterior, os resultados obtidos considerando o contributo das energias de fonte renovável das bombas de calor e equipamentos de ar-condicionado são muito diferentes dos obtidos quando estes não são incluídos no cálculo. Neste caso é ainda mais evidente que este contributo tem um impacto muito significativo para a determinação da classe energética, chegando a obter valores de  $-66 \text{ kWh}_{ep}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$  de  $N_{tc}$ , causando que a maior parte das medidas esteja associada a uma melhoria de desempenho energético correspondente à classe energética mais eficiente (A+).

Uma vez que o contributo das energias de fonte renovável associados a estes equipamentos não originou resultados credíveis, nesta dissertação não será contabilizado novamente este contributo para cálculos posteriores.

Outro aspeto a salientar é que é evidente que a aplicação da camada de isolamento térmico tem um efeito bastante positivo no que concerne ao desempenho energético do edifício. Já a aplicação dos diferentes equipamentos estudados, na generalidade não teve um contributo tão significativo. A isto se deve também ao facto de no cenário base (sistemas por defeito) serem considerados equipamentos com valores de eficiência bastante elevados, o que na realidade pode não acontecer.

#### 4.3.3. EQUIPAMENTOS DE EMISSÃO

Como referido anteriormente, os sistemas que caracterizam a fração autónoma em estudo não são compostos unicamente pelos equipamentos estudados até este ponto. Obviamente que para além de uma caldeira ou bomba de calor, que são unidades produtoras de calor, existe uma rede de distribuição, que transporta o calor pelas diversas áreas do edifício e também existem equipamentos de emissão, responsáveis por transmitir ou retirar esse calor ao ambiente interno.

Para esta dissertação é admitido que o sistema de distribuição de calor já está implementado no edifício, para além de outros acessórios como depósitos de água, para qualquer sistema que se

considere. No entanto, os equipamentos de emissão são abordados neste ponto do capítulo, por forma a integra-los no cálculo para o custo de investimento.

No caso em estudo são considerados diversos equipamentos produtores de calor, que já foram mencionados, aos quais estão tipicamente associados equipamentos de emissão de calor. De seguida são apresentados os equipamentos de emissão a utilizar no edifício consoante o equipamento principal em uso.

Nos cenários em que se considera a utilização de uma caldeira para aquecimento central e preparação de AQS, são considerados radiadores de alumínio injetado na seguinte disposição: um radiador de 6 elementos por cada um dos quarto quartos e para a cozinha, dois radiadores de 10 elementos para a sala do primeiro andar e para o piso térreo e um radiador de 3 elementos para cada uma das cinco casas de banho. O custo total destes elementos e sua instalação perfaz o valor de 1666 €.

Ao utilizar o sistema de ar-condicionado *multisplit* do tipo ar-ar, são adotadas cinco unidades interiores de ar-condicionado murais de potência (frigorífica) de 2 e 3 kW (calorífica), para aplicação nos quatro quartos do segundo piso e na cozinha do primeiro. Duas unidades de potência 3,5 (frigorífica) e 4,5 kW (calorífica) para a sala aplicação na sala de jantar e no piso térreo. O custo total destas unidades interiores é, segundo o gerador de preços do *Cype*, 3009 €.

Ao utilizar as bombas de calor como equipamento principal, são assumidos os ventilo-convectores centrífugos como equipamentos de emissão de calor. Considerando que estes aparelhos são capazes de emitir uma quantidade de calor semelhante às unidades interiores de ar-condicionado, para a mesma potência, adotou-se a mesma quantidade e disposição de elementos. Os ventilo-convectores escolhidos são então de 1,7 e 2,8 kW de potência frigorífica perfazendo o custo total de 4300 €, segundo o gerador de preços do *Cype*.

#### 4.3.4. ANÁLISE DE MELHORIA DE DESEMPENHO ENERGÉTICO VS INVESTIMENTO INICIAL

Uma vez determinadas as classes energéticas associadas aos cenários considerados, é interessante realizar um estudo que relacione o custo do investimento com a melhoria de desempenho verificada. Ao associar um custo às medidas tomadas é possível encontrar a melhor medida a tomar para, por exemplo, melhorar o desempenho energético do edifício em estudo por 20% ou até mesmo para que a sua classificação energética melhore de C para B-.

Neste ponto é realizada uma análise para cada caso de comportamento térmico, tal como no ponto anterior, visto que os resultados das medidas tomadas não foram proporcionais para os dois casos.

Tal como referido anteriormente, os resultados obtidos considerando o contributo das energias de fonte renovável para as bombas de calor e equipamentos de ar-condicionado não serão utilizados.

Em cada uma das tabelas seguintes está representada a melhoria de  $R_{Nt}$  de cada medida relativamente ao cenário base de cada um dos casos de comportamento térmico estudados e os custos de investimento, segundo os critérios que foram assumidos.

Tabela 36 – Relação entre melhoria de  $R_{Nt}$  e custo estimado para os diferentes cenários (caso 1).

Cenários	Melhoria de $R_{Nt}$ (%)	Classe energética	Custo estimado
Cenário base	0	C	0 €
Cenário 1	3,01	C	10563 €
Cenário 2	4,51	C	7628 €
Cenário 3	25,56	B-	14077 €
Cenário 4	14,29	C	13318 €
Cenário 5	13,53	C	11167 €
Cenário 6	21,81	C	12011 €
Cenário 7	20,30	C	9898 €
Cenário 8	32,33	B-	16347 €
Cenário 9	23,31	C	15588 €
Cenário 10	96,24	A+	20096 €

Pela análise desta tabela torna-se evidente que a solução correspondente ao cenário 7 é a mais vantajosa relativamente aos cenários anteriores, isto porque é a segunda medida que menos investimento inicial implica e melhora o rácio energético por um pouco mais de 20% do cenário base. No entanto esta medida não é suficiente para garantir a melhoria de classe energética, contrariamente aos cenários 3, 8 e 10. Caso se pretendesse que a classe energética do edifício em estudo passasse de C para B-, as soluções correspondentes aos cenários 3 e 8 seriam as medidas a tomar. A medida 8 apesar de ser mais cara, também garante uma melhoria de  $R_{Nt}$  em relação à medida 3.

Evidentemente que caso se pretendesse que o edifício melhorasse a sua classe energética para A+, a medida a tomar seria a 10, visto que é a única que permite essa melhoria.

Tabela 37 - Relação entre melhoria de  $R_{Nt}$  e custo estimado para os diferentes cenários (caso 2).

Cenários	Melhoria de $R_{Nt}$ (%)	Classe energética	Custo estimado
Cenário base	0	B-	0
Cenário 1	3,03	B-	10563 €
Cenário 2	1,01	B-	7628 €
Cenário 3	23,23	B-	14077 €
Cenário 4	14,14	B-	13318 €
Cenário 5	17,17	B-	11167 €
Cenário 6	20,20	B-	12011 €
Cenário 7	22,22	B-	9898 €
Cenário 8	33,33	B	16347 €
Cenário 9	26,26	B	15588 €
Cenário 10	93,94	A+	20096 €

Tal como no caso anterior, pela análise da Tabela 37 torna-se evidente que o cenário 7 é certamente a medida mais em conta relativamente aos 7 primeiros cenários, melhorando o rácio energético por mais de 22% em relação ao cenário base. Relativamente aos cenários 8 e 9, a melhoria do rácio energético aproxima-se dos 30% . A diferença de custos entre os dois cenários não justifica, à partida, a melhoria de desempenho energético calculada para o cenário 8. Previsivelmente o cenário 10, apesar de ser uma medida bastante dispendiosa em relação às outras todas, é a única que permite que o edifício atinja a classe energética máxima.

#### 4.4. APLICAÇÃO DOS CENÁRIOS A DIFERENTES CIDADES PORTUGUESAS

Este subcapítulo é destinado, como o nome indica, à aplicação dos cenários descritos ao mesmo edifício, considerando que este se localiza em diferentes cidades do país. O objetivo é estudar de que forma a localização afeta o desempenho energético do edifício em estudo. Tendo em conta este aspeto, é mais produtivo realizar o estudo em cidades que se encontrem dispersas em Portugal e com condições climáticas distintas.

Tal como realizado até este ponto da dissertação, os dados relativos à localização da obra são introduzidos no programa *Cype*, por forma a determinar a classe energética do edifício (aplicando os sistemas por defeito) e obter os diferentes valores de energia primária e os seus limites. Conjugando estes valores com os dados dos equipamentos descritos neste capítulo é possível determinar a classe energética do edifício para os diferentes cenários. Apesar dos valores de energia fornecida pelo sistema solar térmico variar na realidade, para efeito de cálculo não foi considerada essa variação.

As cidades escolhidas para a aplicação dos cenários foram:

- Lisboa;
- Faro;
- Bragança.

Uma vez que as condições climáticas da cidade do Porto não foram referidas anteriormente e tendo em consideração que o âmbito deste subcapítulo se baseia, sobretudo neste aspeto, é apresentado seguidamente (Figura 47) os valores assumidos (pré-definidos pelo *Cype*). A cidade do Porto é uma das cidades mais importantes de Portugal, localizando-se no noroeste do país, junto ao oceano.

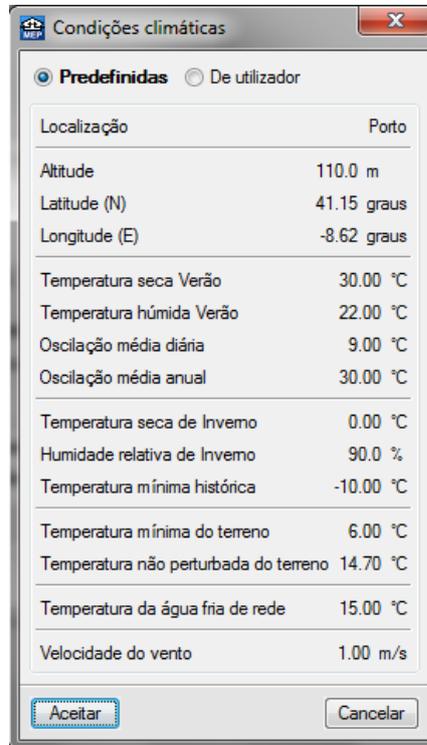


Figura 47 – Condições climáticas da cidade do Porto.

Utilizando estes dados foram obtidos os valores das necessidades nominais anuais de energia útil para os diferentes sistemas e para os dois casos de comportamento térmico, representados na Tabela 38 e

Tabela 39, já referidos nas Tabela 19 e Tabela 21, no capítulo anterior.

Tabela 38 – Requisitos energéticos para o primeiro caso na cidade do Porto.

Necessidades nominais anuais de energia...	Valor calculado [kWh/(m <sup>2</sup> .ano)]	Valor limite [kWh/(m <sup>2</sup> .ano)]
Útil para Aquecimento	70,91	48,55
Útil para Arrefecimento	6,91	9,15
Útil para Preparação de AQS	12,92	12,92
Primária [(kWh <sub>ep</sub> )/(m <sup>2</sup> .ano)]	217,45	163,54

Tabela 39 - Requisitos energéticos para o segundo caso na cidade do Porto.

Necessidades nominais anuais de energia...	Valor calculado [kWh/(m <sup>2</sup> .ano)]	Valor limite [kWh/(m <sup>2</sup> .ano)]
Útil para Aquecimento	48,37	48,55
Útil para Arrefecimento	7,36	9,15
Útil para Preparação de AQS	12,92	12,92
Primária [(kWh <sub>ep</sub> )/(m <sup>2</sup> .ano)]	161,50	163,54

#### 4.4.1. LISBOA

Lisboa é a capital e mais populada cidade em Portugal. Situa-se junto à costa e situa-se a uma latitude ligeiramente a sul do centro geométrico do país. Na Figura 48 estão representadas as condições climáticas que o programa assume para esta cidade, para efeitos de cálculo.

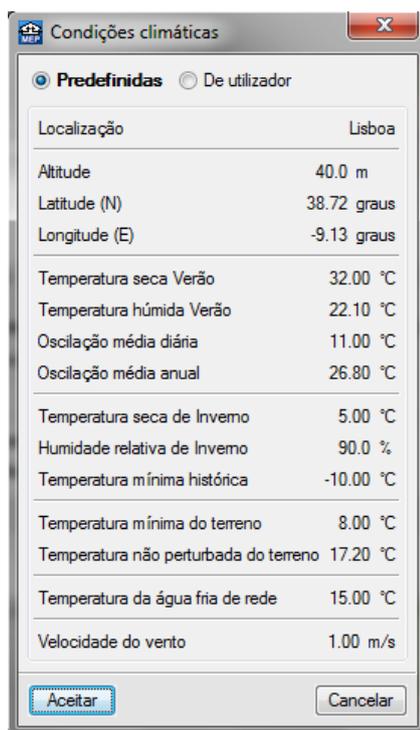


Figura 48 – Condições climáticas de Lisboa.

De seguida são apresentados (Tabela 40 e Tabela 41) os requisitos energéticos calculados pelo *Cype* para a cidade de Lisboa, considerando os dados mencionados, aplicando sistemas por defeito, para os dois casos de comportamento térmico. É também determinada a classe energética do edifício nessas condições.

Como referido anteriormente, no primeiro caso assume-se que as paredes exteriores do edifício não têm isolamento térmico, enquanto que no segundo se considera 4 cm de lã de rocha.

Tabela 40 – Requisitos energéticos para o primeiro caso na cidade de Lisboa.

Necessidades nominais anuais de energia...	Valor calculado [kWh/(m <sup>2</sup> .ano)]	Valor limite [kWh/(m <sup>2</sup> .ano)]
Útil para Aquecimento	49,11	34,40
Útil para Arrefecimento	12,99	14,77
Útil para Preparação de AQS	12,92	12,92
Primária [(kWh <sub>ep</sub> )/(m <sup>2</sup> .ano)]	168,38	133,19

Pela análise da tabela, vem que  $R_{Nt}$  é igual a 1,26; ou seja, o edifício pertence à classe energética C.

Tabela 41 - Requisitos energéticos para o segundo caso na cidade de Lisboa.

Necessidades nominais anuais de energia...	Valor calculado [kWh/(m <sup>2</sup> .ano)]	Valor limite [kWh/(m <sup>2</sup> .ano)]
Útil para Aquecimento	32,69	34,40
Útil para Arrefecimento	13,08	14,77
Útil para Preparação de AQS	12,92	12,92
Primária [(kWh <sub>ep</sub> )/(m <sup>2</sup> .ano)]	127,41	133,19

Aplicando a fórmula (1) vem que  $R_{Nt}$  é igual a 0,96; correspondendo à classe energética B-.

Posto isto, procede-se de seguida à aplicação dos cenários já mencionados anteriormente.

Nas tabelas seguintes estão sintetizados os resultados obtidos para cada um dos casos de comportamento térmico analisados.

Tabela 42 – Determinação da classe energética do edifício para o primeiro caso (Lisboa).

Cenários	$R_{Nt}$	Melhoria de $R_{Nt}$ (%)	Classe energética	Custo estimado
Cenário base	1,26	0	C	0 €
Cenário 1	1,19	5,56	C	10563 €
Cenário 2	1,18	6,35	C	7628 €
Cenário 3	0,96	23,81	B-	14077 €
Cenário 4	1,07	15,08	C	13318 €
Cenário 5	1,03	18,25	C	11167 €
Cenário 6	0,98	22,22	B-	12011 €
Cenário 7	0,94	25,40	B-	9898 €
Cenário 8	0,85	32,54	B-	16347 €
Cenário 9	0,92	26,98	B-	15588 €
Cenário 10	0,12	90,48	A+	20096 €

Tabela 43 - Determinação da classe energética do edifício para o segundo caso (Lisboa).

Cenários	$R_{Nt}$	Melhoria de $R_{Nt}$ (%)	Classe energética	Custo estimado
Cenário base	0,96	0	B-	0 €
Cenário 1	0,91	5,21	B-	10563 €
Cenário 2	0,94	2,08	B-	7628 €
Cenário 3	0,76	20,83	B-	14077 €
Cenário 4	0,82	14,58	B-	13318 €
Cenário 5	0,75	21,88	B	11167 €
Cenário 6	0,77	19,79	B-	12011 €
Cenário 7	0,71	26,04	B	9898 €
Cenário 8	0,65	32,29	B	16347 €
Cenário 9	0,68	29,17	B	15588 €
Cenário 10	0,15	84,38	A+	20096 €

Tal como para a cidade do Porto, a implementação do cenário 7 aparenta ser uma opção melhor do que as anteriores. Entre o cenário 8 e 9 não aparenta haver diferença suficiente em termos de melhoria de

desempenho energético que justifique os cerca de 1000 € que se investe a mais na medida 8. O cenário 10 continua a ser o único que garante a melhoria de classe energética para A+ a um preço algo elevado em relação aos outros.

#### 4.4.2. BRAGANÇA

Bragança é uma cidade situada no nordeste de Portugal, na zona de Trás-os-montes e é conhecida pela sua grande amplitude térmica e altitude elevada. Na Figura 49 estão representados os parâmetros climáticos assumidos pelo *Cype* para esta cidade.

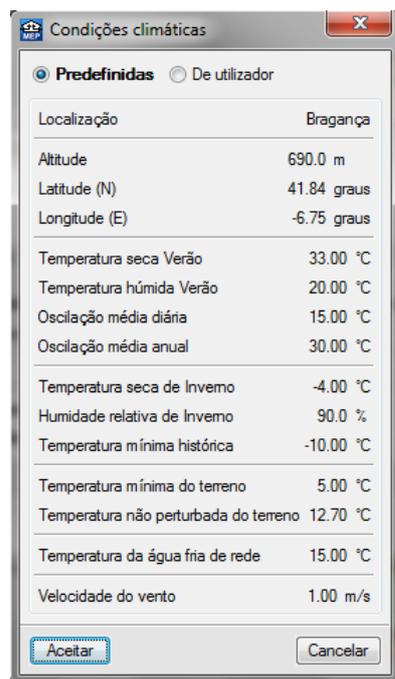


Figura 49 – Condições climáticas de Bragança.

De seguida são apresentados (Tabela 44 e Tabela 45) os requisitos energéticos calculados pelo *Cype* para a cidade de Bragança, considerando os dados mencionados, aplicando sistemas por defeito, para os dois casos de comportamento térmico. É também determinada a classe energética do edifício nessas condições.

Tabela 44 - Requisitos energéticos para o primeiro caso na cidade de Bragança.

Necessidades nominais anuais de energia...	Valor calculado [kWh/(m <sup>2</sup> .ano)]	Valor limite [kWh/(m <sup>2</sup> .ano)]
Útil para Aquecimento	126,38	71,50
Útil para Arrefecimento	8,57	10,60
Útil para Preparação de AQS	12,92	12,92
Primária [(kWh <sub>ep</sub> )/(m <sup>2</sup> .ano)]	357,60	222,21

O valor de  $R_{Nt}$  para esta situação é de 1,61; correspondente à classe energética D.

Tabela 45 - Requisitos energéticos para o segundo caso na cidade de Bragança.

Necessidades nominais anuais de energia...	Valor calculado [kWh/(m <sup>2</sup> .ano)]	Valor limite [kWh/(m <sup>2</sup> .ano)]
Útil para Aquecimento	89,31	71,50
Útil para Arrefecimento	8,83	10,60
Útil para Preparação de AQS	12,92	12,92
Primária [(kWh <sub>ep</sub> )/(m <sup>2</sup> .ano)]	265,16	222,21

Para esta situação,  $R_{Nt}$  assume o valor de 1,19; correspondente à classe energética C.

Nas tabelas seguintes estão sintetizados os resultados obtidos para cada um dos casos de comportamento térmico analisados.

Tabela 46 - Determinação da classe energética do edifício para o primeiro caso (Bragança).

Cenários	$R_{Nt}$	Melhoria de $R_{Nt}$ (%)	Classe energética	Custo estimado
Cenário base	1,61	0	D	0 €
Cenário 1	1,56	3,11	D	10563 €
Cenário 2	1,52	5,59	D	7628 €
Cenário 3	1,20	25,47	C	14077 €
Cenário 4	1,39	13,67	C	13318 €
Cenário 5	1,46	9,32	C	11167 €
Cenário 6	1,25	22,36	C	12011 €
Cenário 7	1,36	15,53	C	9898 €
Cenário 8	1,13	29,81	C	16347 €
Cenário 9	1,30	19,26	C	15588 €
Cenário 10	0,05	96,89	A+	20096 €

Tabela 47 - Determinação da classe energética do edifício para o segundo caso (Bragança).

Cenários	$R_{Nt}$	Melhoria de $R_{Nt}$ (%)	Classe energética	Custo estimado (€)
Cenário base	1,19	0	C	0 €
Cenário 1	1,16	2,52	C	10563 €
Cenário 2	1,16	2,52	C	7628 €
Cenário 3	0,91	23,53	B-	14077 €
Cenário 4	1,03	13,45	C	13318 €
Cenário 5	1,06	10,92	C	11167 €
Cenário 6	0,95	20,17	B-	12011 €
Cenário 7	1,00	15,97	C	9898 €
Cenário 8	0,83	30,25	B-	16347 €
Cenário 9	0,94	21,01	B-	15588 €
Cenário 10	0,05	95,80	A+	20096 €

A aplicação destes cenários à cidade de Bragança revela um efeito muito menos significativo do que para as cidades anteriores, salvo o cenário 10.

Contrariamente ao que sucede no estudo dos efeitos destes cenários aplicados nas cidades anteriores, o cenário 7 surge como uma medida muito menos proveitosa em relação às anteriores. Uma vez que as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento são muito elevadas, ocorre uma majoração significativa do contributo das energias de fonte renovável no caso de caldeiras a biomassa, chegando ao ponto de  $N_{tc}$  atingir valores muito próximos de zero.

#### 4.4.3. FARO

Faro é uma cidade localizada no sul do país, na região do Algarve. A sua localização geográfica faz com que esta zona de Portugal tenha temperaturas elevadas ao longo do ano, relativamente ao resto do país. Na Figura 50 estão representados os parâmetros climáticos assumidos pelo *Cype* para esta cidade.

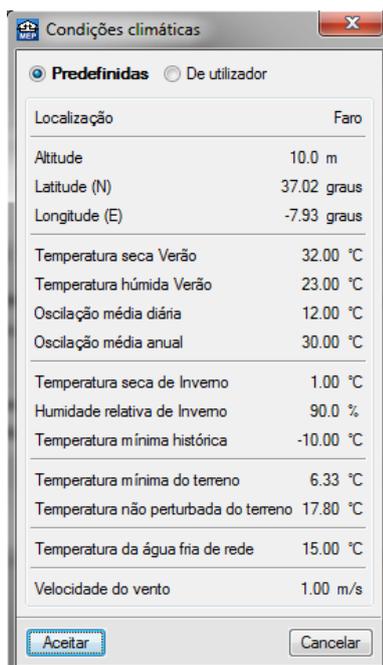


Figura 50 – Condições climáticas de Faro.

Seguidamente são apresentados (Tabela 48 e Tabela 49) os requisitos energéticos calculados pelo *Cype* para Faro, considerando os dados mencionados, aplicando sistemas por defeito, para os dois casos de comportamento térmico. É também determinada a classe energética do edifício nessas condições.

Tabela 48 - Requisitos energéticos para o primeiro caso na cidade de Faro.

Necessidades nominais anuais de energia...	Valor calculado [kWh/(m <sup>2</sup> .ano)]	Valor limite [kWh/(m <sup>2</sup> .ano)]
Útil para Aquecimento	34,10	24,58
Útil para Arrefecimento	17,75	19,04
Útil para Preparação de AQS	12,92	12,92
Primária [(kWh <sub>ep</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)]	135,10	112,45

Segundo estes resultados, o valor do rácio de classe energética ( $R_{Nt}$ ) é 1,20; correspondente à classe energética C.

Tabela 49 - Requisitos energéticos para o segundo caso na cidade de Faro.

Necessidades nominais anuais de energia...	Valor calculado [kWh/(m <sup>2</sup> .ano)]	Valor limite [kWh/(m <sup>2</sup> .ano)]
Útil para Aquecimento	21,79	24,58
Útil para Arrefecimento	17,31	19,04
Útil para Preparação de AQS	12,92	12,92
Primária [(kWh <sub>ep</sub> )/(m <sup>2</sup> .ano)]	103,94	112,45

Para esta situação,  $R_{Nt}$  assume o valor de 0,92; correspondente à classe energética B-.

Nas tabelas seguintes estão sintetizados os resultados obtidos para cada um dos casos de comportamento térmico analisados.

Tabela 50 - Determinação da classe energética do edifício para o primeiro caso (Faro).

Cenários	$R_{Nt}$	Melhoria de $R_{Nt}$ (%)	Classe energética	Custo estimado
Cenário base	1,20	0	C	0 €
Cenário 1	1,11	7,50	C	10563 €
Cenário 2	1,10	8,33	C	7628 €
Cenário 3	0,93	22,50	B-	14077 €
Cenário 4	0,99	17,50	B-	13318 €
Cenário 5	0,93	22,50	B-	11167 €
Cenário 6	0,93	22,50	B-	12011 €
Cenário 7	0,85	29,17	B-	9898 €
Cenário 8	0,81	32,50	B-	16347 €
Cenário 9	0,84	30,00	B-	15588 €
Cenário 10	0,22	81,67	A+	20096 €

Tabela 51 - Determinação da classe energética do edifício para o segundo caso (Faro).

Cenários	$R_{Nt}$	Melhoria de $R_{Nt}$ (%)	Classe energética	Custo estimado
Cenário base	0,92	0	B-	0 €
Cenário 1	0,87	5,43	B-	10563 €
Cenário 2	0,90	2,17	B-	7628 €
Cenário 3	0,76	17,39	B-	14077 €
Cenário 4	0,78	15,22	B-	13318 €
Cenário 5	0,68	26,09	B	11167 €
Cenário 6	0,75	18,48	B	12011 €
Cenário 7	0,65	29,35	B	9898 €
Cenário 8	0,64	30,43	B	16347 €
Cenário 9	0,62	32,61	B	15588 €
Cenário 10	0,24	73,91	A+	20096 €

Pela análise destas tabelas verifica-se que para Faro tal como para a cidade do Porto e Lisboa, o cenário 7 aparenta ser bastante boa para o investimento que representa. É de salientar que a medida 10, apesar de ser a única que permite que o edifício melhore de classe energética para A+, apresenta também o maior rácio de classe energética ( $R_{Nt}$ ) do que para qualquer outra cidade estudada, a isto se deve essencialmente ao facto do valor das necessidades nominais anuais para aquecimento serem mais reduzidas para esta cidade.

#### 4.4.4. SÍNTESE DE RESULTADOS

Ao comparar os resultados para as diferentes cidades do ponto anterior, denota-se alguma semelhança relativamente às cidades do Porto, Lisboa e Faro. Bragança é a cidade que mais se distingue das outras e como tal, neste ponto é elaborada uma síntese, com alguns gráficos indicativos (Figura 51 e Figura 52) que comparam resultados de alguns cenários aplicados e o seu custo estimado para a cidade do Porto e Bragança. Numa fase final deste ponto é também abordada a questão relativamente às metodologias de cálculo para a determinação de  $N_{ic}$  segundo a legislação anterior.

De seguida é apresentada a primeira das tabelas referidas, correspondendo à relação entre os valores de  $N_{ic}$  obtidos para as duas situações de comportamento térmico consideradas e o custo inicial de implementação das medidas aplicadas, para a cidade do Porto.

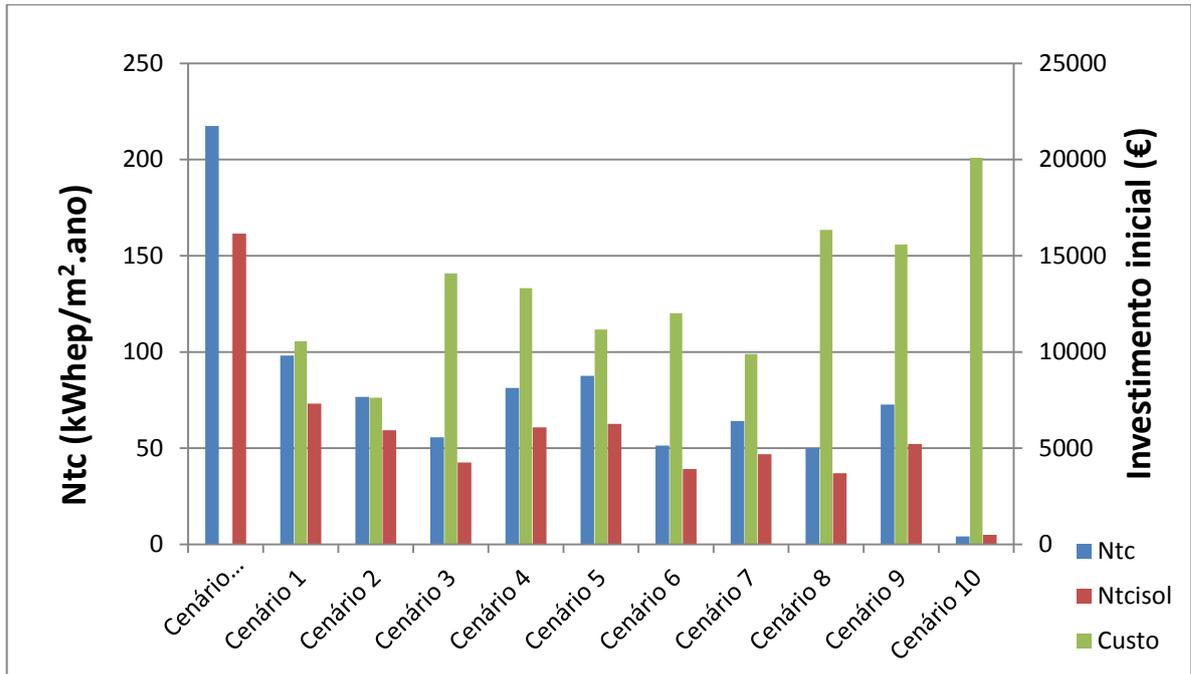


Figura 51 – Relação entre  $N_{tc}$  e investimento inicial das medidas a aplicar para a cidade do Porto.

Seguidamente é apresentado um gráfico que relaciona os mesmos parâmetros, aplicados à cidade de Bragança.

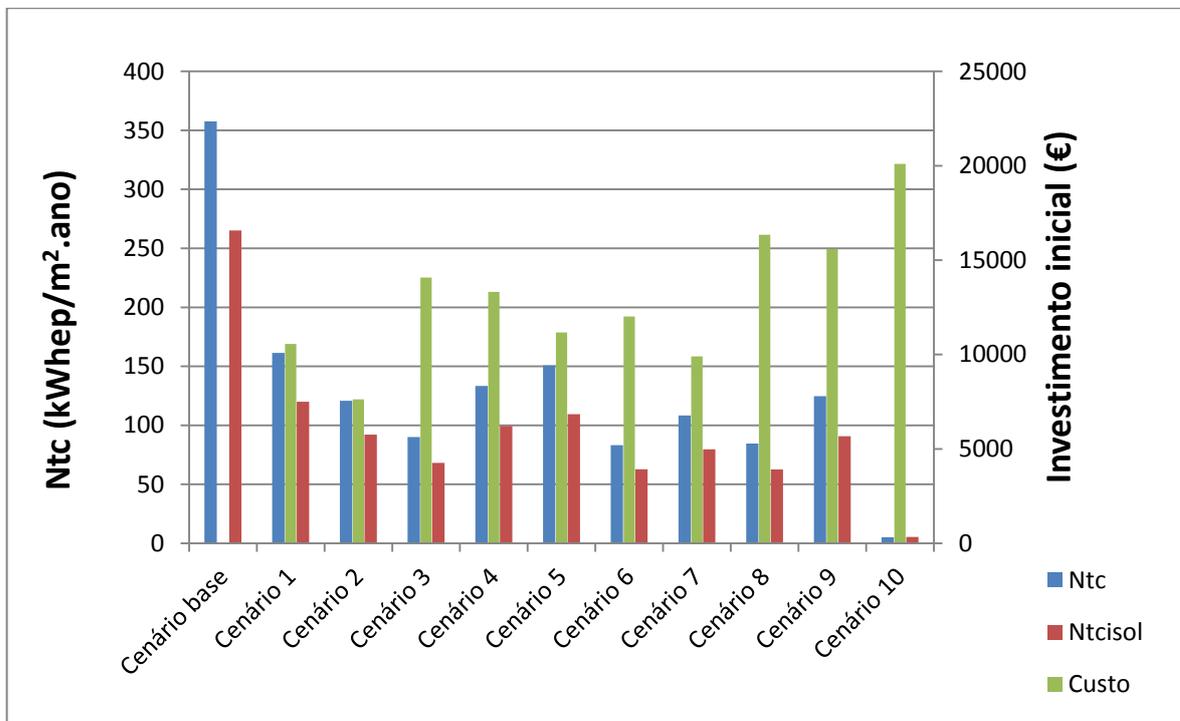


Figura 52 - Relação entre  $N_{tc}$  e investimento inicial das medidas a aplicar para a cidade de Bragança.

Pela análise dos gráficos é evidente que para a cidade de Bragança os valores das necessidades nominais anuais de energia primária para ambas as situações de comportamento térmico são muito superiores do que para a cidade do Porto. Porém, os valores de  $N_t$  são também superiores, o que atenua, de certo modo, um aumento tão significativo do rácio de classe energética. No entanto, como se verificou pelos resultados obtidos no ponto 4.4.2., o aumento de  $N_t$  não é suficiente para garantir classes energéticas mais eficientes do que para a cidade do Porto, salvo para o cenário 10, que é fortemente afetado pelo contributo das energias de fonte renovável no cálculo de  $N_{ic}$ .

Todo este estudo foi realizado conforme os critérios do REH, no entanto é interessante referir que, segundo a legislação anterior (RCCTE), a determinação do valor de  $N_{ic}$  e  $N_t$  eram bastante diferentes da nova legislação, sendo que agora, há uma maior exigência para que um edifício obtenha uma classe energética mais favorável (Rodrigues, 2014). Segundo o RCCTE:

$$N_{tc} = 0,1(N_{ic}/\eta_i) \times F_{pui} + 0,1(N_{vc}/\eta_v) \times F_{puv} + N_{ac} \times F_{pua} \quad [\text{kgep}/(\text{m}^2.\text{ano})] \quad (14)$$

Como se verifica pela fórmula supracitada,  $N_{ic}$  era muito influenciado pelo valor das necessidades nominais anuais de energia para preparação de AQS, pois o seu valor multiplicado pelo fator de conversão correspondente não era alvo de minoração, tal como sucedia com os valores das necessidades nominais anuais de aquecimento e de arrefecimento. Era, portanto, por isso mesmo, um ponto muito explorado, caso se pretendesse melhorar o rácio de classificação energética. Tal já não sucede com a atual legislação, que equilibra, de certa forma, a influência destes três sistemas para o cálculo de  $N_{ic}$  e conseqüentemente,  $N_{Nt}$ . Para além desta diferença, é de salientar que mesmo os valores de eficiência a tomar “por defeito” foram alterados, na medida em que no RCCTE eram utilizados valores por defeito associados a um equipamento presente no edifício e atualmente são utilizados valores de eficiência (para sistema de aquecimento) ou assumindo um equipamento com características fixas, que pode ou não existir no edifício. Os valores de  $F_{pu}$  foram também alterados, tal como as suas unidades e conseqüentemente as de  $N_{ic}$ . Anteriormente  $F_{pu}$  para sistemas a eletricidade assumia o valor de 0,290 kgep/kWh e para as restantes fontes de energia tomava o valor de 0,086 kgep/kWh (Governo, 2006).

Alterações como estas, na eficiência dos sistemas, contribuíram para que o REH seja mais completo e complexo de aplicar, contudo traduz-se numa avaliação mais justa do desempenho energético de um edifício.

Relativamente ao comportamento térmico dos edifícios, estes assumem uma posição mais relevante no REH, como se verificou pela análise deste capítulo, do que a posição que assumiam segundo o RCCTE (Rodrigues, 2014).

# 5

## CONCLUSÕES

A implementação do Decreto-Lei n.º 118/2013 veio introduzir grandes alterações na definição de requisitos e na avaliação do desempenho energético dos edifícios. O comportamento térmico e a eficiência dos sistemas assumem claramente uma posição de destaque para esses efeitos. Prova disto, é que neste diploma para além dos requisitos de qualidade térmica terem sido atualizados, surgem também requisitos de eficiência energética para os principais tipos de sistemas técnicos do edifício, caracterizados por valores mínimos de eficiência energética para os sistemas de climatização, de preparação de AQS, de iluminação, de aproveitamento de energias de fonte renovável. A introdução destes requisitos vem confirmar o esforço evidente, por parte do Conselho Europeu e seus estados membros, de tornar os edifícios cada vez mais eficientes e menos poluentes.

Nesta dissertação foram estudados vários equipamentos de climatização, de preparação de AQS e inclusivamente um sistema solar térmico. Para cada um dos equipamentos foi explicado o funcionamento geral, as normas ou regras que os certificam e alguns dados técnicos. Naturalmente existem diversas variantes para cada equipamento consoante o edifício onde se pretendem aplicar, sendo que a potência assume uma posição extremamente relevante nesse aspeto. Curiosamente, a potência não integra, de forma alguma, os cálculos para a determinação da classe energética. Ao analisar a legislação é possível verificar que o rácio de desempenho energético ( $R_{Ni}$ ) depende da eficiência e das necessidades energéticas do edifício.

A eficiência de um sistema é, reconhecidamente, um parâmetro muito difícil de quantificar. Para efeitos de cálculo é recorrente utilizar os valores de eficiência dos equipamentos principais (produtores de calor) como o valor da eficiência do sistema, porém tal não corresponde à realidade, dado que um sistema é constituído por mais elementos com diferentes funções e eficiências próprias que não dependem apenas do material que os constitui, mas também da forma como foram instalados e são utilizados. Nesta dissertação optou-se por utilizar os valores de eficiência descritos nos catálogos dos equipamentos escolhidos, alguns destes também mencionados no gerador de preços do *Cype*.

Com a definição do edifício em estudo no programa *Cype* foi possível determinar os valores de comportamento térmico do edifício, incluindo as necessidades energéticas dos diferentes sistemas que integram a fórmula de cálculo para a determinação da classe energética. Porém, para este cálculo foram utilizados sistemas por defeito para a caracterização da fração autónoma, não correspondendo a nenhum equipamento em específico em alguns dos casos.

A definição dos parâmetros que caracterizam os sistemas denominados “por defeito” suscitaram algumas dúvidas relativamente à sua quantificação. Apesar dos valores correspondentes à fonte energia ou combustível ( $F_{pu}$ ) serem os mais elevados (2,5 kWh<sub>ep</sub>/kWh), correspondentes a equipamentos a energia elétrica (majorando desta forma o valor de  $N_{tc}$ ), os valores adotados para

quantificar são também elevados: 1 para o aquecimento central, 2,8 para o arrefecimento e 0,95 para preparação de AQS. Este é um dos fatores que justifica o facto dos cenários analisados no capítulo 4 não se terem traduzido em melhorias significativas do desempenho energético do edifício em estudo. Uma vez que estes valores podem ser adotados em situações em que não se sabe exatamente caracterizar um sistema, por não estarem instalados ou, simplesmente por omissão em projeto, haverá certamente casos em que o desempenho energético de um edifício é sobreavaliado.

No capítulo 4 foi abordada a questão polémica relativa à contribuição das energias de fonte renovável por parte das bombas de calor e dos equipamentos de ar-condicionado. Uma vez que em Portugal, ainda não existe informação orientada para o cálculo desta contribuição, foram assumidos valores segundo leis europeias cuja aplicação não originou resultados fidedignos, motivo pelo qual, o seu contributo foi desprezado para os cálculos subsequentes. Ainda relativamente a este tema das energias de fonte renovável é de salientar que apesar do contributo dos equipamentos a biomassa estar explicitamente quantificado na legislação em vigor, para a cidade de Bragança foi obtido um valor extremamente elevado e que superou o somatório de todas as outras parcelas intervenientes no cálculo de  $N_{tc}$ , o que não é credível.

Ao aplicar os cenários escolhidos foram obtidos resultados relativos ao desempenho energético do edifício. Tornou-se evidente que a aplicação de isolamento térmico pelo interior das paredes exteriores reduziu consideravelmente as necessidades nominais anuais para aquecimento e apenas aumentou um pouco as necessidades nominais anuais para arrefecimento. Através desta alteração é notória a melhoria do desempenho energético do edifício.

Relativamente ao contributo da eficiência dos sistemas, como já foi referido anteriormente, não se verificaram grandes melhorias no rácio energético, com a exceção das três últimas, em especial a medida 10 que, considerando o contributo das energias de fonte renovável por parte da caldeira a biomassa, originou que o edifício fosse classificado como A+, para qualquer caso de comportamento térmico estudado e para qualquer cidade considerada.

Excluindo estes cenários, a aplicação da medida 7 (sistema de ar-condicionado *multisplit* composto por uma unidade exterior para climatização, esquentador para preparação de AQS e sistema solar térmico para apoio à preparação de AQS) apresentou-se como uma das melhores medidas a implementar nas cidades do Porto, Lisboa e Faro, tendo em conta o investimento inicial e a melhoria do rácio de classe energética associada. Já para a cidade de Bragança a aplicação dos cenários, na sua generalidade, não representou uma melhoria tão significativa como para as outras cidades e o cenário 7 não correspondeu a uma alternativa tão favorável em relação às outras medidas. Nesta cidade o cenário 10 (caldeira a *pellets* para aquecimento e preparação de AQS e um sistema de ar-condicionado *multisplit* composto por uma unidade exterior) destacou-se claramente como uma medida extremamente eficiente, apresentando melhorias do rácio energético de aproximadamente 100% em relação ao caso base.

Visto que a contribuição das energias de fonte renovável das bombas de calor ainda não foi quantificada para Portugal, sugere-se para trabalhos futuros, após a emissão do despacho destinado para o efeito, um estudo do desempenho energético de uma habitação unifamiliar equipada com sistemas desse género.

## BIBLIOGRAFIA

92/42/CEE, D. (1992). The Boiler Efficiency Directive.

Adene. (2011). Perguntas & Respostas sobre o RCCTE. Disponível em WWW: <[http://www2.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/PerguntasRespostas/Documents/PR\\_RCCTE\\_20.pdf](http://www2.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/PerguntasRespostas/Documents/PR_RCCTE_20.pdf)>.

ANPEB. Processo de Certificação. Disponível em WWW: <<http://www.anpeb.pt/#!/produto--processo-de-certificacao/ccgk>>.

Bettgenhäuser, K., Offermann, M., Boermans, T., Bosquet, M., Grözinger, J., Manteuffel, B. v., Surmeli, N. (2013). Heat Pump Implementation

Scenarios until 2030. ECOFYS.

Carvalho, L. (2014). Colectores Solares Térmicos - Tecnologia. 8ª Edição.

Daikin. O que é o VRV? Disponível em WWW: <<http://www.daikin.pt/commercial/needs/air-conditioning/vrv/what-is-vrv.jsp>>.

Daikin. Rooftops. Disponível em WWW: <<http://www.daikin.pt/commercial/needs/air-conditioning/rooftops/>>.

DGEG. (2013a). Despacho n.º 15793-D/2013.

DGEG. (2013b). Despacho n.º 15793-H/2013.

DGEG. (2013c). Despacho n.º 15793-I/2013.

DGEG. (2013d). Despacho n.º 15793-J/2013.

E. Molenbroek, E. S., T. Boermans. (2011). Primary energy factors for electricity in buildings.

EDP. (2014). Ar condicionado/Bomba de calor. Disponível em WWW: <<http://www.eco.edp.pt/pt/particulares/conhecer/equipamentos-eficientes/climatizacao/ar-condicionado-bomba-de-calor>>.

ENAT. (2014). O que são pellets? Disponível em WWW: <<http://pt.enat.pt/pt/produtos/biomassa/caldeiras-a-pellets>>.

Energy, U. S. D. o. (2001). Air-Source Heat Pumps.

Gabinete para o Desenvolvimento do Sector Energético. O que é a Energia? Disponível em WWW: <[http://www.gdse.gov.mo/por/GDSE\\_Pages/info.asp](http://www.gdse.gov.mo/por/GDSE_Pages/info.asp)>.

Gavaldà, O., Depoorter, V., Oppelt, T., Ginderdeuren, K. v. (2014). Report of different options for renewable energy supply in Data Centres in Europe. Renew IT.

Government, U. (2009). SAP.

Governo. (2006). RCCTE.

Governo. (2013). Portaria n.º 349-B/2013.

Ministério da Economia e do Emprego. (2013). Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto.

Nowak, T. (2011). Heat pumps—a renewable energy technology? REHEV Journal.

Oliveira, R. (2014). A influência dos sistemas técnicos na eficiência energética das habitações. 8ª Edição.

Ribeiro, V. B. M. (2014). Dimensionamento de instalações solares térmicas em edifícios projeto e análise de viabilidade económica. FEUP, Porto.

Rodrigues, M. P. (2014). Evolução da regulamentação térmica de edifícios estudo comparativo. FEUP, Porto.

Termotechnology, B. (2013).

Timberexchange. Alternative in wood industry. Disponível em WWW: <<http://www.timberexchange.com/po/pages/biomass/9>>.

Union, E. (2013). 2013/114/EU.

Vulcano. (2014a). Catálogo de Produtos. Disponível em WWW: <[http://www.vulcano.pt/consumidor/documentacao/catalogo\\_de\\_produtos/catalogodeprodutos](http://www.vulcano.pt/consumidor/documentacao/catalogo_de_produtos/catalogodeprodutos)>.

Vulcano. (2014b). Energia Solar Térmica. Disponível em WWW: <[http://www.vulcano.pt/consumidor/servicos/aconselhamento/energias\\_renovaveis/aconselhamentoenergiasrenovaveis](http://www.vulcano.pt/consumidor/servicos/aconselhamento/energias_renovaveis/aconselhamentoenergiasrenovaveis)>.

## **ANEXOS**



**ÍNDICE DE ANEXOS:**

ANEXO A1 - CUMPRIMENTO DAS EXIGÊNCIAS DO REH (CASO 1).....	3
ANEXO A2 - CUMPRIMENTO DAS EXIGÊNCIAS DO REH (CASO 2).....	21
ANEXO A3 - DESEMPENHO ENERGÉTICO (CASO 1).....	39
ANEXO A4 - DESEMPENHO ENERGÉTICO (CASO 2).....	4J



**ANEXO A1**  
**CUMPRIMENTO DAS EXIGÊNCIAS DO REH**  
**(CASO 1)**

FICHA n.º 1  
REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH).

Câmara Municipal de \_\_\_\_\_

Edifício

Empreendimento: \_\_\_\_\_ Nº de frações: 1

Morada: \_\_\_\_\_

Freguesia: \_\_\_\_\_ Concelho: \_\_\_\_\_

Tipo de intervenção

Edifício novo:  X

Grande intervenção: \_\_\_\_\_

Caracterização

Fração	Área interior útil de pavimento (m <sup>2</sup> )	Pé direito médio ponderado (m)	Tipologia
Sistema por defeito	206.96	2.82	T4

Resumo de cálculo

Nic ≤ Ni	70.91 ≤ 48.55	
Ntc ≤ Nt	217.45 ≤ 167.34	

Técnico responsável pelo projeto de comportamento térmico

Nome: \_\_\_\_\_

Inscrito na: \_\_\_\_\_ Número de inscrição: \_\_\_\_\_

Assinatura

Não Verificado

REH - Fichas de cálculo  
REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH).

Ficha de cálculo A  
TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

A.1 - ENVOLVENTE EXTERIOR

Paredes exteriores	Área A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> °C	U·A W/°C
Parede exterior primeiro caso	26.19	1.67	43.74
Parede exterior primeiro caso	139.98	1.68	235.17
TOTAL			278.91

Vãos envidraçados exteriores	Área A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> °C	U·A W/°C
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	5.72	4.33	24.77
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	9.60	3.97	38.11
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	4.99	4.35	21.71
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	6.52	4.20	27.38
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	5.04	4.11	20.71
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	0.36	4.67	1.68
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	1.89	3.87	7.31
TOTAL			141.67

Vãos opacos exteriores	Área A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> °C	U·A W/°C
Porta exterior, de madeira	6.70	1.79	11.99
TOTAL			11.99

Pontes térmicas lineares	Comp. B m	ψ W/m°C	ψ·B W/°C
Fachada com pavimentos térreos	22.89	0.50	11.45
Fachada com pavimento de nível intermédio	47.92	0.50	23.96
Fachada com varanda	9.06	0.50	4.53
Duas paredes verticais em ângulo saliente	29.00	0.50	14.50
Fachada com caixilharia	153.95	0.25	38.49
TOTAL			92.93

Coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior  $H_{ext,i}$  525.50 W/°C

Coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior  $H_{ext,v}$  525.50 W/°C

A.2 - ENVOLVENTE INTERIOR

Pavimentos sobre espaços não úteis	Área A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> °C	$b_{tr}$	U·A· $b_{tr}$ W/°C
Laje entre pisos	2.50	1.25	1.00	3.13
TOTAL				3.13

Coberturas interiores (sob espaços não úteis)	Área A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> °C	$b_{tr}$	U·A· $b_{tr}$ W/°C
Laje entre pisos	3.42	1.25	1.00	4.28

Laje para desvão	67.39	0.57	0.77	29.58
------------------	-------	------	------	-------

TOTAL	33.86
-------	-------

Coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente interior  $H_{enu} + H_{adj}$  **36.99** W/°C

Coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente interior  $H_{enu}$  **36.99** W/°C

### A.3 - ELEMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO

Pavimentos térreos	Área A m <sup>2</sup>	U <sub>bf</sub> W/m <sup>2</sup> °C	U <sub>bf</sub> ·A W/°C
Pavimento terreo	67.81	0.86	58.32
TOTAL			58.32

Coeficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo  $H_{ecs}$  **58.32** W/°C

### A.4 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

Coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior  $H_{ext,i}$  **525.50** W/°C

Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior  $H_{enu} + H_{adj}$  **36.99** W/°C

Coeficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo  $H_{ecs}$  **58.32** W/°C

Coeficiente de transferência de calor por transmissão  $H_{tr,i}$  **620.81** W/°C

Coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior  $H_{ext,v}$  **525.50** W/°C

Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior  $H_{enu}$  **36.99** W/°C

Coeficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo  $H_{ecs}$  **58.32** W/°C

Coeficiente de transferência de calor por transmissão  $H_{tr,v}$  **620.81** W/°C

### TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO DE REFERÊNCIA

#### A.5 - ENVOLVENTE EXTERIOR

Paredes exteriores	Área A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> °C	U·A W/°C
Parede exterior primeiro caso	26.19	0.50	13.10
Parede exterior primeiro caso	139.98	0.50	69.99
TOTAL			83.09

Vãos envidraçados exteriores	Área A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> °C	U·A W/°C
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	5.72	2.90	16.59
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	9.60	2.90	27.84
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	4.99	2.90	14.47
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	6.52	2.90	18.91
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	5.04	2.90	14.62
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	0.36	2.90	1.04
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	1.89	2.90	5.48

			TOTAL	98.95
Vãos opacos exteriores	Área A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> °C	U·A W/°C	
Porta exterior, de madeira	6.70	2.90	19.43	
			TOTAL	19.43
Pontes térmicas lineares	Comp. B m	ψ W/m°C	ψ·B W/°C	
Fachada com pavimentos térreos	22.89	0.50	11.45	
Fachada com pavimento de nível intermédio	47.92	0.50	23.96	
Fachada com varanda	9.06	0.50	4.53	
Duas paredes verticais em ângulo saliente	29.00	0.40	11.60	
Fachada com caixilharia	153.95	0.20	30.79	
			TOTAL	82.33

Coefficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior  $H_{ext}$  283.80 W/°C

#### A.6 - ENVOLVENTE INTERIOR

Pavimentos sobre espaços não úteis	Área A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> °C	$b_{tr}$	U·A· $b_{tr}$ W/°C
Laje entre pisos	2.50	0.40	1.00	1.00
				TOTAL
				1.00
Coberturas interiores (sob espaços não úteis)	Área A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> °C	$b_{tr}$	U·A· $b_{tr}$ W/°C
Laje entre pisos	3.42	0.40	1.00	1.37
Laje para desvão	67.39	0.40	0.77	20.76
				TOTAL
				22.13

Coefficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente interior  $H_{enu} + H_{adj}$  23.13 W/°C

#### A.7 - ELEMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO

Pavimentos térreos	Área A m <sup>2</sup>	U <sub>bf</sub> W/m <sup>2</sup> °C	U <sub>bf</sub> ·A W/°C
Pavimento terreo	67.81	0.50	33.91
			TOTAL
			33.91

Coefficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo  $H_{ecs}$  33.91 W/°C

#### A.8 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente exterior  $H_{ext}$  283.80 W/°C

+

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente interior  $H_{enu} + H_{adj}$  23.13 W/°C

+

Coefficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo  $H_{ecs}$  33.91 W/°C

=

Coefficiente de transferência de calor por transmissão  $H_{tr,i}$  340.84 W/°C

#### Ficha de cálculo B TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR VENTILAÇÃO

##### B.1 - ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

$$\text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento } R_{ph,i} = \frac{0,34}{0,40} \times h^{-1}$$



Designação do envidraçado	Orientação	Fator solar de inverno $g_i$	Área $A_w$ (m <sup>2</sup> )	Fator de obstrução $F_{s,i}=F_h \cdot F_o \cdot F_r$	Fração envidraçada $F_g$	Fator de sel. angular $F_{w,i}$	Área efetiva colectora $A_s=A_w \cdot F_{s,i} \cdot F_g \cdot g_i$ (m <sup>2</sup> )	Fator de orientação $X$	Área efetiva colectora a sul $X \cdot A_s$ (m <sup>2</sup> )
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	E	0.69	1.92	0.31	0.57	0.90	0.23	0.56	0.20
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	N	0.69	2.83	0.90	0.56	0.90	0.98	0.27	0.30
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	NW	0.69	2.40	0.69	0.72	0.90	0.82	0.33	0.32
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	W	0.69	0.72	0.34	0.56	0.90	0.09	0.56	0.08
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	W	0.69	1.20	0.44	0.63	0.90	0.23	0.56	0.14
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	SE	0.69	0.72	0.29	0.56	0.90	0.08	0.84	0.08
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	SE	0.69	1.03	0.33	0.66	0.90	0.15	0.84	0.13
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	E	0.69	0.16	0.36	0.66	0.90	0.03	0.56	0.02

Designação do envidraçado	Orientação	Fator solar de inverno $g_i$	Área $A_w$ (m <sup>2</sup> )	Fator de obstrução $F_{s,i}=F_h \cdot F_o \cdot F_r$	Fração envidraçada $F_g$	Fator de sel. angular $F_{w,i}$	Área efetiva colectora $A_s=A_w \cdot F_{s,i} \cdot F_g \cdot g_i$ (m <sup>2</sup> )	Fator de orientação $X$	Área efetiva colectora a sul $X \cdot A_s$ (m <sup>2</sup> )
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	NE	0.69	0.97	0.66	0.66	0.90	0.29	0.33	0.12
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	N	0.69	2.88	0.90	0.66	0.90	1.18	0.27	0.35
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	N	0.69	3.46	0.90	0.63	0.90	1.35	0.27	0.41
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	E	0.69	0.36	0.35	0.43	0.90	0.04	0.56	0.03
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	E	0.69	2.40	0.47	0.72	0.90	0.56	0.56	0.32
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	NW	0.69	0.88	0.66	0.63	0.90	0.25	0.33	0.10
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	NE	0.69	0.98	0.66	0.63	0.90	0.28	0.33	0.12
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	NW	0.69	2.40	0.70	0.72	0.90	0.83	0.33	0.32

Designação do envidraçado	Orientação	Fator solar de inverno $g_i$	Área $A_w$ (m <sup>2</sup> )	Fator de obstrução $F_{s,i}=F_h \cdot F_o \cdot F_r$	Fração envidraçada $F_g$	Fator de sel. angular $F_{w,i}$	Área efetiva colectora $A_s=A_w \cdot F_{s,i} \cdot F_g \cdot g_i$ (m <sup>2</sup> )	Fator de orientação X	Área efetiva colectora a sul $X \cdot A_s$ (m <sup>2</sup> )
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	N	0.69	1.89	0.90	0.76	0.90	0.89	0.27	0.27
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	W	0.69	0.72	0.40	0.56	0.90	0.11	0.56	0.08
TOTAL									4.11

Área efetiva total equivalente na orientação a sul  $\boxed{4.11}$  m<sup>2</sup>

Radiação média incidente num envidraçado vertical a sul  $G_{sul}$   $\boxed{130.00}$  kWh/m<sup>2</sup>.meses

Duração de aquecimento M  $\boxed{6.23}$  meses

Ganhos solares brutos  $Q_{sol,i}$   $\boxed{3328.69}$  kWh/ano

#### C.2 - GANHOS INTERNOS

Ganhos internos médios  $q_{int}$   $\boxed{4.00}$  W/m<sup>2</sup>

Duração de aquecimento M  $\boxed{6.23}$  meses

Área útil de pavimento  $A_p$   $\boxed{206.96}$  m<sup>2</sup>

Ganhos internos brutos  $Q_i$   $\boxed{3713.36}$  kWh/ano

#### C.3 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS

Ganhos internos brutos  $Q_{int,i}$   $\boxed{3713.36}$  kWh/ano

Ganhos solares brutos  $Q_{sol,i}$   $\boxed{3328.69}$  kWh/ano

Ganhos térmicos brutos  $Q_{g,i}$   $\boxed{7042.05}$  kWh/ano

#### GANHOS TÉRMICOS BRUTOS NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO DE REFERÊNCIA

#### C.4 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS DE REFERÊNCIA NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

Ganhos internos brutos  $Q_{int,i REF}$   $\boxed{3713.36}$  kWh/ano

Ganhos solares brutos  $Q_{sol,i REF}$   $\boxed{979.33}$  kWh/ano

Ganhos térmicos brutos  $Q_{g,i REF}$   $\boxed{4692.69}$  kWh/ano

Ficha de cálculo D  
GANHOS TÉRMICOS BRUTOS NA ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

D.1 - GANHOS SOLARES

Designação do envidraçado	Orientação	Área (m <sup>2</sup> )	Tipo de vidro	Fração envidraçada F <sub>g</sub>	Fator de sel. angular F <sub>w,v</sub>	Fator solar de verão g <sub>v</sub> =F <sub>mv</sub> .g <sub>r</sub> +(1-F <sub>mv</sub> ).g <sub>tp</sub>	Área efetiva A <sub>s</sub> =A <sub>v</sub> .F <sub>g</sub> .g <sub>v</sub> (m <sup>2</sup> )	Fator de obstrução F <sub>s,v</sub> =F <sub>o</sub> .F <sub>r</sub>	Intensidade da radiação I <sub>sol</sub> kWh/m <sup>2</sup> .ano	Q <sub>sol</sub> =I <sub>sol</sub> .F <sub>s,v</sub> .A <sub>s</sub> kWh/ano
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	N	3.80	Duplo	0.57	0.80	0.62	1.34	0.90	220.00	265.32
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	N	2.40	Duplo	0.72	0.80	0.62	1.07	0.90	220.00	211.86
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	E	1.92	Duplo	0.57	0.85	0.55	0.60	0.50	490.00	147.00
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	N	2.83	Duplo	0.56	0.80	0.62	0.98	0.90	220.00	194.04
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	NW	2.40	Duplo	0.72	0.85	0.59	1.02	0.79	350.00	282.03
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	W	0.72	Duplo	0.56	0.85	0.55	0.22	0.61	490.00	65.76
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	W	1.20	Duplo	0.63	0.85	0.55	0.42	0.72	490.00	148.18
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	SE	0.72	Duplo	0.56	0.85	0.53	0.21	0.58	490.00	59.68
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	SE	1.03	Duplo	0.66	0.85	0.53	0.36	0.62	490.00	109.37
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	E	0.16	Duplo	0.66	0.85	0.55	0.06	0.66	490.00	19.40
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	NE	0.97	Duplo	0.66	0.85	0.59	0.38	0.73	350.00	97.09
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	N	2.88	Duplo	0.66	0.80	0.62	1.18	0.90	220.00	233.64
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	N	3.46	Duplo	0.63	0.80	0.62	1.35	0.90	220.00	267.30
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	E	0.36	Duplo	0.43	0.85	0.55	0.09	0.58	490.00	25.58
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	E	2.40	Duplo	0.72	0.85	0.55	0.95	0.80	490.00	372.40
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	NW	0.88	Duplo	0.63	0.85	0.59	0.33	0.72	350.00	83.16
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	NE	0.98	Duplo	0.63	0.85	0.59	0.36	0.73	350.00	91.98
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	NW	2.40	Duplo	0.72	0.85	0.59	1.02	0.82	350.00	292.74
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	N	1.89	Duplo	0.76	0.80	0.62	0.89	0.90	220.00	176.22
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	W	0.72	Duplo	0.56	0.85	0.55	0.22	0.70	490.00	75.46
TOTAL										3218.21

Produzido por uma versão educativa de CYPE

Referência	Orientação	Coefficiente de absorção α	Área A <sub>op</sub> (m <sup>2</sup> )	U (W/(m <sup>2</sup> .°C))	R <sub>se</sub> (m <sup>2</sup> .°C/W)	Área efetiva A <sub>s</sub> =α.U.A <sub>op</sub> .R <sub>se</sub> (m <sup>2</sup> )	Fator de obstrução F <sub>s,v</sub> =F <sub>o</sub> .F <sub>r</sub>	Intensidade da radiação I <sub>sol</sub> kWh/m <sup>2</sup> .ano	Q <sub>sol</sub> =I <sub>sol</sub> .F <sub>s,v</sub> .A <sub>s</sub> kWh/ano (kcal)	
Parede exterior primeiro caso	N	0.40	3.14	1.67	0.04	0.08	0.99	220.00	17.42	
Parede exterior primeiro caso	W	0.40	4.11	1.67	0.04	0.11	0.90	490.00	48.51	
Parede exterior primeiro caso	E	0.40	0.77	1.68	0.04	0.02	0.85	490.00	8.33	
Parede exterior primeiro caso	N	0.40	65.59	1.68	0.04	1.76	1.00	220.00	387.20	
Parede exterior primeiro caso	E	0.40	9.68	1.68	0.04	0.26	0.65	490.00	82.81	
Porta exterior, de madeira	E	0.50	1.67	1.79	0.04	0.06	0.69	490.00	20.29	
Parede exterior primeiro caso	W	0.40	7.61	1.68	0.04	0.20	0.85	490.00	83.30	
Parede exterior primeiro caso	W	0.40	0.64	1.68	0.04	0.02	0.90	490.00	8.82	
Porta exterior, de madeira	W	0.50	1.67	1.79	0.04	0.06	0.92	490.00	27.05	
Parede exterior primeiro caso	NW	0.40	2.97	1.68	0.04	0.08	0.85	350.00	23.80	
Parede exterior primeiro caso	W	0.40	4.27	1.68	0.04	0.11	0.70	490.00	37.73	
Parede exterior primeiro caso	W	0.40	10.95	1.68	0.04	0.29	1.00	490.00	142.10	
Parede exterior primeiro caso	E	0.40	5.28	1.68	0.04	0.14	0.93	490.00	63.80	
Parede exterior primeiro caso	E	0.40	0.47	1.68	0.04	0.01	0.92	490.00	4.51	
Parede exterior primeiro caso	SE	0.40	4.54	1.68	0.04	0.12	0.93	490.00	54.68	
Parede exterior primeiro caso	SE	0.40	0.61	1.68	0.04	0.02	0.95	490.00	9.31	
Parede exterior primeiro caso	SE	0.40	1.80	1.68	0.04	0.05	0.97	490.00	23.77	
Parede exterior primeiro caso	E	0.40	6.79	1.68	0.04	0.18	1.00	490.00	88.20	
Parede exterior primeiro caso	NE	0.40	2.56	1.68	0.04	0.07	1.00	350.00	24.50	
Parede exterior primeiro caso	E	0.40	0.50	1.68	0.04	0.01	0.88	490.00	4.31	
Porta exterior, de madeira	N	0.50	1.67	1.79	0.04	0.06	1.00	220.00	13.20	
Porta exterior, de madeira	E	0.50	1.67	1.79	0.04	0.06	0.93	490.00	27.34	
Parede exterior primeiro caso	N	0.40	13.76	1.67	0.04	0.37	0.98	220.00	79.77	
Parede exterior primeiro caso	E	0.40	5.18	1.67	0.04	0.14	1.00	490.00	68.60	
Parede exterior primeiro caso	NW	0.40	3.05	1.68	0.04	0.08	0.89	350.00	24.92	
Parede exterior primeiro caso	NE	0.40	1.40	1.68	0.04	0.04	0.89	350.00	12.46	
Parede exterior primeiro caso	NW	0.40	2.39	1.68	0.04	0.06	1.00	350.00	21.00	
Parede exterior primeiro caso	W	0.40	4.41	1.68	0.04	0.12	0.94	490.00	55.27	
Parede exterior primeiro caso	W	0.40	3.70	1.68	0.04	0.10	0.88	490.00	43.12	
TOTAL										1506.12

Ganhos solares brutos pelos elementos da envolvente envidraçada 3218.21 kWh/ano

+

Ganhos solares brutos pelos elementos da envolvente opaca 1506.12 kWh/ano

$$\text{Ganhos solares brutos } Q_{\text{sol,v}} = 4724.33 \text{ kWh/ano}$$

#### D.2 - GANHOS INTERNOS

$$\begin{aligned} &\text{Ganhos internos médios } q_{\text{int}} = 4.00 \text{ W/m}^2 \\ &\times \\ &\text{Duração de arrefecimento } L_v = 2928.00 \text{ Horas} \\ &\times \\ &\text{Área útil de pavimento } A_p = 206.96 \text{ m}^2 \\ &\div \\ &1000 \end{aligned}$$

$$\text{Ganhos internos brutos } Q_{\text{int,v}} = 2423.92 \text{ kWh/ano}$$

#### D.3 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS

$$\begin{aligned} &\text{Ganhos internos brutos } Q_{\text{int,v}} = 2423.92 \text{ kWh/ano} \\ &+ \\ &\text{Ganhos solares brutos } Q_{\text{sol,v}} = 4724.33 \text{ kWh/ano} \\ &= \\ &\text{Ganhos térmicos brutos } Q_{\text{g,v}} = 7148.25 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

#### GANHOS TÉRMICOS BRUTOS NA ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO DE REFERÊNCIA

#### D.4 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS

$$\begin{aligned} &\text{Ganhos internos médios } q_{\text{int}} = 4.00 \text{ W/m}^2 \\ &\times \\ &\text{Duração de arrefecimento } L_v = 2928.00 \text{ Horas} \\ &\div \\ &1000 \\ &+ \\ &\text{Fator solar de verão de referência } g_{v, \text{REF}} = 0.43 \\ &\times \\ &A_w/A_{p, \text{REF}} = 0.20 \\ &\times \\ &\text{Radiação solar média de referência } I_{\text{sol, REF}} = 490.00 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano} \\ &= \\ &53.85 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano} \\ &\times \\ &\text{Área útil de pavimento } A_p = 206.96 \text{ m}^2 \\ &= \\ &\text{Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento } Q_{\text{g,v, REF}} = 11144.80 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

#### Ficha de cálculo E NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

#### E.1 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

$$\begin{aligned} &0,024 \\ &\times \\ &\text{Número de graus-dias de aquecimento } GD = 1275.60 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{dias} \\ &\times \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor } H_{\text{tr}} = 620.81 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{\text{tr,i}} = 19005.73 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

Não Verificar

## E.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

$$\begin{aligned} & 0,024 \\ & \times \\ \text{Número de graus-dias de aquecimento GD} & \boxed{1275.60} \text{ } ^\circ\text{C.dias} \\ & \times \\ \text{Coeficiente de transferência de calor } H_{ve,i} & \boxed{79.37} \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & = \\ \text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i} & \boxed{2429.86} \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

## E.3 - FATOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

$$\begin{aligned} \text{Inércia térmica da fração} & \boxed{\text{Média}} \\ \text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i} & \boxed{7042.05} \text{ kWh/ano} \\ & \div \\ \text{Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar } Q_{tr,i} + Q_{ve,i} & \boxed{21435.59} \text{ kWh/ano} \\ & = \\ \text{Parâmetro } \gamma_i & \boxed{0.33} \\ & \times \\ \text{Parâmetro } a_i & \boxed{2.60} \\ & \times \\ \text{Fator de utilização de ganhos } \eta_i & \boxed{0.96} \\ & \times \\ \text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i} & \boxed{7042.05} \text{ kWh/ano} \\ & = \\ \text{Ganhos totais úteis } Q_{gu,i} & \boxed{6760.37} \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

## E.4 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

$$\begin{aligned} \text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i} & \boxed{19005.73} \text{ kWh/ano} \\ & + \\ \text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i} & \boxed{2429.86} \text{ kWh/ano} \\ & - \\ \text{Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento } Q_{gu,i} & \boxed{6760.37} \text{ kWh/ano} \\ & = \\ \text{Necessidades anuais na estação de aquecimento} & \boxed{14675.22} \text{ kWh/ano} \\ & \div \\ \text{Área útil de pavimento } A_p & \boxed{206.96} \text{ m}^2 \\ & = \\ \text{Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento } N_{ic} & \boxed{70.91} \text{ kWh/m}^2.\text{ano} \end{aligned}$$

## LIMITE MÁXIMO DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

## E.5 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

$$\begin{aligned} \text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr,REF} & \boxed{340.84} \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & + \\ \text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,i,REF} & \boxed{79.37} \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & = \\ \text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,i,REF} & \boxed{420.21} \text{ W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

## E.6 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

$$\begin{aligned} & 0,024 \\ & \times \end{aligned}$$

Número de graus-dias de aquecimento GD  °C.dias

x

Coefficiente de transferência de calor  $H_{tr,REF}$   W/°C

=

Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento  $Q_{tr,i,REF}$   kWh/ano

#### E.7 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

0,024

x

Número de graus-dias de aquecimento GD  °C.dias

x

Coefficiente de transferência de calor  $H_{ve,i,REF}$   W/°C

=

Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento  $Q_{ve,i,REF}$   kWh/ano

#### E.8 - FATOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

Fator de utilização de ganhos  $\eta_{REF}$

x

Ganhos térmicos brutos  $Q_{g,i,REF}$   kWh/ano

=

Ganhos totais úteis  $Q_{gu,i,REF}$   kWh/ano

#### E.9 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento  $Q_{tr,i,REF}$   kWh/ano

+

Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento  $Q_{ve,i,REF}$   kWh/ano

-

Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento  $Q_{gu,i,REF}$   kWh/ano

=

Necessidades anuais na estação de aquecimento  kWh/ano

÷

Área útil de pavimento  $A_p$   m<sup>2</sup>

=

Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento  $N_i$   kWh/m<sup>2</sup>.ano

Ficha de cálculo F

#### NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

##### F.1 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Coefficiente de transferência de calor por transmissão  $H_{tr}$   W/°C

+

Coefficiente de transferência de calor por renovação do ar  $H_{ve,v}$   W/°C

=

Coefficiente de transferência de calor  $H_{tv}$   W/°C

##### F.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

Transferência de calor por transmissão  $H_{tr}$   W/°C

x

$(\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext})$   °C

x

Duração de arrefecimento  $L_v$   Horas

÷

1000

Transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento  $Q_{tr,v}$   kWh/ano

### F.3 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

Coefficiente de transferência de calor por renovação do ar  $H_{ve,v}$   W/°C

$(\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext})$   °C

Duração de arrefecimento  $L_v$   Horas

Transferência de calor por renovação do ar na estação de arrefecimento  $Q_{ve,v}$   kWh/ano

### F.4 - FATOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

Inércia térmica da fração

Ganhos térmicos brutos  $Q_{g,v}$   kWh/ano

Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar  $Q_{tr,v} + Q_{ve,v}$   kWh/ano

Parâmetro  $\gamma_v$

Parâmetro  $a_v$

Fator de utilização de ganhos  $\eta_v$

### F.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

$(1 - \eta_v)$

Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento  $Q_{g,v}$   kWh/ano

Área útil de pavimento  $A_p$   m<sup>2</sup>

Necessidades anuais de energia útil para arrefecimento  $N_{vc}$   kWh/m<sup>2</sup>.ano

### LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

### F.6 - FATOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS DE REFERÊNCIA

$$\eta_{vref} = \left\{ \begin{array}{ll} 0,52 + 0,22 \ln \Delta\theta & , \Delta\theta > 1 \\ 0,45 & , 0 < \Delta\theta \leq 1 \\ 0,30 & , 0 \leq \Delta\theta \end{array} \right\}$$

$\theta_{REF,v}$   °C

$\theta_{ext,v}$   °C

$\Delta\theta$   °C

Fator de utilização de ganhos  $\eta_{vREF}$

### F.7 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

$$(1 - \eta_{v, REF}) \quad \boxed{0.17}$$

$$\text{Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento } Q_{g,v, REF} \quad \boxed{11144.80} \text{ kWh/ano}$$

$$\div$$

$$\text{Área útil de pavimento } A_p \quad \boxed{206.96} \text{ m}^2$$

$$=$$

$$\text{Limite das necessidades anuais de energia útil para arrefecimento } N_v \quad \boxed{9.15} \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$$

Ficha de cálculo G  
NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

G.1 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA AQUECIMENTO

SISTEMA PARA AQUECIMENTO	Fonte de energia	Necessidades de energia útil $N_{u,c}$ kWh/m <sup>2</sup> .ano	$f_i$	Eficiência nominal $\eta_i$	Fator de conversão $f_{p,u}$ kWh <sub>EP</sub> /kWh	Necessidades de energia primária $f_i \cdot \delta \cdot N_{u,c} \cdot f_{p,u} / \eta_i$ kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano
Sistema de Aquecimento por defeito	Energia elétrica	70.91	1.00	1.00	2.50	177.28
TOTAL						177.28

G.2 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO

SISTEMA PARA ARREFECIMENTO	Fonte de energia	Necessidades de energia útil $N_{u,v}$ kWh/m <sup>2</sup> .ano	$f_v$	Eficiência nominal $\eta_v$	Fator de conversão $f_{p,v}$ kWh <sub>EP</sub> /kWh	Necessidades de energia primária $f_v \cdot \delta \cdot N_{u,v} \cdot f_{p,v} / \eta_v$ kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano
Sistema de Arrefecimento por Defeito	Energia elétrica	6.91	1.00	2.80	2.50	6.17
TOTAL						6.17

G.3 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA PRODUÇÃO DE AQS

CONSUMO DE AQS

$$n^{\circ} \text{ convencional de ocupantes de cada fração } n \quad \boxed{5} \text{ ocupantes}$$

$$\times$$

$$\text{fator de eficiência hídrica } n \quad \boxed{0.90}$$

$$=$$

$$\text{consumo médio diário de referência } M_{AQS} \quad \boxed{180.00} \text{ l}$$

NECESSIDADES ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA A PREPARAÇÃO DE AQS

$$\text{consumo médio diário de referência } M_{AQS} \quad \boxed{180.00} \text{ l}$$

$$\times$$

$$4187$$

$$\times$$

$$\text{aumento de temperatura } \Delta T \quad \boxed{35.00} \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\times$$

$$n^{\circ} \text{ de dias de consumo } \quad \boxed{365} \text{ dias}$$

$$\div$$

$$3600000$$

$$\div$$

$$A_p \quad \boxed{206.96} \text{ m}^2$$

$$=$$

$$\text{NECESSIDADES ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA A PREPARAÇÃO DE AQS } \quad \boxed{12.92} \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$$

SISTEMA PARA AQS	Fonte de energia	Necessidades de energia útil $Q_u/A_p$ kWh/m <sup>2</sup> .ano	$f_s$	Eficiência nominal $\eta_s$	Fator de conversão $F_{p,u}$ kWh <sub>EP</sub> /kWh	Necessidades de energia primária $f_s \cdot \delta \cdot Q_u / A_p \cdot F_{p,u} / \eta_s$ kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano
Sistema de AQS por defeito	Energia elétrica	12.92	1.00	0.95	2.50	34.00
TOTAL						34.00

G.6 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

$$\text{Energia primária para aquecimento } \quad \boxed{177.28} \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$$

+

$$\text{Energia primária para arrefecimento } \quad \boxed{6.17} \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$$

+

$$\text{Energia primária para a preparação de AQS } \quad \boxed{34.00} \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$$

+

$$\text{Energia primária necessária para o sistema de ventilação mecânica } \quad \boxed{0.00} \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$$

-

$$\text{Energia primária proveniente de sistemas com recurso a energia renovável } \quad \boxed{0.00} \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$$

=

$$\text{Necessidades nominais anuais globais de energia primária } N_{tc} \quad \boxed{217.45} \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$$

LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

G.7 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA AQUECIMENTO

SISTEMA PARA AQUECIMENTO	Fonte de energia	Necessidades de energia útil $N_u$ kWh/m <sup>2</sup> .ano	$f_i$	Eficiência nominal $\eta_{REF}$	Fator de conversão $F_{plus}$ kWh <sub>EP</sub> /kWh	Necessidades de energia primária $f_i \cdot \delta \cdot N_u \cdot F_{plus} / \eta_{REF}$ kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano
Sistema de Aquecimento por defeito	Energia elétrica	48.55	1.00	1.00	2.50	121.38
TOTAL						121.38

G.8 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO

SISTEMA PARA ARREFECIMENTO	Fonte de energia	Necessidades de energia útil $N_u$ kWh/m <sup>2</sup> .ano	$f_v$	Eficiência nominal $\eta_{REF}$	Fator de conversão $F_{plus}$ kWh <sub>EP</sub> /kWh	Necessidades de energia primária $f_v \cdot \delta \cdot N_u \cdot F_{plus} / \eta_{REF}$ kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano
Sistema de Arrefecimento por Defeito	Energia elétrica	9.15	1.00	2.80	2.50	8.17
TOTAL						8.17

G.9 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA PRODUÇÃO DE AQS

CONSUMO DE AQS

$$\begin{aligned}
 &40 \\
 &\times \\
 \text{n}^\circ \text{ convencional de ocupantes de cada fração n} &= 5 \text{ ocupantes} \\
 &\times \\
 \text{fator de eficiência hídrica n} &= 1.00 \\
 &= \\
 \text{consumo médio diário de referência } M_{AQS} &= 200.00 \text{ l}
 \end{aligned}$$

NECESSIDADES ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA A PREPARAÇÃO DE AQS  
consumo médio diário de referência  $M_{AQS}$  200.00 l

$$\begin{aligned}
 &\times \\
 &4187 \\
 &\times \\
 \text{aumento de temperatura } \Delta T &= 35.00 \text{ }^\circ\text{C} \\
 &\times \\
 \text{n}^\circ \text{ de dias de consumo} &= 365 \text{ dias} \\
 &+ \\
 &3600000 \\
 &+ \\
 A_p &= 206.96 \text{ m}^2 \\
 &= \\
 \text{NECESSIDADES ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA A PREPARAÇÃO DE AQS} &= 14.36 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}
 \end{aligned}$$

SISTEMA PARA AQS	Fonte de energia	Necessidades de energia útil $Q_u/A_p$ kWh/m <sup>2</sup> .ano	$f_s$	Eficiência nominal $\eta_{REF}$	Fator de conversão $F_{plus}$ kWh <sub>EP</sub> /kWh	Necessidades de energia primária $f_s \cdot \delta \cdot Q_u / A_p \cdot F_{plus} / \eta_{REF}$ kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano
Sistema de AQS por defeito	Energia elétrica	14.36	1.00	0.95	2.50	37.79
TOTAL						37.79

G.10 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

$$\begin{aligned}
 &\text{Energia primária para aquecimento} = 121.38 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2 \cdot \text{ano} \\
 &+ \\
 &\text{Energia primária para arrefecimento} = 8.17 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2 \cdot \text{ano} \\
 &+ \\
 &\text{Energia primária para a preparação de AQS} = 37.79 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2 \cdot \text{ano} \\
 &= \\
 &\text{Necessidades nominais anuais globais de energia primária } N_p = 167.34 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}
 \end{aligned}$$

DATA 9 de Março de 2014

_____ CARGO Projetista	_____ CARGO
_____ NOME	_____ NOME



**ANEXO A2**  
**CUMPRIMENTO DAS EXIGÊNCIAS DO REH**  
**(CASO 2)**



FICHA n.º 1  
REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH).

Câmara Municipal de \_\_\_\_\_

Edifício

Empreendimento: \_\_\_\_\_ Nº de frações: 1

Morada: \_\_\_\_\_

Freguesia: \_\_\_\_\_ Concelho: \_\_\_\_\_

Tipo de intervenção

Edifício novo:  X

Grande intervenção: \_\_\_\_\_

Caracterização

Fração	Área interior útil de pavimento (m <sup>2</sup> )	Pé direito médio ponderado (m)	Tipologia
Sistema por defeito	206.96	2.82	T4

Resumo de cálculo

Fração	Tx. ren (RPH,l)	Tx. ren (RPH,v)	Nic (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Ni (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Nvc (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Nv (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	QA (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	QA <sub>sup</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Ntc (kWh <sub>sup</sub> /m <sup>2</sup> .ano)	Nt (kWh <sub>sup</sub> /m <sup>2</sup> .ano)	Eren.p (*) (kWh/ano)	Eren.ext (**) (kWh/ano)
Sistema por defeito	0.40	0.60	48.37	48.55	7.36	9.15	12.92	14.36	161.50	167.34	0.00	0.00

\*) Correspondente à totalidade das formas de energias renováveis, destinadas a suprir necessidades relativas aos usos de aquecimento, arrefecimento, preparação de AQS e ventilação.

\*\*) Correspondente à energia renovável que é exportada do edifício e/ou consumida em outros usos não incluídos em E<sub>ren,p</sub>.

Técnico responsável pelo projeto de comportamento térmico

Nome: \_\_\_\_\_

Inscrito na: \_\_\_\_\_ Número de inscrição: \_\_\_\_\_

Assinatura

REH - Fichas de cálculo  
REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH).

Ficha de cálculo A  
TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

A.1 - ENVOLVENTE EXTERIOR

Paredes exteriores	Área A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> °C	U·A W/°C
Parede exterior - Segundo caso	26.19	0.71	18.59
Parede exterior - Segundo caso	139.98	0.71	99.39
TOTAL			117.98

Vãos envidraçados exteriores	Área A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> °C	U·A W/°C
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	5.72	4.33	24.77
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	9.60	3.97	38.11
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	4.99	4.35	21.71
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	6.52	4.20	27.38
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	5.04	4.11	20.71
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	0.36	4.67	1.68
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	1.89	3.87	7.31
TOTAL			141.67

Vãos opacos exteriores	Área A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> °C	U·A W/°C
Porta exterior, de madeira	6.70	1.79	11.99
TOTAL			11.99

Pontes térmicas lineares	Comp. B m	ψ W/m°C	ψ·B W/°C
Fachada com pavimentos térreos	22.89	0.80	18.31
Fachada com pavimento de nível intermédio	47.92	0.60	28.75
Fachada com varanda	9.06	0.60	5.44
Duas paredes verticais em ângulo saliente	27.21	0.10	2.72
Duas paredes verticais em ângulo saliente	1.79	0.50	0.90
Fachada com caixilharia	153.95	0.25	38.49
TOTAL			94.61

Coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior  $H_{ext,i}$  366.25 W/°C

Coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior  $H_{ext,v}$  366.25 W/°C

A.2 - ENVOLVENTE INTERIOR

Pavimentos sobre espaços não úteis	Área A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> °C	$b_{tr}$	U·A· $b_{tr}$ W/°C
Laje entre pisos	2.50	1.25	1.00	3.13
TOTAL				3.13

Coberturas interiores (sob espaços não úteis)	Área A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> °C	$b_{tr}$	U·A· $b_{tr}$ W/°C
---	--------------------------	--------------------------	----------	-----------------------

Laje entre pisos	3.42	1.25	1.00	4.28
Laje para desvão	67.39	0.57	0.77	29.58
TOTAL				33.86

Coefficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente interior  $H_{enu} + H_{adj}$  36.99 W/°C

Coefficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente interior  $H_{enu}$  36.99 W/°C

#### A.3 - ELEMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO

Pavimentos térreos	Área A m <sup>2</sup>	U <sub>bf</sub> W/m <sup>2</sup> °C	U <sub>bf</sub> ·A W/°C
Pavimento terreo	67.81	0.86	58.32
TOTAL			58.32

Coefficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo  $H_{ecs}$  58.32 W/°C

#### A.4 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente exterior  $H_{ext,i}$  366.25 W/°C

+

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente interior  $H_{enu} + H_{adj}$  36.99 W/°C

+

Coefficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo  $H_{ecs}$  58.32 W/°C

=

Coefficiente de transferência de calor por transmissão  $H_{tr,i}$  461.56 W/°C

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente exterior  $H_{ext,v}$  366.25 W/°C

+

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente interior  $H_{enu}$  36.99 W/°C

+

Coefficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo  $H_{ecs}$  58.32 W/°C

=

Coefficiente de transferência de calor por transmissão  $H_{tr,v}$  461.56 W/°C

#### TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO DE REFERÊNCIA

#### A.5 - ENVOLVENTE EXTERIOR

Paredes exteriores	Área A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> °C	U·A W/°C
Parede exterior - Segundo caso	26.19	0.50	13.10
Parede exterior - Segundo caso	139.98	0.50	69.99
TOTAL			83.09

Vãos envidraçados exteriores	Área A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> °C	U·A W/°C
Janela de vidro duplo aislaglas "unió n vidriera aragonesa", 4/6/4	5.72	2.90	16.59
Janela de vidro duplo aislaglas "unió n vidriera aragonesa", 4/6/4	9.60	2.90	27.84
Janela de vidro duplo aislaglas "unió n vidriera aragonesa", 4/6/4	4.99	2.90	14.47
Janela de vidro duplo aislaglas "unió n vidriera aragonesa", 4/6/4	6.52	2.90	18.91
Janela de vidro duplo aislaglas "unió n vidriera aragonesa", 4/6/4	5.04	2.90	14.62
Janela de vidro duplo aislaglas "unió n vidriera aragonesa", 4/6/4	0.36	2.90	1.04

Janela de vidro duplo aislaglas "uni3n vidriera aragonesa", 4/6/4	1.89	2.90	5.48
TOTAL			98.95

V3os opacos exteriores	3rea A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> °C	U·A W/°C
Porta exterior, de madeira	6.70	2.90	19.43
TOTAL			19.43

Pontes t3ermicas lineares	Comp. B m	$\psi$ W/m <sup>2</sup> °C	$\psi \cdot B$ W/°C
Fachada com pavimentos t3erres	22.89	0.50	11.45
Fachada com pavimento de n3ivel interm3edio	47.92	0.50	23.96
Fachada com varanda	9.06	0.50	4.53
Duas paredes verticais em 3ngulo saliente	27.21	0.40	10.88
Duas paredes verticais em 3ngulo saliente	1.79	0.40	0.72
Fachada com caixilharia	153.95	0.20	30.79
TOTAL			82.33

Coeficiente de transfer3ncia de calor por transmiss3o pela envolvente exterior  $H_{ext}$  283.80 W/°C

#### A.6 - ENVOLVENTE INTERIOR

Pavimentos sobre espa3os n3o 3teis	3rea A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> °C	$b_{tr}$	U·A· $b_{tr}$ W/°C
Laje entre pisos	2.50	0.40	1.00	1.00
TOTAL				1.00

Coberturas interiores (sob espa3os n3o 3teis)	3rea A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> °C	$b_{tr}$	U·A· $b_{tr}$ W/°C
Laje entre pisos	3.42	0.40	1.00	1.37
Laje para desv3o	67.39	0.40	0.77	20.76
TOTAL				22.13

Coeficiente de transfer3ncia de calor por transmiss3o pela envolvente interior  $H_{enu} + H_{adj}$  23.13 W/°C

#### A.7 - ELEMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO

Pavimentos t3erres	3rea A m <sup>2</sup>	$U_{bf}$ W/m <sup>2</sup> °C	$U_{bf} \cdot A$ W/°C
Pavimento terreo	67.81	0.50	33.91
TOTAL			33.91

Coeficiente de transfer3ncia de calor por elementos em contacto com o solo  $H_{ecs}$  33.91 W/°C

#### A.8 - COEFICIENTE DE TRANSFER3NCIA DE CALOR POR TRANSMISS3O

Coeficiente de transfer3ncia de calor atrav3s da envolvente exterior  $H_{ext}$  283.80 W/°C

+

Coeficiente de transfer3ncia de calor atrav3s da envolvente interior  $H_{enu} + H_{adj}$  23.13 W/°C

+

Coeficiente de transfer3ncia de calor por elementos em contacto com o solo  $H_{ecs}$  33.91 W/°C

=

Coeficiente de transfer3ncia de calor por transmiss3o  $H_{tr,i}$  340.84 W/°C

### Ficha de c3lculo B TRANSFER3NCIA DE CALOR POR VENTILA3O

#### B.1 - ESTA3O DE AQUECIMENTO

$$\begin{aligned}
 & 0,34 \\
 & \times \\
 \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento } R_{ph,i} & \boxed{0.40} \text{ h}^{-1} \\
 & \times \\
 \text{Área útil de pavimento } A_p & \boxed{206.96} \text{ m}^2 \\
 & \times \\
 \text{Pé direito médio da fração } P_d & \boxed{2.82} \text{ m} \\
 & = \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,i} & \boxed{79.37} \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

### B.2 - ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

$$\begin{aligned}
 & 0,34 \\
 & \times \\
 \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento } R_{ph,v} & \boxed{0.60} \text{ h}^{-1} \\
 & \times \\
 \text{Área útil de pavimento } A_p & \boxed{206.96} \text{ m}^2 \\
 & \times \\
 \text{Pé direito médio da fração } P_d & \boxed{2.82} \text{ m} \\
 & = \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,v} & \boxed{119.06} \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

### TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR VENTILAÇÃO DE REFERÊNCIA

### B.3 - ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

$$\begin{aligned}
 & 0,34 \\
 & \times \\
 \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento } R_{ph,i,REF} & \boxed{0.40} \text{ h}^{-1} \\
 & \times \\
 \text{Área útil de pavimento } A_p & \boxed{206.96} \text{ m}^2 \\
 & \times \\
 \text{Pé direito médio da fração } P_d & \boxed{2.82} \text{ m} \\
 & = \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,i,REF} & \boxed{79.37} \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

### Ficha de cálculo C GANHOS TÉRMICOS BRUTOS NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

### C.1 - GANHOS SOLARES

Designação do envidraçado	Orientação	Fator solar de inverno $g_i$	Área $A_w$ (m <sup>2</sup> )	Fator de obstrução $F_{s,i}=F_h \cdot F_o \cdot F_r$	Fração envidraçada $F_g$	Fator de sel. angular $F_{w,i}$	Área efetiva colectora $A_s=A_w \cdot F_{s,i} \cdot F_g \cdot g_i$ (m <sup>2</sup> )	Fator de orientação $X$	Área efetiva colectora a sul $X \cdot A_s$ (m <sup>2</sup> )
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	N	0.69	3.80	0.90	0.57	0.90	1.35	0.27	0.40
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	N	0.69	2.40	0.90	0.72	0.90	1.07	0.27	0.32
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	E	0.69	1.92	0.31	0.57	0.90	0.23	0.56	0.20
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	N	0.69	2.83	0.90	0.56	0.90	0.98	0.27	0.30
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	NW	0.69	2.40	0.69	0.72	0.90	0.82	0.33	0.32
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	W	0.69	0.72	0.34	0.56	0.90	0.09	0.56	0.08
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	W	0.69	1.20	0.44	0.63	0.90	0.23	0.56	0.14
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	SE	0.69	0.72	0.29	0.56	0.90	0.08	0.84	0.08

Designação do envidraçado	Orientação	Fator solar de inverno $g_i$	Área $A_w$ (m <sup>2</sup> )	Fator de obstrução $F_{s,i}=F_h \cdot F_o \cdot F_r$	Fração envidraçada $F_g$	Fator de sel. angular $F_{w,i}$	Área efetiva colectora $A_s=A_w \cdot F_{s,i} \cdot F_g \cdot g_i$ (m <sup>2</sup> )	Fator de orientação $X$	Área efetiva colectora a sul $X \cdot A_s$ (m <sup>2</sup> )
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	SE	0.69	1.03	0.33	0.66	0.90	0.15	0.84	0.13
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	E	0.69	0.16	0.36	0.66	0.90	0.03	0.56	0.02
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	NE	0.69	0.97	0.66	0.66	0.90	0.29	0.33	0.12
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	N	0.69	2.88	0.90	0.66	0.90	1.18	0.27	0.35
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	N	0.69	3.46	0.90	0.63	0.90	1.35	0.27	0.41
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	E	0.69	0.36	0.35	0.43	0.90	0.04	0.56	0.03
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	E	0.69	2.40	0.47	0.72	0.90	0.56	0.56	0.32
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	NW	0.69	0.88	0.66	0.63	0.90	0.25	0.33	0.10

Designação do envidraçado	Orientação	Fator solar de inverno $g_i$	Área $A_w$ (m <sup>2</sup> )	Fator de obstrução $F_{s,i}=F_n \cdot F_o \cdot F_r$	Fração envidraçada $F_g$	Fator de sel. angular $F_{w,i}$	Área efetiva colectora $A_s=A_w \cdot F_{s,i} \cdot F_g \cdot g_i$ (m <sup>2</sup> )	Fator de orientação X	Área efetiva colectora a sul $X \cdot A_s$ (m <sup>2</sup> )
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	NE	0.69	0.98	0.66	0.63	0.90	0.28	0.33	0.12
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	NW	0.69	2.40	0.70	0.72	0.90	0.83	0.33	0.32
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	N	0.69	1.89	0.90	0.76	0.90	0.89	0.27	0.27
Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4	W	0.69	0.72	0.40	0.56	0.90	0.11	0.56	0.08
TOTAL									4.11

Área efetiva total equivalente na orientação a sul  m<sup>2</sup>

x

Radiação média incidente num envidraçado vertical a sul  $G_{sul}$   kWh/m<sup>2</sup>.mês

x

Duração de aquecimento M  meses

=

Ganhos solares brutos  $Q_{sol,i}$   kWh/ano

### C.2 - GANHOS INTERNOS

0,72

x

Ganhos internos médios  $q_{int}$   W/m<sup>2</sup>

x

Duração de aquecimento M  meses

x

Área útil de pavimento  $A_p$   m<sup>2</sup>

=

Ganhos internos brutos  $Q_i$   kWh/ano

### C.3 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS

Ganhos internos brutos  $Q_{int,i}$   kWh/ano

+

Ganhos solares brutos  $Q_{sol,i}$   kWh/ano

=

Ganhos térmicos brutos  $Q_{g,i}$   kWh/ano



Referência	Orientação	Coefficiente de absorção $\alpha$	Área $A_{op}$ (m <sup>2</sup> )	U (W/(m <sup>2</sup> . °C))	$R_{se}$ (m <sup>2</sup> °C/W)	Área efetiva $A_s = \alpha \cdot U \cdot A_{op} \cdot R_{se}$ (m <sup>2</sup> )	Fator de obstrução $F_{s,v} = F_n \cdot F_o \cdot F_r$	Intensidade da radiação $I_{sol}$ kWh/m <sup>2</sup> .ano	$Q_{sol} = I_{sol} \cdot F_{s,v} \cdot A_s$ kWh/ano (kcal)
Parede exterior - Segundo caso	NW	0.40	3.05	0.71	0.04	0.03	0.89	350.00	9.35
Parede exterior - Segundo caso	NE	0.40	1.40	0.71	0.04	0.02	0.89	350.00	6.23
Parede exterior - Segundo caso	NW	0.40	2.39	0.71	0.04	0.03	1.00	350.00	10.50
Parede exterior - Segundo caso	W	0.40	4.41	0.71	0.04	0.05	0.94	490.00	23.03
Parede exterior - Segundo caso	W	0.40	3.70	0.71	0.04	0.04	0.88	490.00	17.25
TOTAL									702.71

Ganhos solares brutos pelos elementos da envolvente envidraçada  $\boxed{3218.21}$  kWh/ano  
+  
Ganhos solares brutos pelos elementos da envolvente opaca  $\boxed{702.71}$  kWh/ano  
=  
Ganhos solares brutos  $Q_{sol,v}$   $\boxed{3920.92}$  kWh/ano

#### D.2 - GANHOS INTERNOS

Ganhos internos médios  $q_{int}$   $\boxed{4.00}$  W/m<sup>2</sup>  
x  
Duração de arrefecimento  $L_v$   $\boxed{2928.00}$  Horas  
x  
Área útil de pavimento  $A_p$   $\boxed{206.96}$  m<sup>2</sup>  
÷  
1000  
=  
Ganhos internos brutos  $Q_{int,v}$   $\boxed{2423.92}$  kWh/ano

#### D.3 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS

Ganhos internos brutos  $Q_{int,v}$   $\boxed{2423.92}$  kWh/ano  
+  
Ganhos solares brutos  $Q_{sol,v}$   $\boxed{3920.92}$  kWh/ano  
=  
Ganhos térmicos brutos  $Q_{g,v}$   $\boxed{6344.84}$  kWh/ano

#### GANHOS TÉRMICOS BRUTOS NA ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO DE REFERÊNCIA

#### D.4 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS

Ganhos internos médios  $q_{int}$   $\boxed{4.00}$  W/m<sup>2</sup>  
x  
Duração de arrefecimento  $L_v$   $\boxed{2928.00}$  Horas  
÷  
1000  
+  
Fator solar de verão de referência  $g_{v,REF}$   $\boxed{0.43}$   
x  
 $A_w/A_{p,REF}$   $\boxed{0.20}$   
x  
Radiação solar média de referência  $I_{sol,REF}$   $\boxed{490.00}$  kWh/m<sup>2</sup>.ano  
=  
 $\boxed{53.85}$  kWh/m<sup>2</sup>.ano  
x  
Área útil de pavimento  $A_p$   $\boxed{206.96}$  m<sup>2</sup>  
=

Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento  $Q_{g,v REF}$  11144.80 kWh/ano

Ficha de cálculo E  
NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

E.1 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

$$\begin{aligned} & 0,024 \\ & \times \\ \text{Número de graus-dias de aquecimento GD} & 1275.60 \text{ } ^\circ\text{C.dias} \\ & \times \\ \text{Coeficiente de transferência de calor } H_{tr} & 461.56 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & = \\ \text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i} & 14130.38 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

$$\begin{aligned} & 0,024 \\ & \times \\ \text{Número de graus-dias de aquecimento GD} & 1275.60 \text{ } ^\circ\text{C.dias} \\ & \times \\ \text{Coeficiente de transferência de calor } H_{ve,i} & 79.37 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & = \\ \text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i} & 2429.86 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.3 - FATOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

$$\begin{aligned} \text{Inércia térmica da fração} & \text{ Média} \\ \text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i} & 7042.05 \text{ kWh/ano} \\ & \div \\ \text{Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar } Q_{tr,i} + Q_{ve,i} & 16560.24 \text{ kWh/ano} \\ & = \\ \text{Parâmetro } \gamma_i & 0.43 \\ & \\ \text{Parâmetro } a_i & 2.60 \\ & \\ \text{Fator de utilização de ganhos } \eta_i & 0.93 \\ & \times \\ \text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i} & 7042.05 \text{ kWh/ano} \\ & = \\ \text{Ganhos totais úteis } Q_{gu,i} & 6549.11 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.4 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

$$\begin{aligned} \text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i} & 14130.38 \text{ kWh/ano} \\ & + \\ \text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i} & 2429.86 \text{ kWh/ano} \\ & - \\ \text{Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento } Q_{gu,i} & 6549.11 \text{ kWh/ano} \\ & = \\ \text{Necessidades anuais na estação de aquecimento} & 10011.13 \text{ kWh/ano} \\ & \div \\ \text{Área útil de pavimento } A_p & 206.96 \text{ m}^2 \\ & = \\ \text{Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento } N_{ic} & 48.37 \text{ kWh/m}^2.\text{ano} \end{aligned}$$

## LIMITE MÁXIMO DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

### E.5 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

$$\begin{aligned} & \text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr, REF} \quad 340.84 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & \quad + \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve, I, REF} \quad 79.37 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & \quad = \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t, I, REF} \quad 420.21 \text{ W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

### E.6 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

$$\begin{aligned} & \quad 0,024 \\ & \quad \times \\ & \text{Número de graus-dias de aquecimento } GD \quad 1275.60 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ & \quad \times \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor } H_{tr, REF} \quad 340.84 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & \quad = \\ & \text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr, I, REF} \quad 10434.61 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

### E.7 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

$$\begin{aligned} & \quad 0,024 \\ & \quad \times \\ & \text{Número de graus-dias de aquecimento } GD \quad 1275.60 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ & \quad \times \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor } H_{ve, I, REF} \quad 79.37 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & \quad = \\ & \text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve, I, REF} \quad 2429.86 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

### E.8 - FATOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

$$\begin{aligned} & \text{Fator de utilização de ganhos } \eta_{I, REF} \quad 0.60 \\ & \quad \times \\ & \text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g, I, REF} \quad 4692.69 \text{ kWh/ano} \\ & \quad = \\ & \text{Ganhos totais úteis } Q_{gu, I, REF} \quad 2815.61 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

### E.9 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

$$\begin{aligned} & \text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr, I, REF} \quad 10434.61 \text{ kWh/ano} \\ & \quad + \\ & \text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve, I, REF} \quad 2429.86 \text{ kWh/ano} \\ & \quad - \\ & \text{Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento } Q_{gu, I, REF} \quad 2815.61 \text{ kWh/ano} \\ & \quad = \\ & \text{Necessidades anuais na estação de aquecimento} \quad 10048.86 \text{ kWh/ano} \\ & \quad \div \\ & \text{Área útil de pavimento } A_p \quad 206.96 \text{ m}^2 \\ & \quad = \\ & \text{Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento } N_i \quad 48.55 \text{ kWh/m}^2.\text{ano} \end{aligned}$$

## Ficha de cálculo F NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

### F.1 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

$$\begin{aligned} & \text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 461.56 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & \quad + \end{aligned}$$

Coefficiente de transferência de calor por renovação do ar  $H_{ve,v}$  119.06 W/°C

=

Coefficiente de transferência de calor  $H_{tv}$  580.62 W/°C

#### F.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

Transferência de calor por transmissão  $H_{tr}$  461.56 W/°C

x

$(\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext})$  4.10 °C

x

Duração de arrefecimento  $L_v$  2928.00 Horas

÷

1000

=

Transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento  $Q_{tr,v}$  5540.94 kWh/ano

#### F.3 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

Coefficiente de transferência de calor por renovação do ar  $H_{ve,v}$  119.06 W/°C

x

$(\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext})$  4.10 °C

x

Duração de arrefecimento  $L_v$  2928.00 Horas

÷

1000

=

Transferência de calor por renovação do ar na estação de arrefecimento  $Q_{ve,v}$  1429.29 kWh/ano

#### F.4 - FATOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

Inércia térmica da fração Média

Ganhos térmicos brutos  $Q_{g,v}$  6344.84 kWh/ano

÷

Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar  $Q_{tr,v} + Q_{ve,v}$  6970.23 kWh/ano

=

Parâmetro  $\gamma_v$  0.91

Parâmetro  $a_v$  2.60

Fator de utilização de ganhos  $\eta_v$  0.76

#### F.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

$(1 - \eta_v)$  0.24

x

Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento  $Q_{g,v}$  6344.84 kWh/ano

÷

Área útil de pavimento  $A_p$  206.96 m<sup>2</sup>

=

Necessidades anuais de energia útil para arrefecimento  $N_{vc}$  7.36 kWh/m<sup>2</sup>.ano

#### LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

#### F.6 - FATOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS DE REFERÊNCIA

$$\eta_{vref} = \left\{ \begin{array}{ll} 0,52 + 0,22 \ln \Delta\theta & , \Delta\theta > 1 \\ 0,45 & , 0 < \Delta\theta \leq 1 \\ 0,30 & , 0 \leq \Delta\theta \end{array} \right\}$$

$\theta_{REF,V} = 25.00 \text{ } ^\circ\text{C}$

$\theta_{EXT,V} = 20.90 \text{ } ^\circ\text{C}$

$\Delta\theta = 4.10 \text{ } ^\circ\text{C}$

$\text{Fator de utilização de ganhos } \eta_{V,REF} = 0.83$

### F.7 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

$(1 - \eta_{V,REF}) = 0.17$

$\text{Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento } Q_{g,V,REF} = 11144.80 \text{ kWh/ano}$

$\text{Área útil de pavimento } A_p = 206.96 \text{ m}^2$

$\text{Limite das necessidades anuais de energia útil para arrefecimento } N_v = 9.15 \text{ kWh/m}^2.\text{ano}$

### Ficha de cálculo G NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

#### G.1 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA AQUECIMENTO

SISTEMA PARA AQUECIMENTO	Fonte de energia	Necessidades de energia útil $N_{ic}$ kWh/m <sup>2</sup> .ano	$f_i$	Eficiência nominal $\eta_i$	Fator de conversão $F_{P_{ui}}$ kWh <sub>EP</sub> /kWh	Necessidades de energia primária $f_i \cdot \delta \cdot N_{ic} \cdot F_{P_{ui}} / \eta_i$ kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano
Sistema de Aquecimento por defeito	Energia elétrica	48.37	1.00	1.00	2.50	120.93
TOTAL						120.93

#### G.2 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO

SISTEMA PARA ARREFECIMENTO	Fonte de energia	Necessidades de energia útil $N_{ic}$ kWh/m <sup>2</sup> .ano	$f_v$	Eficiência nominal $\eta_v$	Fator de conversão $F_{P_{uv}}$ kWh <sub>EP</sub> /kWh	Necessidades de energia primária $f_v \cdot \delta \cdot N_{ic} \cdot F_{P_{uv}} / \eta_v$ kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano
Sistema de Arrefecimento por Defeito	Energia elétrica	7.36	1.00	2.80	2.50	6.57
TOTAL						6.57

#### G.3 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA PRODUÇÃO DE AQS

##### CONSUMO DE AQS

$$\begin{aligned} \text{n}^\circ \text{ convencional de ocupantes de cada fração } n &= \frac{40}{5} = 8 \text{ ocupantes} \\ \text{fator de eficiência hídrica } n &= 0.90 \\ \text{consumo médio diário de referência } M_{AQS} &= 180.00 \text{ l} \end{aligned}$$

##### NECESSIDADES ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA A PREPARAÇÃO DE AQS

$\text{consumo médio diário de referência } M_{AQS} = 180.00 \text{ l}$

$\text{aumento de temperatura } \Delta T = 35.00 \text{ } ^\circ\text{C}$

$\text{n}^\circ \text{ de dias de consumo} = 365 \text{ dias}$

$$\begin{aligned} &+ 3600000 \\ &+ A_p = 206.96 \text{ m}^2 \\ &= \end{aligned}$$

$\text{NECESSIDADES ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA A PREPARAÇÃO DE AQS} = 12.92 \text{ kWh/m}^2.\text{ano}$

SISTEMA PARA AQS	Fonte de energia	Necessidades de energia útil $Q_u/A_p$ kWh/m <sup>2</sup> .ano	$f_a$	Eficiência nominal $\eta_a$	Fator de conversão $F_{P_{ua}}$ kWh <sub>EP</sub> /kWh	Necessidades de energia primária $f_a \cdot \delta \cdot Q_u / A_p \cdot F_{P_{ua}} / \eta_a$ kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano
Sistema de AQS por defeito	Energia elétrica	12.92	1.00	0.95	2.50	34.00
TOTAL						34.00

#### G.6 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

$$\begin{aligned}
 & \text{Energia primária para aquecimento} \quad 120.93 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano} \\
 & \quad + \\
 & \text{Energia primária para arrefecimento} \quad 6.57 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano} \\
 & \quad + \\
 & \text{Energia primária para a preparação de AQS} \quad 34.00 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano} \\
 & \quad + \\
 & \text{Energia primária necessária para o sistema de ventilação mecânica} \quad 0.00 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano} \\
 & \quad - \\
 & \text{Energia primária proveniente de sistemas com recurso a energia renovável} \quad 0.00 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano} \\
 & \quad = \\
 & \text{Necessidades nominais anuais globais de energia primária } N_{tc} \quad 161.50 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano}
 \end{aligned}$$

### LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

#### G.7 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA AQUECIMENTO

SISTEMA PARA AQUECIMENTO	Fonte de energia	Necessidades de energia útil $N_u$ kWh/m <sup>2</sup> .ano	$f_i$	Eficiência nominal $\eta_{i, REF}$	Fator de conversão $f_{PI}$ kWh <sub>EP</sub> /kWh	Necessidades de energia primária $f_i \cdot \delta \cdot N_u \cdot f_{PI} / \eta_{i, REF}$ kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano
Sistema de Aquecimento por defeito	Energia elétrica	48.55	1.00	1.00	2.50	121.38
TOTAL						121.38

#### G.8 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO

SISTEMA PARA ARREFECIMENTO	Fonte de energia	Necessidades de energia útil $N_u$ kWh/m <sup>2</sup> .ano	$f_v$	Eficiência nominal $\eta_{v, REF}$	Fator de conversão $f_{PI}$ kWh <sub>EP</sub> /kWh	Necessidades de energia primária $f_v \cdot \delta \cdot N_u \cdot f_{PI} / \eta_{v, REF}$ kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano
Sistema de Arrefecimento por Defeito	Energia elétrica	9.15	1.00	2.80	2.50	8.17
TOTAL						8.17

#### G.9 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA PRODUÇÃO DE AQS

<p>CONSUMO DE AQS</p> $  \begin{aligned}  & 40 \\  & \times \\  \text{n}^\circ \text{ convencional de ocupantes de cada fração } n & \quad 5 \text{ ocupantes} \\  & \times \\  \text{fator de eficiência hídrica } n & \quad 1.00 \\  & = \\  \text{consumo médio diário de referência } M_{AQS} & \quad 200.00 \text{ l}  \end{aligned}  $	<p>NECESSIDADES ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA A PREPARAÇÃO DE AQS</p> $  \begin{aligned}  & \text{consumo médio diário de referência } M_{AQS} \quad 200.00 \text{ l} \\  & \times \\  & 4187 \\  & \times \\  \text{aumento de temperatura } \Delta T & \quad 35.00 \text{ }^\circ\text{C} \\  & \times \\  \text{n}^\circ \text{ de dias de consumo} & \quad 365 \text{ dias} \\  & \div \\  & 3600000 \\  & \div \\  A_p & \quad 206.96 \text{ m}^2 \\  & = \\  \text{NECESSIDADES ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA A PREPARAÇÃO DE AQS} & \quad 14.36 \text{ kWh/m}^2.\text{ano}  \end{aligned}  $
--	---

SISTEMA PARA AQS	Fonte de energia	Necessidades de energia útil $Q_u/A_p$ kWh/m <sup>2</sup> .ano	$f_a$	Eficiência nominal $\eta_{a, REF}$	Fator de conversão $F_{PI}$ kWh <sub>EP</sub> /kWh	Necessidades de energia primária $f_a \cdot \delta \cdot Q_u / A_p \cdot F_{PI} / \eta_{a, REF}$ kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano
Sistema de AQS por defeito	Energia elétrica	14.36	1.00	0.95	2.50	37.79
TOTAL						37.79

#### G.10 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

$$\begin{aligned}
 & \text{Energia primária para aquecimento} \quad 121.38 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano} \\
 & \quad + \\
 & \text{Energia primária para arrefecimento} \quad 8.17 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano} \\
 & \quad + \\
 & \text{Energia primária para a preparação de AQS} \quad 37.79 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano} \\
 & \quad = \\
 & \text{Necessidades nominais anuais globais de energia primária } N_t \quad 167.34 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano}
 \end{aligned}$$

---

DATA 9 de Março de 2014

<u>CARGO</u> <u>Projetista</u>	<u>CARGO</u>
<u>NOME</u>	<u>NOME</u>

[Produzido por uma versão educativa de CYPE](#)

## **ANEXO A3**

### **DESEMPENHO ENERGÉTICO (CASO 1)**



1.- SISTEMA POR DEFEITO.....	2
1.1.- Requisitos energéticos.....	2
1.2.- Descrição de elementos.....	2
1.2.1.- Coeficientes de transmissão térmica.....	2
1.3.- Envidraçados.....	3
1.4.- Climatização e AQS.....	6
1.5.- Energia renovável.....	6
1.6.- Ventilação.....	6
1.7.- Classificação energética.....	6
1.8.- Emissão de CO2.....	6
2.- EDIFÍCIO ADJACENTE.....	7
2.1.- Requisitos energéticos.....	7
2.2.- Descrição de elementos.....	7
2.2.1.- Coeficientes de transmissão térmica.....	7
2.3.- Envidraçados.....	8
2.4.- Climatização e AQS.....	11
2.5.- Energia renovável.....	11
2.6.- Ventilação.....	12
2.7.- Classificação energética.....	12
2.8.- Emissão de CO2.....	12



## 1.- SISTEMA POR DEFEITO

### 1.1.- Requisitos energéticos

Necessidades nominais de energia útil para...	Valor calculado (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Valor limite (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Aquecimento	70.91	48.55
Arrefecimento	6.91	9.15
Preparação das águas quentes sanitárias	12.92	14.36
Energia	217.45	167.34

### 1.2.- Descrição de elementos

#### 1.2.1.- Coeficientes de transmissão térmica

O REH estabelece, para a envolvente interior e exterior, valores máximos e de referência para os coeficientes de transmissão térmica (U). Os valores definidos para o coeficiente U dos elementos da envolvente são:

##### 1.2.1.1.- Paredes

Referência: Parede exterior primeiro caso

Parede exterior dupla, de 57.8 cm, de cor clara, sem isolamento, composta por: 1) argamassa e reboco tradicional com 2 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 1.3 W/m°C e resistência térmica de 0.015 m<sup>2</sup>°C/W; 2) granito com 50 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 2.8 W/m°C e resistência térmica de 0.179 m<sup>2</sup>°C/W; 3) caixa de ar não ventilada com 4 cm de espessura; 4) placa de gesso cartonado com 1.25 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 0.25 W/m°C e resistência térmica de 0.050 m<sup>2</sup>°C/W; 5) ladrilhamento com ladrilhos cerâmicos, colocados com argamassa de cimento com 0.5 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 1.3 W/m°C e resistência térmica de 0.004 m<sup>2</sup>°C/W.

Coeficiente de transmissão térmica: 1.67 W/m<sup>2</sup>°C

Coeficiente de transmissão térmica máximo regulamentar: 1.75 W/m<sup>2</sup>°C

Referência: Parede exterior primeiro caso

Parede exterior dupla, de 57.3 cm, de cor clara, sem isolamento, composta por: 1) argamassa e reboco tradicional com 2 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 1.3 W/m°C e resistência térmica de 0.015 m<sup>2</sup>°C/W; 2) granito com 50 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 2.8 W/m°C e resistência térmica de 0.179 m<sup>2</sup>°C/W; 3) caixa de ar não ventilada com 4 cm de espessura; 4) placa de gesso cartonado com 1.25 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 0.25 W/m°C e resistência térmica de 0.050 m<sup>2</sup>°C/W.

Coeficiente de transmissão térmica: 1.68 W/m<sup>2</sup>°C

Coeficiente de transmissão térmica máximo regulamentar: 1.75 W/m<sup>2</sup>°C

##### 1.2.1.2.- Coberturas

Referência: Laje entre pisos

Pavimento sobre espaço interior não aquecido composto por: 1) descrição genérica (cálculo simplificado) com 5 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 0.0625 W/m°C e resistência térmica de 0.800 m<sup>2</sup>°C/W.

Coeficiente de transmissão térmica: 1.25 W/m<sup>2</sup>°C

Coeficiente de transmissão térmica máximo regulamentar: 1.25 W/m<sup>2</sup>°C

Referência: Laje para desvão



Pavimento sobre espaço interior não aquecido composto por: 1) lâ de rocha (mw) com 6 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de  $0.04 \text{ W/m}^\circ\text{C}$  e resistência térmica de  $1.500 \text{ m}^2\text{C/W}$ ; 2) painéis de aglomerado de partículas de madeira com 5 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de  $1.25 \text{ W/m}^\circ\text{C}$  e resistência térmica de  $0.040 \text{ m}^2\text{C/W}$ .

Coeficiente de transmissão térmica:  $0.57 \text{ W/m}^2\text{C}$

Coeficiente de transmissão térmica máximo regulamentar:  $1.25 \text{ W/m}^2\text{C}$

### 1.2.1.3.- Pavimentos

Referência: Laje entre pisos

Pavimento sobre espaço interior não aquecido composto por: 1) descrição genérica (cálculo simplificado) com 5 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de  $0.0625 \text{ W/m}^\circ\text{C}$  e resistência térmica de  $0.800 \text{ m}^2\text{C/W}$ .

Coeficiente de transmissão térmica:  $1.25 \text{ W/m}^2\text{C}$

Coeficiente de transmissão térmica máximo regulamentar:  $1.25 \text{ W/m}^2\text{C}$

Produzido por uma versão educativa de CYPE

### 1.3.- Envidraçados

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:

Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4;  $U = 4.33 \text{ W/m}^2\text{C}$

Factor solar (gi): 0.69

Factor solar (gv): 0.62

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.62

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:

Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4;  $U = 4.33 \text{ W/m}^2\text{C}$

Factor solar (gi): 0.69

Factor solar (gv): 0.62

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.62

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:

Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4;  $U = 4.33 \text{ W/m}^2\text{C}$

Factor solar (gi): 0.69

Factor solar (gv): 0.55

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.55

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:

Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4;  $U = 4.33 \text{ W/m}^2\text{C}$

Factor solar (gi): 0.69

Factor solar (gv): 0.62

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.62

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:

Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4;  $U = 4.33 \text{ W/m}^2\text{C}$

Factor solar (gi): 0.69



Factor solar (gv): 0.59

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.59

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:

Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4; U = 4.33 W/m<sup>2</sup>°C

Factor solar (gi): 0.69

Factor solar (gv): 0.55

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.55

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:

Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4; U = 4.33 W/m<sup>2</sup>°C

Factor solar (gi): 0.69

Factor solar (gv): 0.55

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.55

Produzido por uma versão educativa de CYPE

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:

Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4; U = 4.33 W/m<sup>2</sup>°C

Factor solar (gi): 0.69

Factor solar (gv): 0.53

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.53

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:

Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4; U = 4.33 W/m<sup>2</sup>°C

Factor solar (gi): 0.69

Factor solar (gv): 0.53

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.53

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:

Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4; U = 4.33 W/m<sup>2</sup>°C

Factor solar (gi): 0.69

Factor solar (gv): 0.55

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.55

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:

Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4; U = 4.33 W/m<sup>2</sup>°C

Factor solar (gi): 0.69

Factor solar (gv): 0.59

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.59

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:

Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4; U = 4.33 W/m<sup>2</sup>°C

Factor solar (gi): 0.69

Factor solar (gv): 0.62

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.62



Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:  
Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4;  $U = 4.33 \text{ W/m}^2\text{°C}$   
Factor solar (gi): 0.69  
Factor solar (gv): 0.62  
Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.62

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:  
Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4;  $U = 4.33 \text{ W/m}^2\text{°C}$   
Factor solar (gi): 0.69  
Factor solar (gv): 0.55  
Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.55

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:  
Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4;  $U = 4.33 \text{ W/m}^2\text{°C}$   
Factor solar (gi): 0.69  
Factor solar (gv): 0.55  
Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.55

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:  
Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4;  $U = 4.33 \text{ W/m}^2\text{°C}$   
Factor solar (gi): 0.69  
Factor solar (gv): 0.59  
Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.59

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:  
Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4;  $U = 4.33 \text{ W/m}^2\text{°C}$   
Factor solar (gi): 0.69  
Factor solar (gv): 0.59  
Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.59

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:  
Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4;  $U = 4.33 \text{ W/m}^2\text{°C}$   
Factor solar (gi): 0.69  
Factor solar (gv): 0.59  
Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.59

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:  
Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4;  $U = 4.33 \text{ W/m}^2\text{°C}$   
Factor solar (gi): 0.69  
Factor solar (gv): 0.62  
Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.62

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:  
Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas Cypeterm - Versão 2014.h - Janeiro 2014 - Número de licença 120030



"UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4;  $U = 4.33 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Factor solar (gi): 0.69

Factor solar (gv): 0.55

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.55

## 1.4.- Climatização e AQS

As necessidades anuais de energia útil para aquecimento são de 14675.53 kWh/ano

As necessidades anuais de energia útil para arrefecimento são de 1430.09 kWh/ano

As necessidades anuais de energia útil para AQS são de 2673.92 kWh/ano

## 1.5.- Energia renovável

A contribuição dos sistemas solares de preparação de AQS é de 0.00 kWh/ano

A contribuição dos sistemas renováveis é de 0.00 kWh/ano

Produzido por uma versão educativa de CYPE

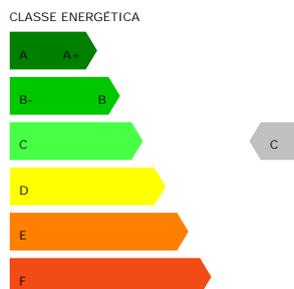
## 1.6.- Ventilação

Valor de taxa de renovação horária (Rph,i): 0.40

Valor de taxa de renovação horária (Rph,v): 0.40

## 1.7.- Classificação energética

$R = 1.30$



Classe energética	$R = N_{tc} / N_t$
A+	$R \leq 0.25$
A	$0.26 \leq R \leq 0.5$
B	$0.51 \leq R \leq 0.75$
B-	$0.76 \leq R \leq 1.00$
C	$1.01 \leq R \leq 1.50$
D	$1.51 \leq R \leq 2.00$
E	$2.01 \leq R \leq 2.50$
F	$R \geq 2.51$

## 1.8.- Emissão de CO2

As emissões anuais de gases de efeito estufa associadas à energia primária para climatização e águas quentes são de 6.4803 toneladas de CO2 equivalentes por ano.





## **ANEXO A4**

### **DESEMPENHO ENERGÉTICO (CASO 2)**

1.- SISTEMA POR DEFEITO.....	2
1.1.- Requisitos energéticos.....	2
1.2.- Descrição de elementos.....	2
1.2.1.- Coeficientes de transmissão térmica.....	2
1.3.- Envidraçados.....	3
1.4.- Climatização e AQS.....	6
1.5.- Energia renovável.....	6
1.6.- Ventilação.....	6
1.7.- Classificação energética.....	6
1.8.- Emissão de CO2.....	6
2.- EDIFÍCIO ADJACENTE.....	7
2.1.- Requisitos energéticos.....	7
2.2.- Descrição de elementos.....	7
2.2.1.- Coeficientes de transmissão térmica.....	7
2.3.- Envidraçados.....	8
2.4.- Climatização e AQS.....	11
2.5.- Energia renovável.....	11
2.6.- Ventilação.....	12
2.7.- Classificação energética.....	12
2.8.- Emissão de CO2.....	12



## 1.- SISTEMA POR DEFEITO

### 1.1.- Requisitos energéticos

Necessidades nominais de energia útil para...	Valor calculado (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Valor limite (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Aquecimento	48.37	48.55
Arrefecimento	7.36	9.15
Preparação das águas quentes sanitárias	12.92	14.36
Energia	161.50	167.34

### 1.2.- Descrição de elementos

#### 1.2.1.- Coeficientes de transmissão térmica

O REH estabelece, para a envolvente interior e exterior, valores máximos e de referência para os coeficientes de transmissão térmica (U). Os valores definidos para o coeficiente U dos elementos da envolvente são:

##### 1.2.1.1.- Paredes

Referência: Parede exterior - Segundo caso

Parede exterior simples, de 57.8 cm, de cor clara, com isolamento pelo interior, composta por: 1) argamassa e reboco tradicional com 2 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 1.3 W/m°C e resistência térmica de 0.015 m<sup>2</sup>C/W; 2) granito com 50 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 2.8 W/m°C e resistência térmica de 0.179 m<sup>2</sup>C/W; 3) lâ de rocha (mw) com 4 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 0.04 W/m°C e resistência térmica de 1.000 m<sup>2</sup>C/W; 4) placa de gesso cartonado com 1.25 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 0.25 W/m°C e resistência térmica de 0.050 m<sup>2</sup>C/W; 5) ladrilhamento com ladrilhos cerâmicos, colocados com argamassa de cimento com 0.5 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 1.3 W/m°C e resistência térmica de 0.004 m<sup>2</sup>C/W.

Coeficiente de transmissão térmica: 0.71 W/m<sup>2</sup>C

Coeficiente de transmissão térmica máximo regulamentar: 1.75 W/m<sup>2</sup>C

Referência: Parede exterior - Segundo caso

Parede exterior simples, de 57.3 cm, de cor clara, com isolamento pelo interior, composta por: 1) argamassa e reboco tradicional com 2 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 1.3 W/m°C e resistência térmica de 0.015 m<sup>2</sup>C/W; 2) granito com 50 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 2.8 W/m°C e resistência térmica de 0.179 m<sup>2</sup>C/W; 3) lâ de rocha (mw) com 4 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 0.04 W/m°C e resistência térmica de 1.000 m<sup>2</sup>C/W; 4) placa de gesso cartonado com 1.25 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 0.25 W/m°C e resistência térmica de 0.050 m<sup>2</sup>C/W.

Coeficiente de transmissão térmica: 0.71 W/m<sup>2</sup>C

Coeficiente de transmissão térmica máximo regulamentar: 1.75 W/m<sup>2</sup>C

##### 1.2.1.2.- Coberturas

Referência: Laje entre pisos

Pavimento sobre espaço interior não aquecido composto por: 1) descrição genérica (cálculo simplificado) com 5 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 0.0625 W/m°C e resistência térmica de 0.800 m<sup>2</sup>C/W.

Coeficiente de transmissão térmica: 1.25 W/m<sup>2</sup>C

Coeficiente de transmissão térmica máximo regulamentar: 1.25 W/m<sup>2</sup>C



Referência: Laje para desvão

Pavimento sobre espaço interior não aquecido composto por: 1) lâ de rocha (mw) com 6 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 0.04 W/m°C e resistência térmica de 1.500 m<sup>2</sup>C/W; 2) painéis de aglomerado de partículas de madeira com 5 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 1.25 W/m°C e resistência térmica de 0.040 m<sup>2</sup>C/W.

Coeficiente de transmissão térmica: 0.57 W/m<sup>2</sup>C

Coeficiente de transmissão térmica máximo regulamentar: 1.25 W/m<sup>2</sup>C

### 1.2.1.3.- Pavimentos

Referência: Laje entre pisos

Pavimento sobre espaço interior não aquecido composto por: 1) descrição genérica (cálculo simplificado) com 5 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 0.0625 W/m°C e resistência térmica de 0.800 m<sup>2</sup>C/W.

Coeficiente de transmissão térmica: 1.25 W/m<sup>2</sup>C

Coeficiente de transmissão térmica máximo regulamentar: 1.25 W/m<sup>2</sup>C

Produzido por uma versão educativa de CYPE

### 1.3.- Envidraçados

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:

Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4; U = 4.33 W/m<sup>2</sup>C

Factor solar (gi): 0.69

Factor solar (gv): 0.62

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.62

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:

Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4; U = 4.33 W/m<sup>2</sup>C

Factor solar (gi): 0.69

Factor solar (gv): 0.62

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.62

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:

Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4; U = 4.33 W/m<sup>2</sup>C

Factor solar (gi): 0.69

Factor solar (gv): 0.55

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.55

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:

Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4; U = 4.33 W/m<sup>2</sup>C

Factor solar (gi): 0.69

Factor solar (gv): 0.62

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.62

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:

Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4; U = 4.33 W/m<sup>2</sup>C

Cypeterm - Versão 2014.h - Janeiro 2014 - Número de licença 120030



Factor solar (gi): 0.69  
Factor solar (gv): 0.59  
Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.59

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:  
Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4; U = 4.33 W/m<sup>2</sup>°C  
Factor solar (gi): 0.69  
Factor solar (gv): 0.55  
Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.55

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:  
Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4; U = 4.33 W/m<sup>2</sup>°C  
Factor solar (gi): 0.69  
Factor solar (gv): 0.55  
Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.55

Produzido por uma versão educativa de CYPE

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:  
Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4; U = 4.33 W/m<sup>2</sup>°C  
Factor solar (gi): 0.69  
Factor solar (gv): 0.53  
Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.53

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:  
Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4; U = 4.33 W/m<sup>2</sup>°C  
Factor solar (gi): 0.69  
Factor solar (gv): 0.53  
Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.53

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:  
Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4; U = 4.33 W/m<sup>2</sup>°C  
Factor solar (gi): 0.69  
Factor solar (gv): 0.55  
Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.55

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:  
Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4; U = 4.33 W/m<sup>2</sup>°C  
Factor solar (gi): 0.69  
Factor solar (gv): 0.59  
Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.59

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:  
Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4; U = 4.33 W/m<sup>2</sup>°C  
Factor solar (gi): 0.69  
Factor solar (gv): 0.62



Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.62

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:

Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4; U = 4.33 W/m<sup>2</sup>°C

Factor solar (gi): 0.69

Factor solar (gv): 0.62

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.62

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:

Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4; U = 4.33 W/m<sup>2</sup>°C

Factor solar (gi): 0.69

Factor solar (gv): 0.55

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.55

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:

Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4; U = 4.33 W/m<sup>2</sup>°C

Factor solar (gi): 0.69

Factor solar (gv): 0.55

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.55

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:

Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4; U = 4.33 W/m<sup>2</sup>°C

Factor solar (gi): 0.69

Factor solar (gv): 0.59

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.59

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:

Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4; U = 4.33 W/m<sup>2</sup>°C

Factor solar (gi): 0.69

Factor solar (gv): 0.59

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.59

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:

Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4; U = 4.33 W/m<sup>2</sup>°C

Factor solar (gi): 0.69

Factor solar (gv): 0.59

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.59

Janela de vidro duplo aislaglas "unión vidriera aragonesa", 4/6/4:

Caixilharia (Janela de alumínio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNIÓN VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4; U = 4.33 W/m<sup>2</sup>°C

Factor solar (gi): 0.69

Factor solar (gv): 0.62

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.62



Janela de vidro duplo aislaglas "uni3n vidriera aragonesa", 4/6/4:

Caixilharia (Janela de alum3nio, de correr simples, de 80x120 cm) de cor clara; Vidro duplo Aislaglas "UNI3N VIDRIERA ARAGONESA", 4/6/4;  $U = 4.33 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Factor solar (gi): 0.69

Factor solar (gv): 0.55

Factor solar m3ximo regulamentar (gt,max): 0.55

## 1.4.- Climatiza33o e AQS

As necessidades anuais de energia 3til para aquecimento s3o de 10010.66 kWh/ano

As necessidades anuais de energia 3til para arrefecimento s3o de 1523.23 kWh/ano

As necessidades anuais de energia 3til para AQS s3o de 2673.92 kWh/ano

## 1.5.- Energia renov3vel

A contribui33o dos sistemas solares de prepara33o de AQS 3 de 0.00 kWh/ano

A contribui33o dos sistemas renov3veis 3 de 0.00 kWh/ano

## 1.6.- Ventila33o

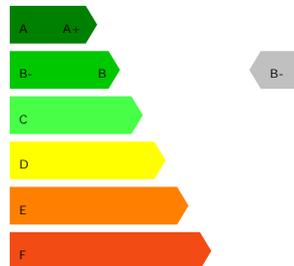
Valor de taxa de renova33o hor3ria (Rph,i): 0.40

Valor de taxa de renova33o hor3ria (Rph,v): 0.40

## 1.7.- Classifica33o energ3tica

$R = 0.97$

CLASSE ENERGETICA



Classe energ3tica	$R = N_{tc} / N_t$
A+	$R \leq 0.25$
A	$0.26 \leq R \leq 0.5$
B	$0.51 \leq R \leq 0.75$
B-	$0.76 \leq R \leq 1.00$
C	$1.01 \leq R \leq 1.50$
D	$1.51 \leq R \leq 2.00$
E	$2.01 \leq R \leq 2.50$
F	$R \geq 2.51$

## 1.8.- Emiss3o de CO2

As emiss3es anuais de gases de efeito estufa associadas 3 energia prim3ria para climatiza33o e 3guas quentes s3o de 4.8130 toneladas de CO2 equivalentes por ano.

---