

# **TRANSPOSIÇÃO DA NOVO DIRETIVA EUROPEIA EPBD2018 PARA A REGULAMENTAÇÃO TÉRMICA EM PORTUGAL**

**PEDRO MIGUEL SILVA MOREIRA**

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

---

Orientador: Professor Doutor Vasco Manuel Araújo Peixoto de Freitas

JULHO DE 2020

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2019/2020**

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 - 2019/2020 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2020.*

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 dirige a prática; no entanto, a prática aumenta o conhecimento.*

*Thomas Fuller*



## **AGRADECIMENTOS**

A realização desta dissertação leva à conclusão de uma etapa da minha vida, pelo apoio ao longo deste percurso quero deixar o meu sincero agradecimento, em particular:

Ao Professor Vasco Freitas pela sua disponibilidade e apoio para o desenvolvimento deste tema e pelo seu conhecimento e a forma como leciona que me transmitiram o interesse pela higratérmica.

Aos colaboradores da “Prof. Eng<sup>o</sup> Vasco Peixoto de Freitas, Lda” pela disponibilização de documentos importantes para a aplicação de casos estudo, bem como o esclarecimento de alguns parâmetros no programa WUFI® Plus.

A todos os meus amigos que ao longo destes anos me proporcionaram momentos únicos.

Um agradecimento a toda a minha família, em especial aos meus pais e irmã por todo o seu apoio, incentivo e confiança nas minhas decisões.



## **RESUMO**

O comportamento térmico associado à eficiência energética dos edifícios é um tema cada vez com maior expressão na Europa. Através de uma reflexão dessas preocupações na evolução regulamentar, procura-se definir o comportamento térmico dos edifícios, nomeadamente em Portugal e tecer algumas considerações relacionadas com a transposição da Diretiva (UE) 2018/844 a uma nova regulamentação portuguesa.

Em primeiro lugar foi realizada uma reflexão das diretivas europeias e da legislação portuguesa no âmbito da térmica de edifícios. Com base em estudos e dados estatísticos, definiu-se o enquadramento de Portugal na União Europeia (UE) no que diz respeito à energia e ao conforto. Através de um estudo de comparação e sensibilidade aplicado a um edifício característico de uma população com maiores dificuldades económicas e a um edifício característico de uma população com rendimentos mais elevados e com maiores exigências ao nível do conforto, caracterizou-se o comportamento térmico de ambos os edifícios ao nível do conforto, bem como as suas necessidades energéticas em diferentes modelos de cálculo e em vários cenários de utilização.

Portugal tem uma realidade diferente da média europeia, pelo clima que é mais moderado em relação ao clima mais frio dos países da Europa central e norte, por ser um dos países com menores rendimentos e elevados custos com a energia, leva a que muitas famílias aqueçam durante poucas horas as suas habitações ou até mesmo que não tenham qualquer tipo de aquecimento. Analisando os casos estudo, em ambos, há uma convergência na análise ao conforto térmico, indicando que no verão se encontra numa categoria aceitável, mas que por outro lado, no inverno, apenas com sistemas mecânicos é possível garantir conforto. Pelas diferentes metodologias de cálculo (modelo REH e modelo dinâmico) aferiu-se que as diferenças entre os dois modelos são tão mais notórias quanto maior for a complexidade do edifício em causa, no entanto essa diferença tem uma maior incidência na estação de arrefecimento e apenas em alguns parâmetros.

A legislação nacional, através das diretivas europeias, implementou restrições térmicas às soluções construtivas, que tem vindo ao longo do tempo a ser mais limitativas e um modelo energético comparativo entre os diferentes edifícios. Uma realidade diferente da média europeia, traduz em Portugal elevados níveis de pobreza energética e baixos níveis de conforto térmico. Como as vantagens de recorrer a um modelo dinâmico não são muito significativas na generalidade dos casos, a Diretiva (UE) 2018/844 que leva à elaboração de uma nova regulamentação térmica em Portugal, deve introduzir uma revisão à sua metodologia, mas sem a alterar muito e deve ainda ter uma diferenciação para os diversos tipos de habitação.

**PALAVRAS-CHAVE:** energia, térmica, EPBD, transposição da diretiva, caso estudo.



## **ABSTRACT**

The thermal behaviour associated with the energy efficiency of buildings is an increasingly important theme in Europe. Through a reflection of these concerns in the regulatory evolution, we seek to define the thermal behaviour of buildings, namely in Portugal and make some considerations related to the transposition of Directive (EU) 2018/844 to a new Portuguese regulation.

Firstly, a reflection of European directives and Portuguese legislation about thermal behaviour. Based on studies and statistical data, Portugal's framework in the European Union (EU) was defined regarding energy and comfort. Through a study of comparison and sensitivity applied to a building characteristic of a population with greater economic difficulties and to a building characteristic of a population with higher yields and with greater requirements in terms of comfort, the thermal behaviour of both building was characterized in terms of comfort, as well as their energy needs in different calculation models and scenarios.

Portugal has a reality different from the European average, due to the climate that is more moderate in relation to the colder climate of the countries of central and northern Europe, as it is one of the countries with the lowest incomes and high energy costs, which causes many families to heat up for a few hours their homes or even if they do not have any type of heating. Analysing the case studies, in both, there is a convergence in the analysis of thermal comfort, indicating that in summer it is in an acceptable category, but on the other hand, in winter only with mechanical systems it is possible to guarantee comfort. By the different calculation methodologies (REH model and dynamic model) it was found that the differences between the two models are all the more noticeable the greater the complexity of the building in question, however this difference has a greater impact on the cooling station and only in some parameters.

National legislation, through European directives, has implemented thermal restrictions on construction solutions, which over time has been more restrictive and a comparative energy model between different buildings. A different reality from the European average, translates into high levels of energy poverty and low levels of thermal comfort in Portugal. As the advantages of using a dynamic model are not very significant in most cases, Directive (EU) 2018/844, which leads to the drafting of a new thermal regulation in Portugal, should introduce a review of its methodology, but without changing it a lot and must still have a differentiation for the different types of housing.

**KEYWORDS:** energy, thermal, EPBD, transposition of directive, case study.



## ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS .....	i
RESUMO .....	iii
ABSTRACT .....	v
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. ENQUADRAMENTO .....	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TRABALHO .....	2
<b>2. POLÍTICA ENERGÉTICA EUROPEIA .....</b>	<b>3</b>
2.1. ENQUADRAMENTO .....	3
2.2. DIRETIVAS EUROPEIAS: EPBD E EED .....	3
2.2.1. DIRETIVA 2002/91/CE .....	3
2.2.2. DIRETIVA 2010/31/UE .....	5
2.2.3. DIRETIVA 2012/27/UE .....	8
2.3. DIRETIVA (UE) 2018/844 .....	9
2.4. SÍNTESE DO CAPÍTULO.....	9
<b>3. QUADRO REGULAMENTAR PORTUGUÊS .....</b>	<b>11</b>
3.1. EVOLUÇÃO DA REGULAMENTAÇÃO EM PORTUGAL .....	11
3.2. REGULAMENTAÇÃO EM VIGOR.....	12
3.2.1. ESTRUTURA GERAL DO DECRETO-LEI N.º 118/2013 .....	12
3.2.2. CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA DOS EDIFÍCIOS.....	12
3.2.3. REGULAMENTO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO.....	14
3.2.4. REGULAMENTAÇÃO TRANSVERSAL AO DECRETO-LEI N.º 118/2013 .....	15
3.3. SÍNTESE DO CAPÍTULO.....	16
<b>4. POBREZA ENERGÉTICA E CONFORTO .....</b>	<b>17</b>
4.1. QUANTIFICAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA.....	17
4.1.1. DISTRIBUIÇÃO DOS CONSUMOS DE ENERGIA POR SETOR.....	17

4.1.2. CONSUMOS DE ENERGIA PARA CLIMATIZAÇÃO .....	18
<b>4.2. SISTEMAS: AQUECIMENTO, ARREFECIMENTO E AQS .....</b>	<b>19</b>
<b>4.3. POBREZA ENERGÉTICA .....</b>	<b>21</b>
4.3.1. CONCEITO .....	21
4.3.2. RENDIMENTOS E CUSTO DA ENERGIA: PORTUGAL NO CONTEXTO EUROPEU .....	22
4.3.3. POBREZA ENERGÉTICA: PORTUGAL NO CONTEXTO EUROPEU .....	23
<b>4.4. CONFORTO TÉRMICO .....</b>	<b>24</b>
4.4.1. CONCEITO .....	24
4.4.2. MODELO DE CONFORTO TÉRMICO ADAPTATIVO EN15251 .....	25
<b>4.4. SÍNTESE DO CAPÍTULO .....</b>	<b>27</b>

## **5. APLICAÇÃO DO REGIME DINÂMICO A CASOS ESTUDO .....**

### **29**

<b>5.1. ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS.....</b>	<b>29</b>
<b>5.2. DADOS CLIMÁTICOS.....</b>	<b>30</b>
<b>5.3. CENÁRIOS DE UTILIZAÇÃO .....</b>	<b>31</b>
<b>5.4. CASO ESTUDO 1 .....</b>	<b>32</b>
5.4.1. ENQUADRAMENTO .....	32
5.4.2. CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO .....	33
5.4.3. CARACTERIZAÇÃO DA ENVOLVENTE .....	34
5.4.3.1. Paredes .....	34
5.4.3.2. Pavimentos .....	35
5.4.3.3. Portas, Vãos Envidraçados e Proteções Solares.....	36
5.4.4. ANÁLISE RESULTADOS .....	36
5.4.4.1. Regime Dinâmico .....	36
5.4.4.2. Conforto Térmico .....	40
5.4.4.3. SCE Vs. Regime Dinâmico.....	43
5.4.5. SÍNTESE DO SUBCAPÍTULO .....	46
<b>5.5. CASO ESTUDO 2 .....</b>	<b>47</b>
5.5.1. ENQUADRAMENTO.....	47
5.5.2. CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO .....	48
5.5.3. CARACTERIZAÇÃO DA ENVOLVENTE .....	49
5.5.3.1. Paredes .....	49

5.5.3.2. Pavimentos.....	51
5.5.3.3. Portas, Vãos Envidraçados e Proteções Solares .....	52
5.5.4. ANÁLISE RESULTADOS .....	53
5.5.4.1. Regime Dinâmico .....	53
5.5.4.2. Conforto Térmico.....	58
5.5.4.3. SCE Vs. Regime Dinâmico .....	62
5.5.5. SÍNTESE DO SUBCAPÍTULO .....	64
<b>5.6. SÍNTESE DO CAPÍTULO.....</b>	<b>65</b>

## **6. TRANSPOSIÇÃO DA DIRETIVA (UE) 2018/844 PARA PORTUGAL .....**

**67**

<b>6.1. ESTRATÉGIA A LONGO PRAZO PARA A RENOVAÇÃO DOS EDIFÍCIOS – CONTRIBUTO ADENE .....</b>	<b>67</b>
<b>6.2. PONTO SITUAÇÃO DA TRANSPOSIÇÃO DIRETIVA (UE) 2018/844 .....</b>	<b>69</b>
<b>6.3. REGIME DINÂMICO - PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO DINÂMICA .....</b>	<b>69</b>
6.3.1. POTENCIALIDADES .....	70
6.3.2. LIMITAÇÕES .....	71
<b>6.4. CONSIDERAÇÕES PARA A TRANSPOSIÇÃO DIRETIVA (UE) 2018/844.....</b>	<b>71</b>
<b>6.5. SÍNTESE DO CAPÍTULO.....</b>	<b>72</b>

## **7. CONCLUSÕES .....**

**73**

7.1. PRINCIPAIS CONCLUSÕES .....	73
7.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	75

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

**81**

<b>ANEXO A1. LEGISLAÇÃO EM VIGOR E SUAS ATUALIZAÇÕES E RETIFICAÇÕES.....</b>	<b>81</b>
<b>ANEXO A2. CARACTERIZAÇÃO DETALHADA DAS PROPRIEDADES DOS MATERIAIS UTILIZADO NOS CASO ESTUDO .....</b>	<b>87</b>
<b>ANEXO A3. GRÁFICOS DA APLICAÇÃO DO MODELO DE CONFORTO TÉRMICO ADAPTATIVO DA EN 15251 .....</b>	<b>99</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 - Identificação do nível ótimo de rentabilidade dos requisitos mínimos (adaptado de Almeida e Ferreira, 2015).....	7
Fig. 2.2 - Diferença média entre os requisitos mínimo de desempenho energético e os níveis ótimos de rentabilidade: edifícios novos (adaptado de European Commission, 2016).....	8
Fig. 3.1 - Evolução Legislativa em Portugal (adaptado de Freitas, 2014) .....	11
Fig. 3.2 - Legislação em Vigor (adaptado de Freitas, 2014).....	12
Fig. 3.3 - Exemplo Certificado Energético (ADENE, 2019a).....	13
Fig. 3.4 - Zonas Climáticas de inverno (a) e de verão (b) em Portugal Continental (Despacho n.º15793-F/2013, 2013).....	15
Fig. 3.5 - Energia Renováveis .....	16
Fig. 4.1 - Distribuição do consumo de energia final por setor, em 2017, na EU-28 (adaptado de EUROSTAT, 2019).....	17
Fig. 4.2 - Distribuição do consumo de energia em Portugal por setor (à esquerda) e por fonte energética no setor doméstico (à direita), em 2016 (adaptado de ADENE, 2018).....	18
Fig. 4.3 - Distribuição do consumo de energia em Portugal por tipo de utilização no setor doméstico, em 2010 (adaptado de INE/DGEG, 2011) .....	19
Fig. 4.4 - Número de habitações que utilizam sistemas de aquecimento por tipo de equipamento, em 2010 (adaptado de INE/DGEG 2011) .....	20
Fig. 4.5 - Número de habitações que utilizam sistemas de arrefecimento por tipo de equipamento, em 2010 (adaptado de INE/DGEG 2011) .....	20
Fig. 4.6 - Número de habitações que utilizam sistemas de preparação de AQS por tipo de equipamento, em 2010 (adaptado de INE/DGEG 2011) .....	21
Fig. 4.7 - Quadrantes do indicador LIHC (adaptado de Moreira, 2018).....	22
Fig. 4.8 - Comparação dos salários mínimos em PPS com o preço da eletricidade e do gás .....	23
Fig. 4.9 - Aplicação do indicador LIHC (Hills 2011) aos países europeus (Barbosa, 2020).....	23
Fig. 4.10 - Indicadores de Pobreza Energética para a Europa em 2010 (adaptado de Bouzarovski, 2014) .....	24
Fig. 4.11 – Oportunidade adaptativa para conforto térmico (Curado, 2014) .....	25
Fig. 4.12 - Modelo de conforto adaptativo da EN 15251 para o verão (sem climatização); modelo aplicável para o inverno (com aquecimento) (adaptado de EN 15251, 2007).....	27
Fig. 5.1 – Geometria Edifícios: Caso Estudo 1 (a); Caso Estudo 2 (b).....	29
Fig. 5.2 - Temperatura e humidade relativa do ar exterior registado na estação meteorológica da FEUP utilizado no programa de simulação (WUFI®PlusV3.0.3.0, 2020).....	30
Fig. 5.3 - Soma da radiação solar por orientação e inclinação registada na estação meteorológica da FEUP utilizado no programa de simulação (WUFI®PlusV3.0.3.0, 2020).....	31
Fig. 5.4 -Envolvente térmica da fração do caso estudo 1 .....	33

Fig. 5.5 - Ganhos e Perdas energéticas ,em kWh/ano, na estação de aquecimento (a) e na estação de arrefecimento (b) na zona de simulação 1ZS1, para o cenário de utilização 1CU1 .....	37
Fig. 5.6 - Ganhos e Perdas energéticas ,em kWh/ano, na estação de aquecimento (a) e na estação de arrefecimento (b) na zona de simulação 1ZS2, para o cenário de utilização 1CU1 .....	37
Fig. 5.7 - Ganhos e Perdas energéticas ,em kWh/ano, na estação de aquecimento (a) e na estação de arrefecimento (b) na zona de simulação 1ZS3, para o cenário de utilização 1CU1 .....	37
Fig. 5.8 - Ganhos e Perdas energéticas ,em kWh/ano, na estação de aquecimento (a) e na estação de arrefecimento (b) na zona de simulação 1ZS4, para o cenário de utilização 1CU1 .....	38
Fig. 5.9 - Ganhos e Perdas energéticas ,em kWh/ano, na estação de aquecimento (a) e na estação de arrefecimento (b) na zona de simulação 1ZS5, para o cenário de utilização 1CU1 .....	38
Fig. 5.10 - Ganhos e Perdas energéticas globais da fração ,em kWh/m <sup>2</sup> -ano, na estação de aquecimento (esquerda) e na estação de arrefecimento (direita) para o cenário de utilização 1CU1 (esquema adaptado de ADENE, 2019a) .....	39
Fig. 5.11 - Energia mensal necessária para aquecimento e arrefecimento (por metros quadrado de pavimento) para o cenário de utilização 1CU1 .....	39
Fig. 5.12 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado à 1ZS1 do caso estudo 1, considerando a temperatura interior em regime de flutuação livre .....	41
Fig. 5.13 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado à 1ZS1 do caso estudo 1, considerando a temperatura interior resultante de aquecimento contínuo na base dos 18°C .....	43
Fig. 5.14 - Impacto de diferentes tempos de aquecimento sobre as necessidades energéticas do caso estudo 1 .....	45
Fig. 5.15 - Variação da potência do sistema de aquecimento para os diferentes tempos de aquecimento, na 1ZS2, do caso estudo 1 .....	46
Fig. 5.16 - Envolvente térmica da fração do caso estudo 2 .....	48
Fig. 5.17 - Ganhos e Perdas energéticas ,em kWh/ano, na estação de aquecimento (a) e na estação de arrefecimento (b) na zona de simulação 2ZS1, para o cenário de utilização 2CU1 .....	53
Fig. 5.18 - Ganhos e Perdas energéticas ,em kWh/ano, na estação de aquecimento (a) e na estação de arrefecimento (b) na zona de simulação 2ZS2, para o cenário de utilização 2CU1 .....	54
Fig. 5.19 - Ganhos e Perdas energéticas ,em kWh/ano, na estação de aquecimento (a) e na estação de arrefecimento (b) na zona de simulação 2ZS3, para o cenário de utilização 2CU1 .....	54
Fig. 5.20 - Ganhos e Perdas energéticas ,em kWh/ano, na estação de aquecimento (a) e na estação de arrefecimento (b) na zona de simulação 2ZS4, para o cenário de utilização 2CU1 .....	55
Fig. 5.21 - Ganhos e Perdas energéticas ,em kWh/ano, na estação de aquecimento (a) e na estação de arrefecimento (b) na zona de simulação 2ZS5, para o cenário de utilização 2CU1 .....	55
Fig. 5.22 - Ganhos e Perdas energéticas ,em kWh/ano, na estação de arrefecimento para a zona de simulação 2ZS6, no cenário de utilização 2CU1 .....	55
Fig. 5.23 - Ganhos e Perdas energéticas ,em kWh/ano, na estação de aquecimento (a) e na estação de arrefecimento (b) na zona de simulação 2ZS7, para o cenário de utilização 2CU1 .....	56

Fig. 5.24 - Ganhos e Perdas energéticas ,em kWh/ano, na estação de aquecimento (a) e na estação de arrefecimento (b) na zona de simulação 2ZS8, para o cenário de utilização 2CU1.....	56
Fig. 5.25 - Ganhos e Perdas energéticas globais da fração ,em kWh/m <sup>2</sup> .ano, na estação de aquecimento (esquerda) e na estação de arrefecimento (direita) para o cenário de utilização 2CU1 (esquema adaptado de ADENE, 2019a).....	57
Fig. 5.26 - Energia mensal necessária para aquecimento e arrefecimento (por metros quadrado de pavimento) para o cenário de utilização 2CU1 .....	57
Fig. 5.27 - Temperatura do ar interior [°C], na zona de simulação 2ZS3, ao longo do período simulado .....	58
Fig. 5.28 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado à 2ZS5 do caso estudo 2, considerando a temperatura interior em regime de flutuação livre.....	59
Fig. 5.29 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado à 2ZS5 do caso estudo 2, considerando a temperatura interior resultante de aquecimento contínuo na base dos 18°C .....	61
Fig. 5.30 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado à 2ZS5 do caso estudo 2, considerando a temperatura interior resultante de aquecimento contínuo na base dos 20°C .....	62
Fig. 5.31 - Impacto de diferentes tempos de aquecimento sobre as necessidades energéticas do caso estudo 2.....	63
Fig. 5.32 - Variação da potência do sistema de aquecimento para os diferentes tempos de aquecimento, na 2ZS2, do caso estudo 2 .....	64
Fig. 6.1 - Planos de Ação (adaptado ADENE, 2020).....	67
Fig. 6.2 - Monetização dos benefícios referentes à reabilitação (ADENE, 2020).....	68
Fig. 6.3 – Fluxograma modelo WUFI® Plus (adaptado IBP, 2009) .....	70
Fig. A3.1 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS1 do caso estudo 1 (1CU1).....	100
Fig. A3.2 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS2 do caso estudo 1 (1CU1).....	100
Fig. A3.3 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS3 do caso estudo 1 (1CU1).....	100
Fig. A3.4 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS4 do caso estudo 1 (1CU1).....	100
Fig. A3.5 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS5 do caso estudo 1 (1CU1).....	100
Fig. A3.6 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS1 do caso estudo 1 (1CU2).....	101
Fig. A3.7 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS2 do caso estudo 1 (1CU2).....	101
Fig. A3.8 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS3 do caso estudo 1 (1CU2).....	101
Fig. A3.9 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS4 do caso estudo 1 (1CU2).....	101
Fig. A3.10 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS5 do caso estudo 1 (1CU2).....	101
Fig. A3.11 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS1 do caso estudo 1 (1CU3).....	102
Fig. A3.12 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS2 do caso estudo 1 (1CU3).....	102
Fig. A3.13 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS3 do caso estudo 1 (1CU3).....	102
Fig. A3.14 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS4 do caso estudo 1 (1CU3).....	102

Fig. A3.15 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS5 do caso estudo 1 (1CU3) .....	102
Fig. A3.16 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS1 do caso estudo 1 (1CU4) .....	103
Fig. A3.17 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS2 do caso estudo 1 (1CU4) .....	103
Fig. A3.18 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS3 do caso estudo 1 (1CU4) .....	103
Fig. A3.19 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS4 do caso estudo 1 (1CU4) .....	103
Fig. A3.20 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS5 do caso estudo 1 (1CU4) .....	103
Fig. A3.21 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS1 do caso estudo 1 (1CU5) .....	104
Fig. A3.22 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS2 do caso estudo 1 (1CU5) .....	104
Fig. A3.23 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS3 do caso estudo 1 (1CU5) .....	104
Fig. A3.24 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS4 do caso estudo 1 (1CU5) .....	104
Fig. A3.25 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS5 do caso estudo 1 (1CU5) .....	104
Fig. A3.26 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS1 do caso estudo 1 (1CU6) .....	105
Fig. A3.27 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS2 do caso estudo 1 (1CU6) .....	105
Fig. A3.28 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS3 do caso estudo 1 (1CU6) .....	105
Fig. A3.29 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS4 do caso estudo 1 (1CU6) .....	105
Fig. A3.30 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS5 do caso estudo 1 (1CU6) .....	105
Fig. A3.31 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS1 do caso estudo 2 (2CU1) .....	106
Fig. A3.32 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS2 do caso estudo 2 (2CU1) .....	106
Fig. A3.33 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS3 do caso estudo 2 (2CU1) .....	106
Fig. A3.34 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS4 do caso estudo 2 (2CU1) .....	106
Fig. A3.35 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS5 do caso estudo 2 (2CU1) .....	106
Fig. A3.36 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS6 do caso estudo 2 (2CU1) .....	106
Fig. A3.37 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS7 do caso estudo 2 (2CU1) .....	107
Fig. A3.38 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS8 do caso estudo 2 (2CU1) .....	107
Fig. A3.39 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS1 do caso estudo 2 (2CU2) .....	107
Fig. A3.40 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS2 do caso estudo 2 (2CU2) .....	107
Fig. A3.41 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS3 do caso estudo 2 (2CU2) .....	107
Fig. A3.42 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS4 do caso estudo 2 (2CU2) .....	107
Fig. A3.43 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS5 do caso estudo 2 (2CU2) .....	108
Fig. A3.44 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS6 do caso estudo 2 (2CU2) .....	108
Fig. A3.45 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS7 do caso estudo 2 (2CU2) .....	108
Fig. A3.46 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS8 do caso estudo 2 (2CU2) .....	108
Fig. A3.47 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS1 do caso estudo 2 (2CU3) .....	108

Fig. A3.48 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS2 do caso estudo 2 (2CU3).....	108
Fig. A3.49 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS3 do caso estudo 2 (2CU3).....	109
Fig. A3.50 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS4 do caso estudo 2 (2CU3).....	109
Fig. A3.51 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS5 do caso estudo 2 (2CU3).....	109
Fig. A3.52 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS6 do caso estudo 2 (2CU3).....	109
Fig. A3.53 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS7 do caso estudo 2 (2CU3).....	109
Fig. A3.54 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS8 do caso estudo 2 (2CU3).....	109
Fig. A3.55 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS1 do caso estudo 2 (2CU4).....	110
Fig. A3.56 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS2 do caso estudo 2 (2CU4).....	110
Fig. A3.57 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS3 do caso estudo 2 (2CU4).....	110
Fig. A3.58 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS4 do caso estudo 2 (2CU4).....	110
Fig. A3.59 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS5 do caso estudo 2 (2CU4).....	110
Fig. A3.60 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS6 do caso estudo 2 (2CU4).....	110
Fig. A3.61 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS7 do caso estudo 2 (2CU4).....	111
Fig. A3.62 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS8 do caso estudo 2 (2CU4).....	111
Fig. A3.63 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS1 do caso estudo 2 (2CU5).....	111
Fig. A3.64 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS2 do caso estudo 2 (2CU5).....	111
Fig. A3.65 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS3 do caso estudo 2 (2CU5).....	111
Fig. A3.66 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS4 do caso estudo 2 (2CU5).....	111
Fig. A3.67 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS5 do caso estudo 2 (2CU5).....	112
Fig. A3.68 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS6 do caso estudo 2 (2CU5).....	112
Fig. A3.69 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS7 do caso estudo 2 (2CU5).....	112
Fig. A3.70 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS8 do caso estudo 2 (2CU5).....	112
Fig. A3.71 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS1 do caso estudo 2 (2CU6).....	112
Fig. A3.72 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS2 do caso estudo 2 (2CU6).....	112
Fig. A3.73 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS3 do caso estudo 2 (2CU6).....	113
Fig. A3.74 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS4 do caso estudo 2 (2CU6).....	113
Fig. A3.75 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS5 do caso estudo 2 (2CU6).....	113
Fig. A3.76 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS6 do caso estudo 2 (2CU6).....	113
Fig. A3.77 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS7 do caso estudo 2 (2CU6).....	113
Fig. A3.78 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS8 do caso estudo 2 (2CU6).....	113
Fig. A3.79 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS1 do caso estudo 2 (2CU7).....	114
Fig. A3.80 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS2 do caso estudo 2 (2CU7).....	114

Fig. A3.81 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS3 do caso estudo 2 (2CU7) .....	114
Fig. A3.82 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS4 do caso estudo 2 (2CU7) .....	114
Fig. A3.83 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS5 do caso estudo 2 (2CU7) .....	114
Fig. A3.84 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS6 do caso estudo 2 (2CU7) .....	114
Fig. A3.85 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS7 do caso estudo 2 (2CU7) .....	115
Fig. A3.86 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS8 do caso estudo 2 (2CU7) .....	115

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Conceitos atualizados na Diretiva 2010/31/UE relativamente à Diretiva 2002/91/CE .....	6
Quadro 4.1 - Descrição das categorias de conforto (adaptado de EN 15251, 2007).....	25
Quadro 5.1 - Cenários de Utilização considerados nos casos estudo em função do número de horas de aquecimento e da temperatura interior .....	31
Quadro 5.2 - Geometria da fração do caso estudo 1 .....	32
Quadro 5.3 - Distribuição da potência dos sistemas técnicos pelas zonas de simulação (caso estudo 1) .....	34
Quadro 5.4- Caracterização das paredes do caso estudo 1 (desenhos à escala 1:5).....	34
Quadro 5.5 - Caracterização dos pavimentos do caso estudo 1 (desenhos à escala 1:10) .....	35
Quadro 5.6 - Caracterização dos vãos envidraçados e proteções solares do caso estudo 1 .....	36
Quadro 5.7 - Percentagem de tempo em que se encontra na categoria I, II, III ou IV (segundo EN15251) em que cada zona de simulação (ZS), no caso estudo 1, considerando a temperatura interior em regime de flutuação livre .....	40
Quadro 5.8 - Percentagem de tempo por categoria (segundo EN 15251) em que cada zona de simulação (ZS), no caso estudo 1, considerando a temperatura interior resultante de aquecimento contínuo na base dos 18°C .....	42
Quadro 5.9 - Necessidades de energia útil para aquecimento, no cálculo em regime dinâmico do caso estudo 1, nos cenários de utilização considerados.....	44
Quadro 5.10 - Geometria da fração do caso estudo 2.....	47
Quadro 5.11 - Distribuição da potência dos sistemas técnicos pelas zonas de simulação (caso estudo 2) .....	49
Quadro 5.12 - Caracterização das paredes do caso estudo 2 (desenhos à escala 1:5).....	49
Quadro 5.13 - Caracterização dos pavimentos do caso estudo 2 (desenhos à escala 1:10) .....	51
Quadro 5.14 - Caracterização dos vãos envidraçados e proteções solares do caso estudo 2.....	53
Quadro 5.15 – Percentagem de tempo em que se encontra na categoria I, II, III ou IV (segundo EN 15251) em que cada zona de simulação (ZS), no caso estudo 2, considerando a temperatura interior em regime de flutuação livre .....	58
Quadro 5.16 – Percentagem de tempo por categoria (segundo EN 15251) em que cada zona de simulação (ZS), no caso estudo 2, considerando a temperatura interior resultante de aquecimento contínuo na base dos 18°C .....	60
Quadro 5.17 - Necessidades de energia útil para aquecimento, no cálculo em regime dinâmico do caso estudo 2, nos cenários de utilização considerados.....	63
Quadro 6.1 - Metas indicativas para os Edifícios Residenciais face a 2018 (ADENE, 2020) .....	68
Quadro A1.1 - Legislação em vigor e suas atualizações e retificações (ADENE, 2019b) .....	82
Quadro A2.1 - Caracterização detalhada das paredes do caso estudo 1 (desenhos à escala 1:5) ....	88
Quadro A2.2 - Caracterização detalhada dos pavimentos do caso estudo 1 (desenhos à escala 1:5).....	90

Quadro A2.3 - Caracterização detalhada das portas do caso estudo 1 .....	91
Quadro A2.4 - Caracterização detalhada dos vãos envidraçados do caso estudo 1 .....	92
Quadro A2.5 - Caracterização detalhada das paredes do caso estudo 2 (desenhos à escala 1:5).....	92
Quadro A2.6 - Caracterização detalhada dos pavimentos do caso estudo 2 (desenhos à escala 1:10) .....	95
Quadro A2.7 - Caracterização detalhada das portas do caso estudo 2 .....	97
Quadro A2.8 - Caracterização detalhada dos vãos envidraçados do caso estudo 2 .....	97

## SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

$\psi$  – Coeficiente de transmissão térmica linear [ $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ]

€/kWh – Euros por quilowatt-hora

C – Calor específico [ $J/kg$ ]

kW – Quilowatt

kWh – Quilowatt-hora

kWh/m<sup>2</sup>·ano – Quilowatt-hora por metro quadrado por ano

m<sup>2</sup> – Metros quadrados

°C – Grau celsius

$\lambda$  – Coeficiente de condutibilidade térmica [ $W/m \cdot ^\circ C$ ]

$\rho$  – Massa volúmica [ $kg/m^3$ ]

$b_{tr}$  – Coeficiente de redução de perdas

CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono

$g_T$  – Fator solar

$N_{ic}$  – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento [ $kWh/m^2 \cdot ano$ ]

$N_{vc}$  – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento [ $kWh/m^2 \cdot ano$ ]

$Q_a$  – Necessidades de energia útil para preparação de águas quentes sanitárias [ $kWh/ano$ ]

R – Resistência térmica [ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ]

RPH – Taxa de renovação horária do ar [ $h^{-1}$ ]

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

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

$T_{mp}$  – Temperatura média exterior ponderada [ $^\circ C$ ]

$T_{oc}$  – Temperatura operativa interior [ $^\circ C$ ]

U – Coeficiente de transmissão térmica [ $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ]

$U_w$  – Coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados [ $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ]

$W_{vm}$  – Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores [ $kWh/ano$ ]

ADENE – Agência Para a Energia

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers

BPIE – Buildings Performance Institute Europe

CE – Certificado Energético

CEE – Comunidade Económica Europeia

CEN – European Committee for Standardization  
CU – Cenários de Utilização  
DGES – Direção Geral de Energia e Geologia  
EED – Energy Efficiency Directive  
ELPRE – Estratégia a Longo Prazo Para a Renovação dos Edifícios  
EN – European Standards  
EPBD – Energy Performance of Buildings Directive  
EU-28 – 28 países pertencentes à união europeia  
FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto  
GPL – Gás de Petróleo Liquefeito  
HVAC – Heating, Ventilation and Air-conditioning  
IBP – Fraunhofer Institute for Building Physics  
INE – Instituto Nacional de Estatística  
LIHC – Low Income High Costs  
LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil  
nZEB – Nearly Zero Energy Building  
PPS – Purchasing Power Standard  
PTL – Pontes Térmicas Lineares  
RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios  
RECS – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços  
REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação  
RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios  
SCE – Sistema de Certificação Energética dos Edifícios  
SHGC – Coeficiente de Ganhos Solares  
UE – União Europeia  
ZNA – Zona Não Aquecida  
ZS – Zona de Simulação

Esp. – Espessura





# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. ENQUADRAMENTO

Com a entrada formal de Portugal na Comunidade Económica Europeia (CEE), em 1986, e a adoção das diretivas e normas comunitárias adaptadas à legislação nacional conduziu a um desenvolvimento do país a nível económico e de infraestruturas (Infopédia, 2003-2020). Este crescimento económico fomentou nos cidadãos um desejo de melhores condições de conforto e salubridade, no caso particular da habitação, com o aumento da qualidade da construção. Em 1990 foi implementada a primeira base regulamentar tendo em consideração o conforto térmico pelo Decreto-Lei n.º 40/90, o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) que procurou estabelecer uma metodologia de fácil aplicação, dada a complexidade, com o objetivo de assegurar padrões mínimos recorrendo a valores padrão.

Atualmente, encontra-se em aplicação o Decreto-Lei n.º 118/2013, associado ao Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), ao Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e ao Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), tem ainda o suporte de Portarias e Despachos que têm sofrido revogações e reformulações introduzindo uma complexa estrutura regulamentar (Santos e Freitas, 2018). A regulamentação em vigor reflete a Diretiva 2010/31/UE, de 19 de maio de 2010 reformulando a Diretiva 2002/91/CE, de 16 de dezembro de 2002 tendo como objetivos a diminuição do consumo da energia e a consequente redução das emissões de CO<sub>2</sub>.

Os edifícios são responsáveis por cerca de 40% da energia total consumida na União Europeia (EU) o que resulta em aproximadamente 36% das emissões totais de CO<sub>2</sub>, dados do reexame feito pela Diretiva (UE) 2018/844, de 30 de maio de 2018 que veio traçar metas mais rigorosas para a descarbonização do parque edificado até 2050. Indica ainda, que é necessária uma renovação com uma taxa média anual de 3% para atingir os objetivos (Diretiva (UE) 2018/844, 2018). É estimado que 75% a 90% do parque imobiliário existente ainda estará em utilização até 2050. Por outro lado, 75% do total de edifícios corresponde a construção anterior a 1990 é classificada como energeticamente ineficiente, 22% corresponde a construção entre 1990 e 2010, sendo classificada como não suficientemente eficiente, só a partir de 2010 as construções são classificadas como eficientes (coeficiente de transmissão térmica mais restritivo) correspondendo apenas a 3%. Uma avaliação a 66% de área construída, mostra que 97% do stock de edificado deve ser renovado até 2050 para cumprir os objetivos (BPIE, 2017).

Em 2018, Portugal tinha uma população de 2,2 milhões (21,6%) em risco de pobreza energética (EUROSTAT, 2020b).

## **1.2. OBJETIVOS**

A presente dissertação enquadra-se numa reflexão sobre a nova regulamentação térmica em Portugal resultado da obrigatoriedade da transposição da Diretiva (UE) 2018/844, com vista no seu desenvolvimento foram definidos os seguintes objetivos:

- Dar a conhecer a evolução da regulamentação na área da térmica de edifícios a nível europeu e nacional;
- Apresentar as metas energéticas que a União Europeia (UE) definiu;
- Interpretar a aplicabilidade das diretivas europeias no contexto português;
- Descrever a metodologia da regulamentação portuguesa no âmbito da térmica de edifícios;
- Quantificar os padrões energéticos, bem como as suas implicações no conforto térmico e saúde;
- Desenvolver um estudo de comparação e sensibilidade (aplicado a edifícios habitacionais novos) que permita avaliar as diferenças entre o modelo do REH (sazonal) e um modelo dinâmico nas necessidades energéticas e ainda, tendo em conta diferentes períodos de aquecimento, avaliar o conforto térmico e as implicações nas necessidades energéticas;
- Com base no estudo de sensibilidade apresentar recomendações para a elaboração de um novo regulamento de térmica em Portugal resultante da transposição da Diretiva (UE) 2018/844.

## **1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TRABALHO**

A organização deste trabalho divide-se em 7 capítulos:

- O capítulo 1 introduz o tema, apresenta os objetivos para o seu desenvolvimento e a sua estrutura;
- O capítulo 2 apresenta a evolução de diretivas europeias importantes de serem tratadas no âmbito da térmica em edifícios. Em cada diretiva é realizada uma síntese daquelas que são as suas principais diretivas;
- No capítulo 3 é apresentada a evolução da regulamentação térmica em Portugal. Este capítulo detalha a metodologia da regulamentação térmica em vigor, expondo algumas particularidades da mesma;
- O capítulo 4 tem como objetivo uma quantificação e análise dos padrões energéticos europeus, e em particular, os padrões energéticos portugueses e a sua relação com o conforto térmico;
- No capítulo 5 é realizado um estudo de comparação e sensibilidade de uma fração de habitação social (caso estudo 1) e a uma fração de luxo (caso estudo 2). O estudo aborda a comparação de um modelo sazonal (REH) com um modelo dinâmico, a análise do conforto térmico através de metodologias existentes e ainda as implicações nas necessidades energéticas de aquecimento por consideração de períodos de aquecimento diferentes;
- O capítulo 6 centra-se na aplicação das diretivas da Diretiva (UE) 2018/844 num contexto nacional. Neste capítulo, são ainda referidas algumas recomendações para a elaboração de uma nova regulamentação térmica em Portugal;
- No capítulo 7 enumeram-se as principais conclusões do desenvolvimento do presente trabalho e são propostos desenvolvimentos futuros.

# 2

## POLÍTICA ENERGÉTICA EUROPEIA

### 2.1. ENQUADRAMENTO

As alterações climáticas são um tema sobre o qual tem recaído muitas preocupações ao longo dos últimos anos e sobre o qual os governos têm procurado implementar medidas no sentido de travar o seu agravamento. O aquecimento global, fruto dos enormes consumos de energia que se tem observado e das emissões de gases com efeito de estufa levaram, no caso particular, a União Europeia a elaborar diretivas comunitárias. Estas definem metas, cada vez mais rígidas, no sentido de cumprir os objetivos de descarbonização. É importante perceber a contribuição da eficiência energética na sociedade atual, onde o parque imobiliário assume uma grande percentagem da energia consumida.

As preocupações em matéria de clima e energia da União Europeia conduzem a co-benefícios de desempenho térmico nos edifícios, nomeadamente no conforto e saúde da população. Aspectos que não são menos importantes e que também são tidos em conta no pacote de medidas que as diretivas apresentam.

Não obstante aos esforços aplicados, para o cumprimento dos objetivos, são fundamentais as análises de viabilidade económica para que não seja exigido um esforço em demasia que possa comprometer os resultados. Esta visão tem ganho mais importância devido à frágil situação económica que se sente no presente, que foi desencadeada pela recente recessão económica mundial.

### 2.2. DIRETIVAS EUROPEIAS: EPBD E EED

#### 2.2.1. DIRETIVA 2002/91/CE

A 16 de dezembro de 2002, foi aprovado pelo Parlamento Europeu e Conselho a Diretiva 2002/91/CE relativa ao desempenho energético dos edifícios, vulgo EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*), resultado das conclusões de 30 de maio e 5 de dezembro de 2000, onde o Conselho aprovou o plano de ação da Comissão para a eficiência energética e pediu medidas específicas para o setor dos edifícios. É apontado que o setor residencial e terciário é responsável por mais de 40% do consumo final de energia da Comunidade e que este é um valor com uma tendência crescente.

Assim, a diretiva veio implementar uma forma clara de classificação do desempenho energético dos edifícios através de uma metodologia base e admitindo um indicador de emissão de CO<sub>2</sub>. Os Estados-Membros tem a flexibilidade de adaptar a metodologia à legislação nacional, tendo em consideração as condições climáticas e locais o mais tardar em 4 de janeiro de 2006. O desempenho energético tem em consideração diferentes categorias de edifícios, consoante o tipo de utilização para os quais estes foram projetados. O cálculo do desempenho energético, para além de ter em conta a solução construtiva da

envolvente, isto é, o efeito do isolamento térmico na solução, tem ainda outras características com influência crescente em edifícios, tais como:

- Instalações de aquecimento e preparação de águas quentes sanitárias;
- Instalações de ar condicionado;
- Posição e orientação das fachadas;
- Sistemas passivos para proteção solar;
- Ventilação;
- Instalações de iluminação.

A metodologia de cálculo, deve ter em conta, quando aplicada, a influência positiva de sistemas de energia renovável, sistemas de co-geração e aproveitamento da iluminação natural.

A diretiva, estabelece não só a divisão entre diferentes categorias, como a distinção entre edifícios novos e edifícios existentes. Estabelece ainda a obrigatoriedade do cumprimento de requisitos mínimos em matéria de desempenho energético definidos pelos respetivos Estados-Membros e a revisão dos seus valores num intervalo regular que não pode exceder 5 anos. Por outro lado, os requisitos podem não ser aplicados desde que verifiquem as seguintes condições (Diretiva 2002/91/CE, 2002):

- edifícios e monumentos oficialmente protegidos como parte de determinado ambiente ou devido ao seu valor arquitetónico ou histórico especial, quando o cumprimento dos requisitos altere de forma inaceitável o seu carácter ou aspecto;
- edifícios utilizados como locais de culto ou para atividades religiosas;
- edifícios temporários, com um período previsto de utilização máximo de dois anos, instalações industriais, oficinas e edifícios agrícolas não residenciais com necessidade reduzida de energia e edifícios agrícolas não residenciais utilizados por um setor abrangido por um acordo setorial nacional sobre desempenho energético;
- edifícios residenciais destinados a serem utilizados durante menos de 4 meses por ano;
- edifícios autónomos com uma área útil total inferior a 50 m<sup>2</sup>.

Quanto aos edifícios existentes, estes apenas têm o carácter de obrigatoriedade no cumprimento dos requisitos estabelecidos aquando da realização de obras de renovação acima de uma dada dimensão, que foi definida como sendo superior a 1000 m<sup>2</sup> de área útil total. Verificando que o custo total da renovação relacionada com a envolvente do edifícios e/ou instalações de energia, como o aquecimento, o fornecimento de água quente, o ar condicionado, a ventilação e a iluminação é superior a 25% do valor do edifício, excluindo o valor do terreno em que este está situado, ou em que é renovada mais de 25% da envolvente do edifício. No entanto, os requisitos não deverão introduzir quaisquer incompatibilidades com a função pretendida e deverá ser possível recuperar os custos inerentes a essa renovação (custos suplementares para que sejam verificados os requisitos mínimos) dentro de um prazo razoável em relação à vida técnica esperada do investimento com as correspondentes economias de energia. De salientar, que em edifícios novos com uma área útil total superior a 1000 m<sup>2</sup>, deve ser estudada e tomada em consideração, na fase de projeto, a utilização de soluções alternativas com viabilidade técnico-económica.

Como forma de fornecimento de informação do desempenho energético, a presente diretiva encarrega os Estados-Membros de assegurarem o fornecimento de um certificado, do qual devem constar valores de referência para que os consumidores possam fazer a comparação do edifício em causa e ainda possíveis medidas de melhoria do desempenho energético sob condições de rentabilidade económica. O certificado de desempenho energético deve ser fornecido aquando da construção, da venda ou do arrendamento de um edifício, tendo uma validade legal não superior a 10 anos.

De forma a assegurar a redução do consumo de energia e consequentemente as emissões de CO<sub>2</sub>, os Estados-Membros devem estabelecer medidas necessárias para a inspeção regular das caldeiras alimentadas por combustíveis não renováveis com uma potência nominal útil superior a 20 kW e a todo o sistema de aquecimento quando as caldeiras tenham mais de 15 anos. De forma análoga, devem ser estabelecidas medidas para a inspeção a sistemas de ar condicionado com potência nominal útil superior a 12 kW.

Ao abrigo do Artigo 10.º, cabe aos Estados-Membros assegurarem que a certificação de desempenho energético e as propostas de melhoria que apresenta, assim como a inspeção das caldeiras e sistemas de ar condicionado sejam efetuadas por peritos qualificados e/ou acreditados.

### 2.2.2. DIRETIVA 2010/31/UE

A 19 de maio de 2010, foi aprovado pelo Parlamento Europeu e Conselho a Diretiva 2010/31/UE (EPBD) relativa ao desempenho energético dos edifícios, reformulando a Diretiva 2002/91/CE com objetivo de reforçar no que diz respeito à redução da dependência energética da União Europeia, redução do consumo de energia nomeadamente com a contribuição da utilização de energia proveniente de fontes renováveis, e por conseguinte a redução das emissões dos gases com efeito de estufa. Foram definidas novas metas no sentido de cumprir o Protocolo de Quioto da Convenção-Quatro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (Diretiva 2010/31/UE, 2010), por parte da União, de manter abaixo dos 2 °C a subida de temperatura global. As metas (UE-20-20-20) incidem sobre a redução até 2020 em pelo menos 20% das emissões de gases com efeito de estufa, 20% do consumo de energia face a 1990 e ainda da utilização de uma quota de 20% de energia provenientes de fontes renováveis no consumo de energia total (Santos, 2018).

Introduz também objetivos relacionados com o conceito de *Nearly Zero Energy Building* (nZEB) aplicado ao parque imobiliário. Segundo a Diretiva 2010/31/UE (2010), nZEB é definido como edifício onde “as necessidades de energia quase nulas ou muito pequenas deverão ser cobertas em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis, incluindo energia proveniente de fontes renováveis produzida no local ou nas proximidades”. De seguida são apresentadas, de forma resumida, as principais medidas apresentadas relativamente ao conceito nZEB:

- Os Estados-Membros devem elaborar planos nacionais para aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia (nZEB), no sentido de introduzirem melhorias aquém dos requisitos mínimos;
- Nos planos nacionais deve constar um indicador numérico da utilização de energia primária, expressa em kWh/m<sup>2</sup>·ano;
- Até 31 de dezembro de 2012, e à posteriori de três em três anos, a publicação de um relatório sobre os progressos dos edifícios nZEB pela Comissão, caso seja necessário, elaborar um plano de ação com propostas de medidas de incentivo a melhores práticas;
- Após 31 de dezembro de 2018, os edifícios novos no domínio de autoridades públicas devem ser edifícios nZEB;
- Até 31 de dezembro de 2020, todos os novos edifícios devem ser nZEB, ou seja, é acrescentado ao ponto anterior os edifícios novos de domínio privado;
- Os Estados-Membros podem não aplicar o conceito nZEB a edifícios novos para o caso em que a análise de custos-benefícios tenha um resultado negativo ou outros casos particulares quando devidamente justificado.

A presente Diretiva veio esclarecer que na metodologia de cálculo utilizada para determinar o desempenho energético de um edifício, o intervalo temporal considerado no processo deveria abranger o edifício ao longo de todo o ano e não apenas durante a estação de aquecimento em causa. Veio ainda atualizar alguns conceitos relevantes, tais como os apresentados na Quadro 2.1.

Quadro 2.1 - Conceitos atualizados na Diretiva 2010/31/UE relativamente à Diretiva 2002/91/CE

Diretiva 2002/91/CE	Diretiva 2010/31/UE
As grandes obras de renovação de edifícios existentes acima de uma determinada dimensão devem ser consideradas uma oportunidade para tomar medidas economicamente rentáveis de melhoria do desempenho energético	As grandes renovações de edifícios existentes, independentemente da sua dimensão, constituem uma oportunidade para tomar medidas rentáveis para melhorar o desempenho energético
Não aplicação dos requisitos mínimos: Edifícios residenciais destinados a serem utilizados durante menos de 4 meses por ano	Não aplicação dos requisitos mínimos: Edifícios residenciais utilizados ou destinados a ser utilizados quer durante menos de 4 meses por ano quer por um período anual limitado e com um consumo de energia previsto de menos de 25 % do que seria previsível em caso de utilização durante todo o ano
Afixação dos certificados de desempenho energético para os edifícios com uma área útil total superior a 1000 m <sup>2</sup> ocupados por autoridades públicas e por instituições que prestem serviços públicos a um grande número de pessoas e sejam por isso frequentemente visitados por essas pessoas	Afixação dos certificados de desempenho energético para os edifícios com uma área útil total ocupada por autoridades públicas superior a 500 m <sup>2</sup> e frequentemente visitada pelo público. Sendo que este limiar de 500 m <sup>2</sup> é reduzido para 250 m <sup>2</sup> , 9 de julho de 2015
Em edifícios novos com uma área útil total superior a 1000 m <sup>2</sup> , deve ser estudada e tomada em consideração, na fase de projeto, a utilização de soluções alternativas com viabilidade técnico-económica	Deverão ser tidos em conta sistemas alternativos de fornecimento de energia para os novos edifícios, independentemente da sua dimensão, em conformidade com o princípio de garantir antes de mais que as necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento sejam reduzidas aos níveis ótimos de rentabilidade

Por outro lado, foram introduzidas novas medidas das quais se destaca:

- Os proprietários e inquilinos de edifícios comerciais deverão ser incentivados a trocar informações sobre o consumo de energia real com a entidade responsável pela emissão do certificado de desempenho energético, a fim de garantir que estejam disponíveis dados para a tomada de decisões informadas sobre medidas de melhoria;
- Para edifícios que sejam colocados à venda ou em arrendamento em anúncios publicados nos meios de comunicação comercial, é exigida a apresentação do indicador de desempenho energético;
- Cabe aos Estados-Membros incentivarem a introdução de sistemas de contagem inteligentes para os edifícios novos ou sujeitos a grandes renovações, se for caso disso,

incentivos à instalação de sistemas de automatização, controlo e monitorização destinados à poupança de energia;

- Os Estados-Membros estabelecem o regime de sanções aplicáveis à violação das disposições nacionais.

A Comissão estabeleceu um quadro com o objetivo de utilizar uma metodologia comparativa no cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético, representados na Figura 2.1, e os requisitos mínimos de desempenho energético em vigor. Para a obtenção dos valores do quadro devem constar padrões de utilização, condições climáticas exteriores, custos de investimento, custos de manutenção e funcionamento (incluindo poupanças de energia), categoria do edifício e quando aplicável, as receitas de energia produzida e custos de remoção.

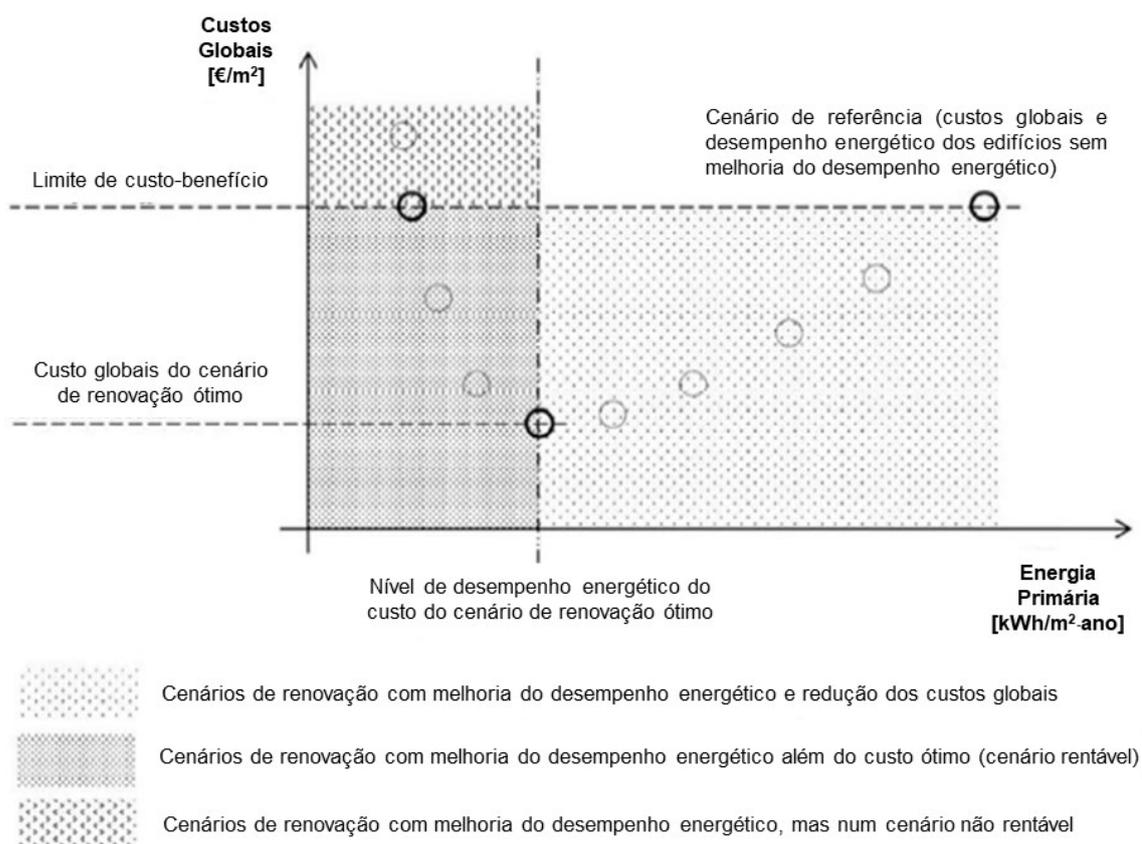


Fig. 2.1 - Identificação do nível ótimo de rentabilidade dos requisitos mínimos (adaptado de Almeida e Ferreira, 2015)

Os Estados-Membros devem utilizar o quadro, como mostra a Figura 2.2 para o caso de edifícios novos, comparando os resultados dos requisitos mínimos de desempenho energético por eles estabelecidos com restantes países da União Europeia. No caso de haver discrepância superiores a 15% em relação à média, essas devem ser justificadas e devem constar medidas de melhoria para que seja atingido o limite.

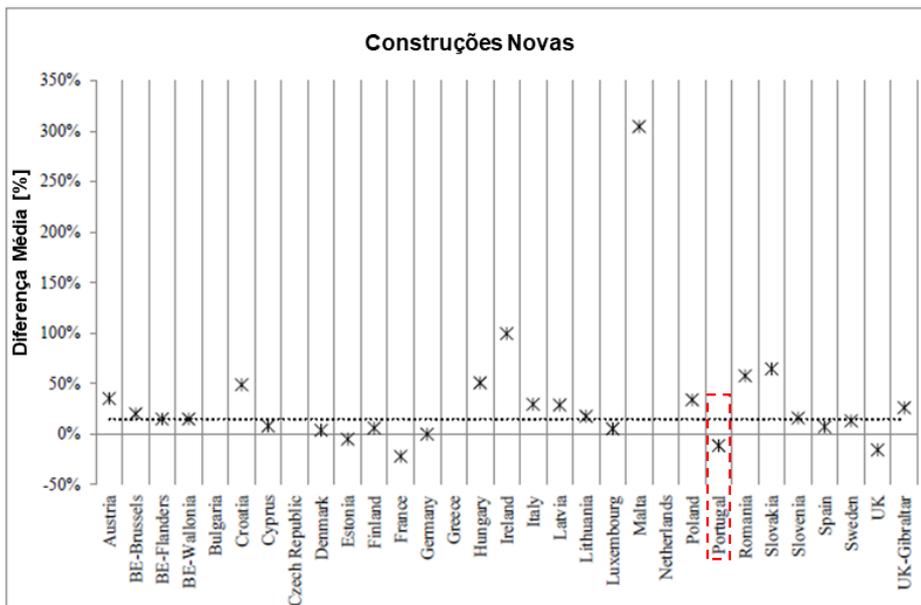


Fig. 2.2 - Diferença média entre os requisitos mínimo de desempenho energético e os níveis ótimos de rentabilidade: edifícios novos (adaptado de European Commission, 2016)

Devido às medidas terem diferentes datas de aplicação, a transposição da Diretiva para a legislação dos respetivos Estados-Membros ocorrerá de forma faseada sendo a primeira data limite referente a 9 de julho de 2012 e a última a 31 de dezembro de 2015.

### 2.2.3. DIRETIVA 2012/27/UE

A 25 de outubro de 2012, foi aprovado pelo Parlamento Europeu e Conselho a Diretiva 2012/27/EU (2012) relativa à eficiência energética, alterando as Diretivas 2009/125/CE e 2010/30/UE e revogando as Diretivas 2004/8/CE e 2006/32/CE. A fim de cumprir o objetivo da União em atingir a redução em pelo menos 20% em matéria de eficiência energética até 2020, a presente Diretiva estabelece medidas no que diz respeito à promoção da eficiência energética. Aos Estados-Membros cabe transpor as medidas comuns da Diretiva à legislação nacional o mais tardar a 5 de junho de 2014.

É exigido aos Estados-Membros que seja dada prioridade aos edifícios detidos ou ocupados por entidades públicas que tenham uma maior potencialidade de melhoria de desempenho energético para a sua renovação para a aplicação de medidas de eficiência energética, desde que economicamente e tecnicamente viáveis, contribuindo para uma mais eficiente aplicação das medidas. Fazendo referência ao Artigo 7.º da Diretiva 2010/31/UE, vem impor, a partir de 1 de janeiro de 2014, limites mínimos para a taxa de renovação de edifícios aquecidos e/ou arrefecidos detidos e ocupados pelas respetivas administrações centrais a fim de cumprirem com os requisitos mínimos de desempenho energético, assegurando uma taxa de renovação anual de 3%. Aos Estados-Membros é permitida uma flexibilização do cumprimento anual, uma vez que se for renovado mais de 3% da área total dos edifícios da administração central, a diferença da percentagem acrescida pode ser contabilizada em um dos três anos precedentes ou subsequentes. Caso o cumprimento da taxa de renovação seja exigido pelos Estados-Membros também aos níveis inferiores ao da administração central, é definido que a taxa seja calculada sobre edifícios com uma área útil total superior a 500 m<sup>2</sup> e, a partir de 9 de julho de 2015 com uma área útil total superior a 250 m<sup>2</sup>.

### 2.3. DIRETIVA (UE) 2018/844

A 30 de maio de 2018, foi aprovado pelo Parlamento Europeu e Conselho a Diretiva (UE) 2018/844 (EPBD) relativa ao desempenho energético dos edifícios, que faz alterações relativamente às Diretivas 2010/31/UE e 2012/27/EU e que deve ser transposta à legislação nacional dos Estados-Membros até 10 de março de 2020. Após um reexame, o Conselho Europeu conclui que são necessárias alterações que reforcem as disposições impostas pela Diretiva 2010/31/UE.

Com vista na descarbonização do parque imobiliário e independência energética da União, foram estabelecidas novas metas comunitárias a curto (2030), a médio (2040) e a longo prazo (2050). Os objetivos são uma redução, em pelo menos, 40% na emissão dos gases com efeito de estufa até 2030 e entre 80 e 95% até 2050 (face aos valores de 1990).

A presente Diretiva procura acelerar a renovação do parque imobiliário, garantido que as melhorias no desempenho térmico dos edifícios proporcionem uma melhoria nos níveis de conforto e saúde dos seus ocupantes, não colocando essas melhorias em risco o desempenho face aos incêndios e sismos e procurando integrar sistemas relativamente à mobilidade do futuro. Assim, destaca-se as alterações das seguintes medidas (Diretiva (UE) 2018/844, 2018):

- Aumentar a implementação de soluções “verdes” baseadas na natureza (por exemplo, coberturas verdes);
- Aplicação das medidas de melhoria tanto na envolvente como nos sistemas técnicos pertinentes;
- Introdução de sistemas de monitorização e automatização, se aplicável;
- Introdução de regulação da temperatura em compartimentações separadas, através de sistemas autorreguladores;
- Instalação de pontos de carregamento e/ou infraestruturas de condutas para futuras instalação dos pontos de carregamento, dependendo da categoria dos edifícios e da dimensão dos parques de estacionamento dos mesmos;
- O limiar para inspeções a sistemas de aquecimento, ar condicionado e sistemas combinados (aquecimento/ventilação e ar condicionado/ventilação) passa para sistemas com potência nominal útil superior a 70 kW;
- Estabelecimento de um regime comum voluntário para a classificação do grau de aptidão dos edifícios para tecnologias inteligentes, com a definição de um método de cálculo e um respetivo indicador.

### 2.4. SÍNTESE DO CAPÍTULO

No âmbito da presente dissertação é importante fazer uma revisão das Diretivas Europeias que estão associadas e o seu âmbito de aplicação, bem como uma caracterização da Diretiva (UE) 2018/844.

Assim, no que se refere à matéria de térmica em edifícios a primeira Diretiva, conhecida como EPBD, foi a Diretiva 2002/91/CE que introduz requisitos mínimos quer para a envolvente quer para os sistemas, implementando ainda uma metodologia para classificação do desempenho energético.

Em 2010, a Diretiva 2010/31/UE veio reformular a EPBD com o sentido de cumprir com os objetivos e também dos dados da revisão à anterior Diretiva, veio introduzir requisito mais limitativos e índices comparativos. Há também uma maior preocupação com a renovação do edificado e a procura do aumento de edifícios nZEB.

Para atingir metas importantes traçadas pela União Europeia (UE) relativamente aos consumos de energia e emissão de gases com efeito de estufa, a Diretiva 2012/27/UE, também conhecida como EED (*Energy Efficiency Directive*), veio salientar o importante papel da renovação do parque imobiliário e as suas características inerentes para o cumprimento das metas.

Em 2018 surge a Diretiva (UE) 2018/844 que altera a Diretiva 2010/31/UE e a 2012/27/UE, com a preocupação de definir uma estratégia a longo prazo para reduzir o consumo de energia e consequentemente as emissões de gases com efeito de estufa e de preparar os edifícios para a evolução tecnológica, para tal introduz novos requisitos nesse sentido, criação de indicadores do grau de aptidão dos edifícios para tecnologias inteligentes e de destacar ainda a indicação de uma adaptação da metodologia para classificação do desempenho energético a um regime dinâmico.

# 3.

## QUADRO REGULAMENTAR PORTUGUÊS

### 3.1. EVOLUÇÃO DA REGULAMENTAÇÃO EM PORTUGAL

Em Portugal, em termos de matéria de comportamento térmico e eficiência de edifícios, foi dado em 1990 o primeiro passo no que respeita à legislação com essas preocupações. Desde então o quadro regulamentar português tem estado em constante alteração e reformulação, devido tanto à transposição das Diretivas Europeias, nomeadamente a Diretiva 2002/91/CE e 2010/31/UE, como pelas preocupações de adoção de metodologias mais eficazes e que procurem refletir o real comportamento. Na Figura 3.1, encontra-se uma síntese da evolução da principal regulamentação nacional e o âmbito da sua aplicação. Toda a evolução regulamentar e respetivas alterações e/ou retificações encontram-se no Anexo A1 (ADENE, 2019b).

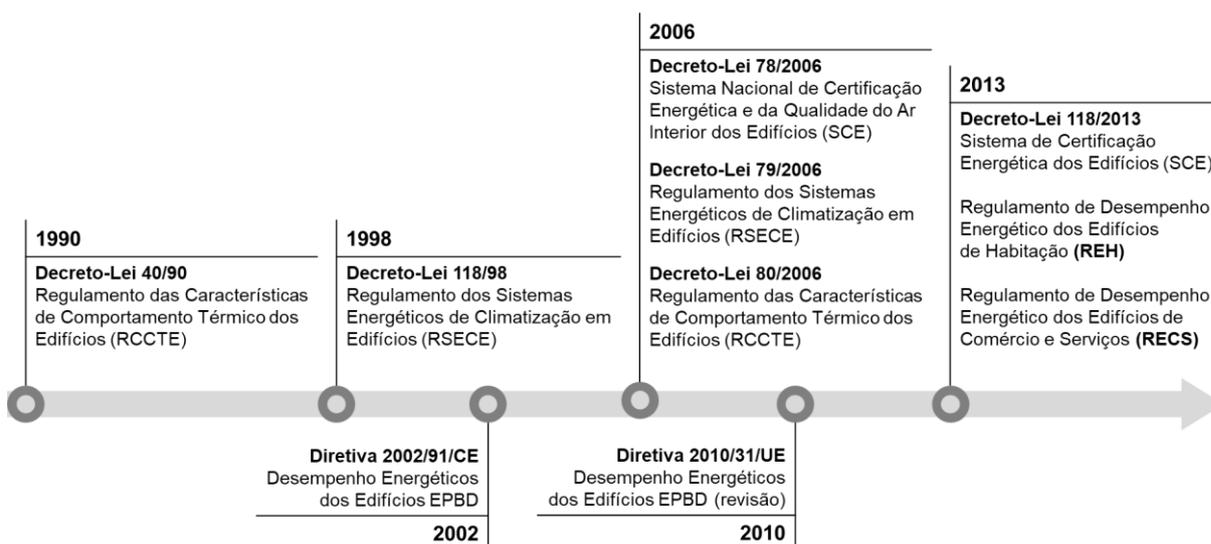


Fig. 3.1 - Evolução Legislativa em Portugal (adaptado de Freitas, 2014)

### 3.2. REGULAMENTAÇÃO EM VIGOR

#### 3.2.1. ESTRUTURA GERAL DO DECRETO-LEI N.º 118/2013

No âmbito do comportamento térmico e da eficiência energética, a legislação neste domínio é bastante extensa e complexa, estando dividida em diversas partes. Por outro lado, as atualizações recorrentes introduzindo pequenas alterações a partes do texto regulamentar dificultam ainda mais a perceção clara da estrutura regulamentar (Santos e Freitas, 2018).

Atualmente, a legislação aplicável encontra-se no Decreto-Lei n.º 118/2013 e nos documentos a que faz referência, que aprova o SCE, o REH e o RECS. A Figura 3.2 esquematiza a relação entre os vários documentos regulamentares (Lei, Decretos-Lei, Portarias e Despachos).

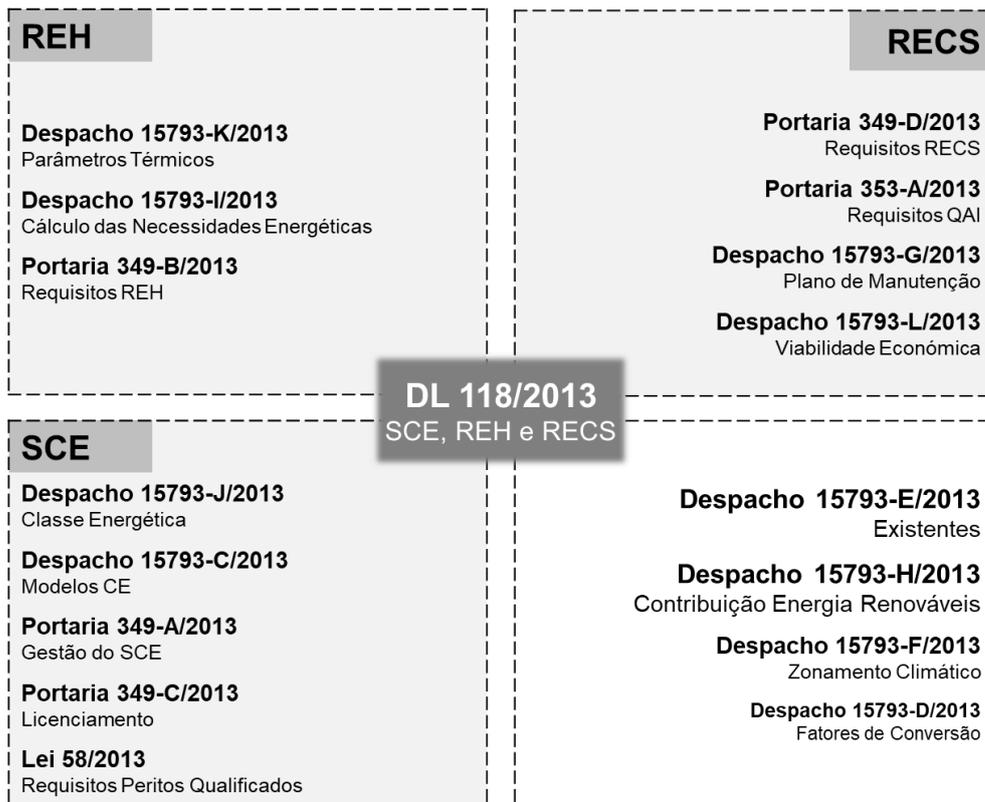


Fig. 3.2 - Legislação em Vigor (adaptado de Freitas, 2014)

#### 3.2.2. CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA DOS EDIFÍCIOS

No âmbito do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), é emitido o Certificado Energético (CE) que indica o desempenho energético do edifício e apresenta possíveis medidas de melhoria a implementar de acordo com a viabilidade económica (Santos, 2018). O Despacho n.º 15793-J/2013, faz a distinção, no modo como o indicador é calculado, entre edifícios de habitação e edifícios de comércio e serviços. Em ambos os casos, a classe energética é classificada de *A+* a *F* e os valores de energia primária são calculados em  $\text{kWh}_{EP}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$ .

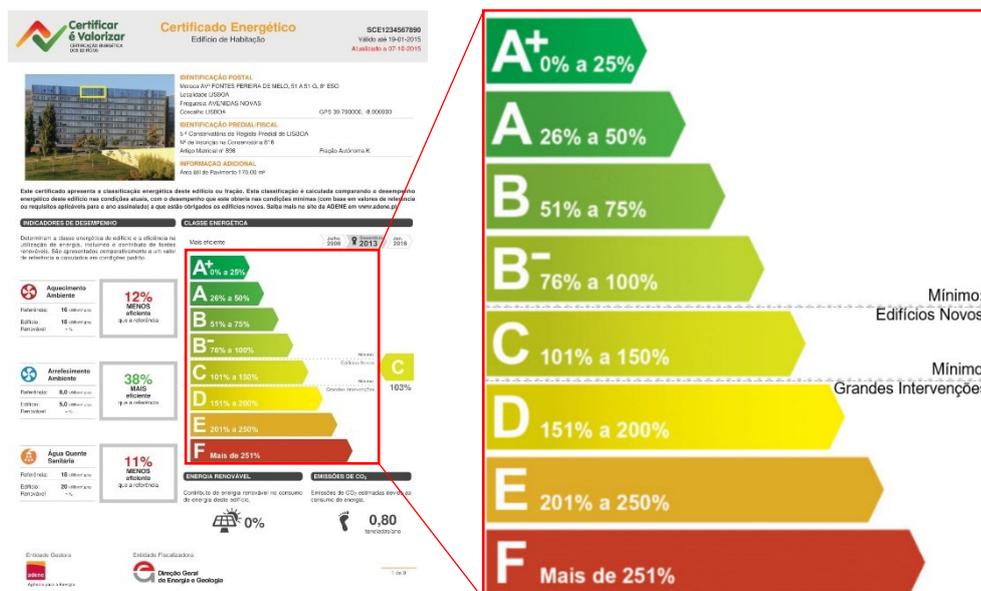


Fig. 3.3 - Exemplo Certificado Energético (ADENE, 2019a)

No caso do CE dos edifícios de habitação, a classe é determinada através do rácio entre o valor das necessidades nominais anuais de energia primária ( $N_{tc}$ ) e o valor limite regulamentar ( $N_t$ ) (Equação 1). O cálculo das necessidades de energia primária é realizado tendo em consideração um regime sazonal com base nos consumos estimados em condições nominais e que não tem correspondência exata com os perfis de consumo real. Tem também em atenção as características dos elementos construtivos do edifício ou fração autónoma, sistemas de climatização, ventilação e produção de águas quentes sanitárias (AQS), ainda a percentagem de energia renovável no total de energia consumida (Despacho n.º15793-J/2013, 2013).

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

Nos edifícios de comércio e serviços é considerado um regime dinâmico (com recurso a software) para o cálculo das necessidades de energia primária, sendo a classe energética determinada através do rácio da seguinte expressão:

$$R_{IEE} = \frac{IEE_S - IEE_{REN}}{IEE_{ref,S}} \quad (2)$$

em que:

$IEE_S$  – Indicador de Eficiência Energética, consoante o tipo de edifício e se se trata de novo, existente ou sujeito a grande intervenção relativamente aos consumos do tipo S;

$IEE_{ref,S}$  – Indicador de Eficiência Energética associado aos consumos anuais de energia do tipo S;

$IEE_{REN}$  – Indicador de Eficiência Energética renovável associado à produção de energia elétrica e térmica a partir de fontes de energias renováveis;

### 3.2.3. REGULAMENTO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

Estão abrangidos pelo REH todos os edifícios ou frações destinadas à habitação que sejam novos, sujeitos a grandes intervenções ou existentes reservados a arrendamento ou venda. Destes estão excluídos, por apresentarem características especiais, edifícios com área inferior a 50 m<sup>2</sup> e ainda monumentos ou edifícios com valor arquitetónico ou histórico reconhecido.

Os valores limites para os edifícios em que é aplicado o REH estão descritos na Portaria 349-B/2013 (2013), dos quais se destacam os seguintes parâmetros:

- Coeficientes de transmissão térmica superficiais (U) de referência e máximos para elementos opacos e vãos envidraçados;
- Fatores solares máximos (g<sub>T</sub>);
- Valor mínimo de taxa de renovação horária de ar (RPH);
- Sistemas técnicos a considerar e respetivos valores de eficiência mínima.

O Despacho n.º 15793-K/2013 (2013) integra o cálculo de quantificação da transferência de energia, isto é, os parâmetros térmicos das soluções construtivas. Com os parâmetros térmicos definidos, é introduzido pelo Despacho n.º 15793-I/2013 (2013) a metodologia, em função da zona climática, para o cálculo das necessidades nominais anuais de energia útil em:

- Aquecimento (N<sub>ic</sub>);
- Arrefecimento (N<sub>vc</sub>);
- Preparação de águas quentes sanitárias (Q<sub>a</sub>);
- Ventilação (W<sub>vm</sub>).

A expressão adotada no cálculo do rácio da classificação energética das Necessidades de Energia Primária é traduzida pela Equação 3:

$$N_{tc} = \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_{ic}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{v,k} \cdot \delta \cdot N_{vc}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{a,k} \cdot Q_a / A_p}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \frac{W_{vm,j}}{A_p} \cdot F_{pu,j} - \sum_j \frac{E_{ren,p}}{A_p} \cdot F_{pu,p} \quad [\text{kWh}_{EP}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}] \quad (3)$$

em que:

N<sub>ic</sub> - Necessidades de energia útil para aquecimento, supridas pelo sistema k [kWh/m<sup>2</sup>·ano]

f<sub>i,k</sub> - Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k

N<sub>vc</sub> - Necessidades de energia útil para arrefecimento, supridas pelo sistema k [kWh/m<sup>2</sup>·ano]

f<sub>v,k</sub> - Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema k

Q<sub>a</sub> - Necessidades de energia útil para preparação de AQS, supridas pelo sistema k [kWh/ano]

f<sub>a,k</sub> - Parcela das necessidades de energia útil para produção de AQS supridas pelo sistema k

η<sub>k</sub> - Eficiência do sistema k, que toma o valor de 1 no caso de sistemas para aproveitamento de fontes de energia renovável, à exceção de sistemas de queima de biomassa sólida em que deve ser usada a eficiência do sistema de 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, [kWh/ano], incluindo apenas energia consumida

$W_{vm}$  - Energia elétrica 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, exceto 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

### 3.2.4. REGULAMENTAÇÃO TRANSVERSAL AO DECRETO-LEI N.º 118/2013

Para o cálculo das necessidades nominais de energia útil, atendendo que existem variações no clima exterior conforme a altitude e a distância à linha costeira, Portugal está dividido em três zonas climáticas, como se pode observar na Figura 3.4. Na estação de aquecimento de I1 a I3 e na estação de arrefecimento de V1 a V3, em ambas as estações a severidade aumenta de 1 para 3 (Despacho n.º 15793-F/2013, 2013).

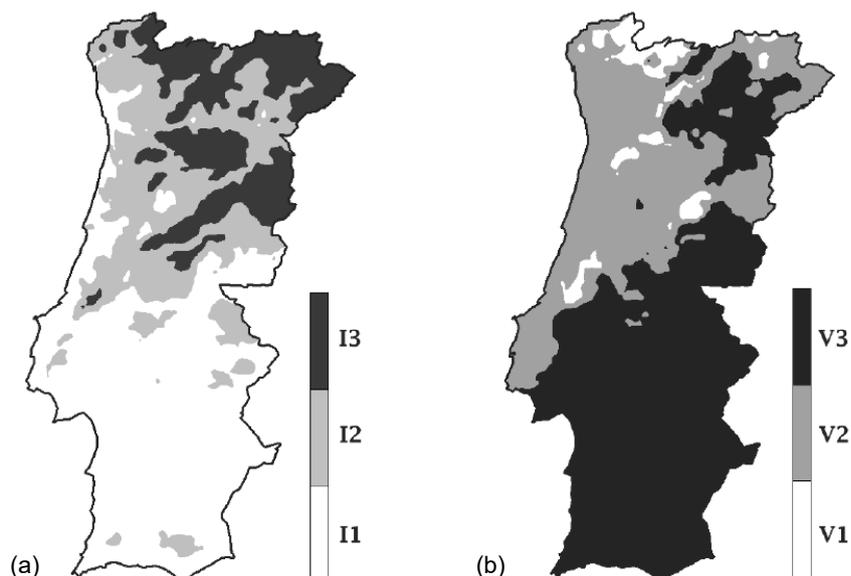


Fig. 3.4 - Zonas Climáticas de inverno (a) e de verão (b) em Portugal Continental (Despacho n.º15793-F/2013, 2013)

Por outro lado, quando aplicada a Certificação Energética a edifícios sujeitos a grandes intervenções e existentes no caso de se verificarem limitações na obtenção de informação detalhada, podem ser tomadas as simplificações previstas no Despacho n.º15793-E/2013 (2013), entre as quais:

- Ignorar área de parede/pavimento/cobertura associadas a reentrâncias e recuados com profundidade inferior a 1,0 m;
- Reduzir o valor da área interior útil de pavimento em 10% caso a medição seja efetuada de uma forma global;
- Medição em plano horizontal a área das coberturas inclinadas, agravando o valor em 25%;

- Tomar o valor de 0,8 para o valor dos coeficientes de redução de perdas ( $b_{tr}$ ) para todos os espaços não úteis e de 0,6 para edifícios adjacentes;
- Agravamento em 35% o valor do coeficiente de transmissão térmica ( $U$ ) em zona corrente nas situações em que não existam dados para determinação rigorosa as pontes térmicas planas;
- Valores tabelados para coeficientes de transmissão térmica lineares ( $\Psi$ ), classe de inércia fator solar ( $g_T$ ) e eficiência dos sistemas técnicos, quando haja enquadramento com a solução tipo.

Um outro aspeto, é abordado no Despacho n.º 15793-H/2013 (2013), referente à quantificação e contabilização do contributo da energia proveniente de fontes renováveis. Os tipos de sistemas considerados pelo referido despacho estão representados na Figura 3.5.

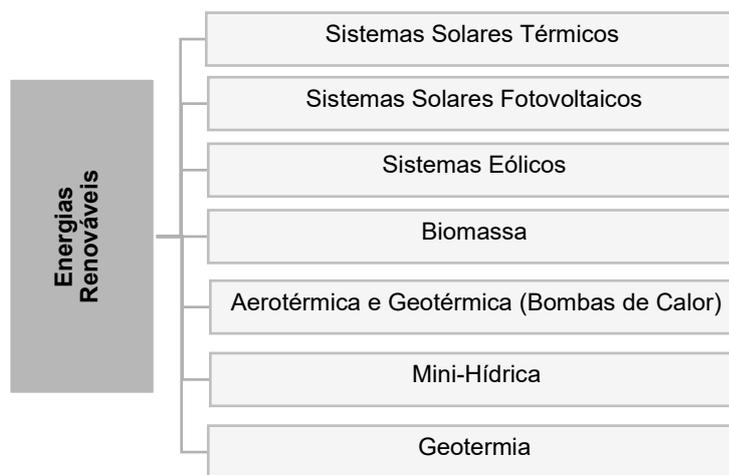


Fig. 3.5 - Energia Renováveis

### 3.3. SÍNTESE DO CAPÍTULO

No presente capítulo foi feita uma síntese da evolução da legislação em Portugal referente às preocupações de comportamento térmico nos edifícios. A elaboração da legislação, desde 2002 tem em atenção diretivas europeias que estabelecem conceitos gerais comuns aos Estados-Membros.

Trata-se de uma estrutura regulamentar bastante complexa e de difícil consulta devido à extensão dos vários documentos que dela fazem parte. Facto que é agravado com as sucessivas alterações, que muitas vezes pouco introduzem além de pequenas atualizações a partes dos textos regulamentares.

Seguindo a legislação nacional as diretivas europeias, verificando-se realidades climáticas e económicas distintas, a transposição das diretivas não assegura a emissão de um Certificado Energético ajustado à realidade portuguesa dado que a metodologia considera um aquecimento contínuo (no caso do REH), que não corresponde aos hábitos da população. A metodologia complementa uma aplicação diferenciada no âmbito da reabilitação, todavia a aplicação prática depara-se com incompatibilidades para cumprir os requisitos mínimos.

# 4.

## POBREZA ENERGÉTICA E CONFORTO

### 4.1. QUANTIFICAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA

#### 4.1.1. DISTRIBUIÇÃO DOS CONSUMOS DE ENERGIA POR SETOR

A Figura 4.1 apresenta a distribuição do consumo de energia final por setor de atividade na EU-28. Existem três setores dominantes com consumos muito idênticos entre si (transportes, doméstico e indústria). Devido à recessão económica de 2008 todos os setores tiveram quedas nos consumos, à exceção do setor dos serviços que registou uma subida em cerca de 4,7% (Santos, 2018).

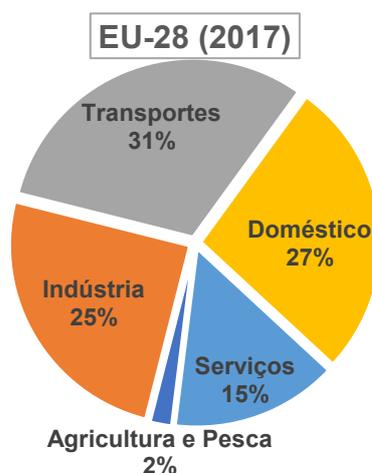


Fig. 4.1 - Distribuição do consumo de energia final por setor, em 2017, na EU-28 (adaptado de EUROSTAT, 2019)

Em Portugal o cenário é diferente como é possível constatar pela Figura 4.2 (à esquerda), o setor doméstico tem um consumo de energia inferior cerca de 10% face aos valores da EU-28. O setor dos transportes e da indústria são responsáveis por uma grande parcela no consumo de energia.

No setor doméstico o consumo de energia teve uma redução devido à crise económica, atingindo o valor mínimo em 2015, no entanto a sua percentagem no consumo total da energia não se alterou (ADENE, 2018). Por outro lado, com a introdução das diretrizes da EPBD2010 (*Energy Performance of Buildings Directive*) na legislação nacional são apresentadas medidas para um aumento da energia solar, todavia pelo menos até 2016, essa fonte de energia não tem um peso muito significativo. Há um aumento do

consumo de eletricidade, mas que ocorre pela diminuição do consumo de matérias derivadas de petróleo e da madeira.

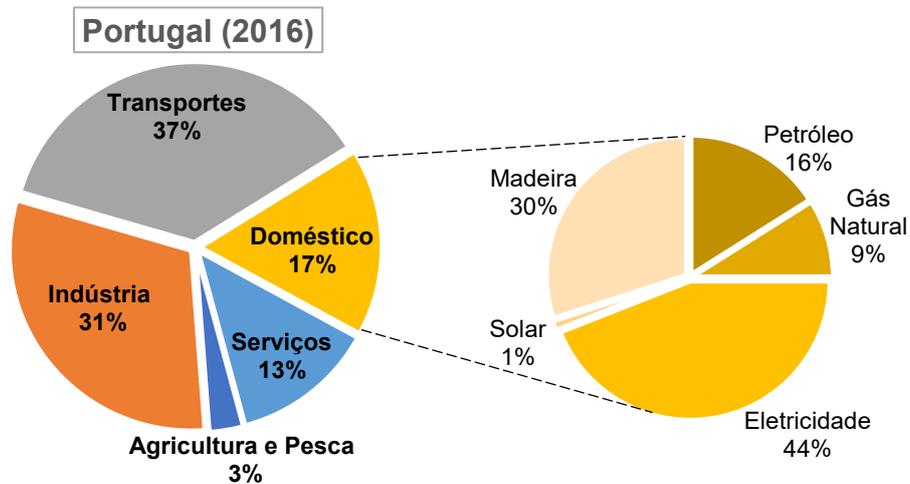


Fig. 4.2 - Distribuição do consumo de energia em Portugal por setor (à esquerda) e por fonte energética no setor doméstico (à direita), em 2016 (adaptado de ADENE, 2018)

#### 4.1.2. CONSUMOS DE ENERGIA PARA CLIMATIZAÇÃO

No âmbito do conforto térmico dos edifícios é importante perceber a quantidade de energia gasta para a climatização. No setor doméstico, na generalidade dos países europeus, os consumos destinados à climatização representam uma grande parcela, embora existam diferenças entre alguns países. Em 2012, a média europeia (EU-28) aponta que 67% da energia consumida no setor doméstico é destinada a aquecimento e uma pequena parte (0,5%) é destinada a arrefecimento (Barbosa, 2020). Países como Portugal, Malta e Chipre tem um consumo energético no setor doméstico bastante mais baixo que a média europeia (EU-28), sendo Portugal o segundo país com menor energia destinada a aquecimento (cerca de 4% do consumo total da energia)(Barbosa, 2020).

A Figura 4.3 apresenta a distribuição dos consumos de energia por tipo de utilização em Portugal no ano de 2010, segundo um inquérito ao consumo de energia<sup>1</sup> no setor doméstico à população portuguesa (INE/DGEG, 2011). O inquérito conclui que é na Cozinha<sup>2</sup> onde se regista a maior parcela de energia consumida (39,1%) e que também corresponde à maior parcela em termos de despesa. Com um consumo de energia idêntico segue-se o Aquecimento de Águas (AQS) e o Aquecimento Ambiente com 23,5% e 21,5%, respetivamente.

<sup>1</sup> Consumo de energia no sector doméstico excluindo a parcela relativa ao consumo de energia nos veículos afetos aos indivíduos residentes.

<sup>2</sup> Cozinha inclui Fogão com forno, Placa, Forno independente, Fogareiro, Lareira, Micro-ondas, Exaustor/Extrator, Frigorífico (com e sem congelador), Combinado, Arca congeladora, Máquina de lavar loiça, Máquina de lavar e secar roupa.

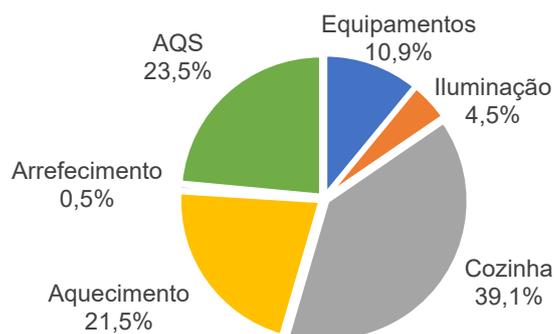


Fig. 4.3 - Distribuição do consumo de energia em Portugal por tipo de utilização no setor doméstico, em 2010 (adaptado de INE/DGEG, 2011)

A principal fonte de energia para Aquecimento Ambiente é a lenha, que totaliza 68% do consumo energético. Seguindo-se o Gasóleo de Aquecimento, a Eletricidade e o GPL Butano (INE/DGEG, 2011).

#### 4.2. SISTEMAS: AQUECIMENTO, ARREFECIMENTO E AQS

Os tipos de sistemas e equipamentos utilizados na habitação podem refletir classificações diferentes no Certificado Energético (CE) mesmo mantendo constantes as características da envolvente, uma vez que os limites regulamentares para a envolvente já constituem valores bastante restritos. Tendo em conta que os equipamentos de aquecimento, arrefecimento e de preparação de águas quentes sanitárias (AQS) representam cerca de 45,5% do consumo no setor doméstico, como foi indicado no subcapítulo anterior, e que estes equipamentos apresentam uma ampla variação nas suas características (diferentes possibilidades de aplicação, diferentes tipos de fonte de energia, da sua gama eficiências, etc.), o presente subcapítulo procurará indicar os principais sistemas utilizados em Portugal.

Apesar de Portugal ser um dos países europeus com um clima não tão rigoroso no inverno face aos países da Europa central e do norte, não é garantido o conforto térmico sem recurso a sistemas de aquecimento (Barbosa, 2020). Um inquérito realizado em 2010 através de uma parceria do Instituto Nacional de Estatística (INE) e da Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG) concluiu que 78,3%<sup>3</sup> das habitações utilizam sistemas de aquecimento (INE/DGEG, 2011). Como se pode observar pela Figura 4.4, dos sistemas utilizados destaca-se o aquecimento com aquecedor elétrico independente (radiador, convector, termo-convector, termo-ventilador, radiador cerâmico, etc.), representando 61,2% a que corresponde cerca de 1,9 milhões de habitações. Dos restantes sistemas, seguem-se por ordem decrescente as lareiras abertas, lareiras com recuperador de calor, caldeiras para aquecimento central, bombas de calor reversíveis, salamandras a lenha e aquecedores a GPL independentes.

<sup>3</sup> Tendo por base o número total em Portugal de 3 932 010 habitações.

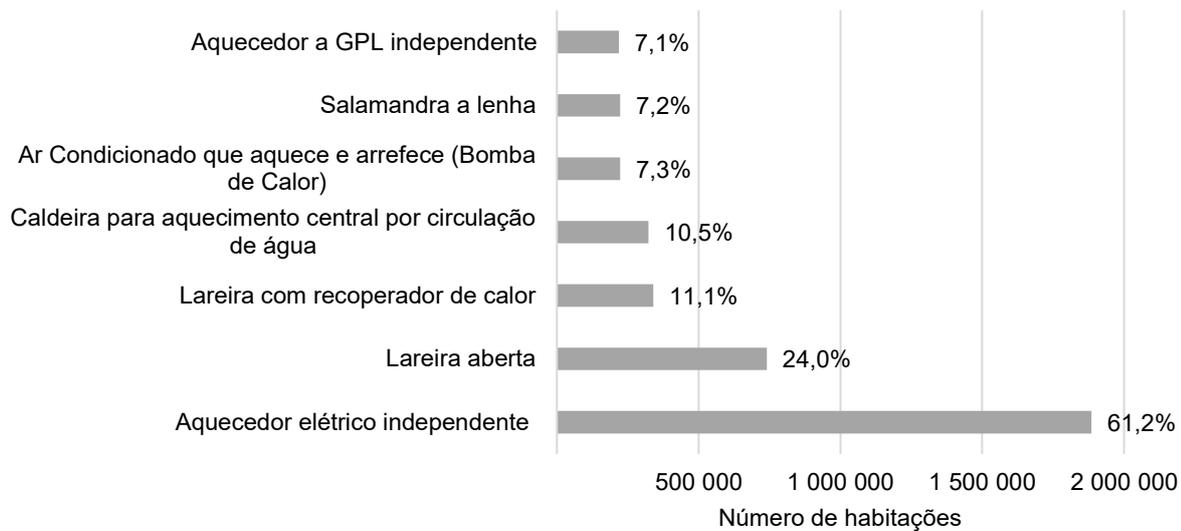


Fig. 4.4 - Número de habitações que utilizam sistemas de aquecimento por tipo de equipamento, em 2010 (adaptado de INE/DGEG 2011)

Por outro lado, no verão, Portugal apresenta um clima onde já é possível obter valores de temperatura dentro da gama de conforto adaptativo com meios passivos sem necessidade de recorrer à utilização de sistemas mecânicos de arrefecimento. Assim, uma percentagem mais baixa, cerca de 22,6%<sup>3</sup> das habitações ativa os equipamentos para controlo da temperatura (INE/DGEG, 2011). Como constata a Figura 4.5, são utilizados apenas três tipos de equipamento para o efeito, do qual se destaca o ventilador<sup>4</sup> com uma percentagem de 69,5%.

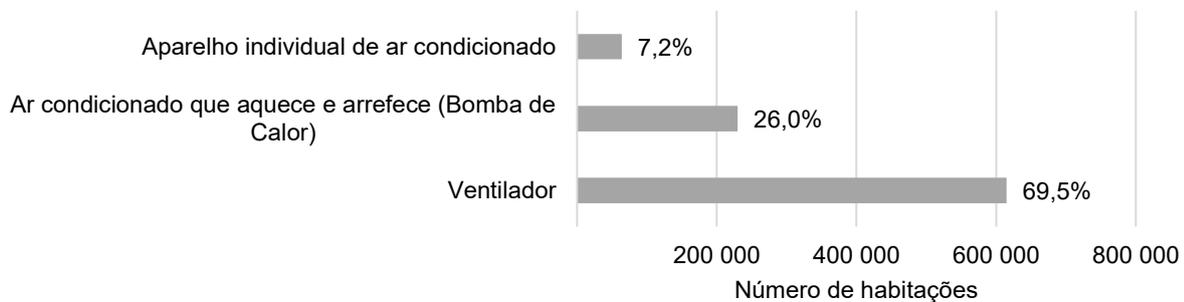


Fig. 4.5 - Número de habitações que utilizam sistemas de arrefecimento por tipo de equipamento, em 2010 (adaptado de INE/DGEG 2011)

Quanto à preparação de águas quentes sanitárias (AQS), o esquentador assume uma posição de realce com cerca de 78,6%, o que totaliza quase 3 milhões de habitações (Figura 4.6). Seguem-se as caldeiras e os termoacumuladores com percentagens muito semelhantes na ordem dos 11% e por último, com uma percentagem residual de 1,8%, o sistema solar térmico(INE/DGEG, 2011).

<sup>4</sup> O ventilador não controla a temperatura ambiente do espaço, no entanto produz efeito na temperatura sentida.

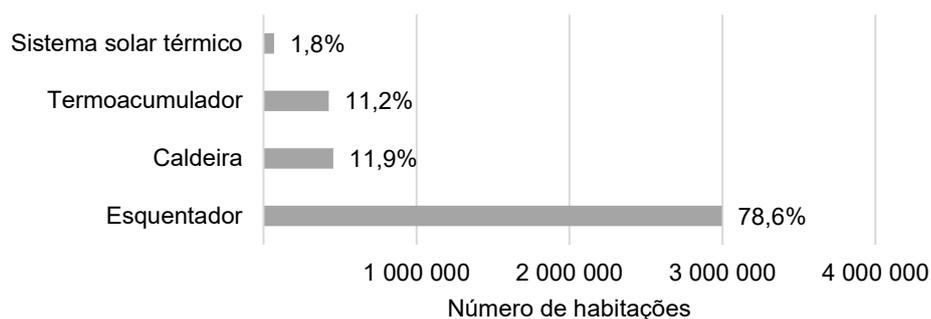


Fig. 4.6 - Número de habitações que utilizam sistemas de preparação de AQS por tipo de equipamento, em 2010 (adaptado de INE/DGEG 2011)

Um estudo de mercado sobre eficiência energética na habitação realizado pela ADENE (2017) indicia um ligeiro aumento de sistemas mais eficientes, tais como bombas de calor e caldeiras/salamandras a pellets, no entanto como tem por base uma amostra bastante reduzida (1300 questionários) não é suficiente para concluir a evolução dos hábitos populacionais.

### 4.3. POBREZA ENERGÉTICA

#### 4.3.1. CONCEITO

A definição de Pobreza Energética não é consensual entre os vários países da União Europeia (UE) dado que cada Estado-Membro tem a liberdade de definir o seu conceito e metodologia (Moreira, 2018). A não consensualidade está relacionada com a complexa natureza do conceito da Pobreza Energética e a dificuldade de medição, conferidas pelas seguintes características específicas do problema segundo Bouzarovski (2017):

- **Privada** – confina-se apenas ao domínio doméstico;
- **Variação temporal e espacial** – altera-se ao longo do tempo de acordo com a posição geográfica;
- **Cultural** – a expectativa dos serviços energéticos é subjetiva e socialmente construída.

Assim, uma das definições relaciona-se com a taxa de esforço energético. Estabelece que se a taxa for superior a 0,1 (10%) é classificado como Pobreza Energética, ou seja, quando as famílias têm de gastar mais de 10% dos seus rendimentos em energia para aquecimento de modo a atingir o nível de conforto térmico das normas (Boardman, 1991).

Hills (2011) definiu o indicador LIHC (*low income – high costs*) caracterizado pela Figura 4.7, relaciona a mediana dos rendimentos (linha a tracejado horizontal) com a mediana do custo da energia (linha a tracejado vertical). Estão em Pobreza Energética aqueles que se encontram no quadrante inferior direito (zona sombreada da Figura 4.7).

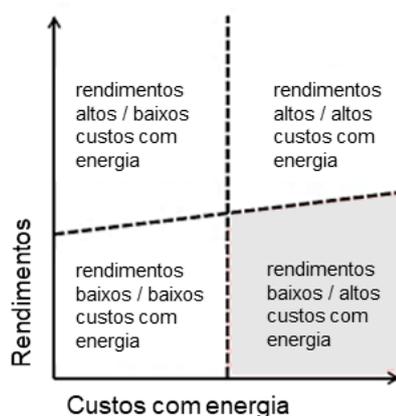


Fig. 4.7 - Quadrantes do indicador LIHC (adaptado de Moreira, 2018)

Mais recentemente, o conceito tem sofrido evoluções no sentido de incorporar outras características para além das monetárias (Bouzarovski, 2014), tais como:

- eficiência da habitação (existência de isolamento, ganhos solares, eficiência de equipamentos, etc.);
- subjetividade da poupança (há famílias que poupam mais do que outras nas mesmas circunstâncias) e evolução das necessidades de energia;
- desigualdade de acesso a infraestruturas (por exemplo, zonas com/sem distribuição de gás natural).

#### 4.3.2. RENDIMENTOS E CUSTO DA ENERGIA: PORTUGAL NO CONTEXTO EUROPEU

Como descrito no subcapítulo anterior, a Pobreza Energética, num contexto simplificado, relaciona os rendimentos das famílias com o custo da energia. O presente capítulo procura quantificar esses valores numa base comparável.

Apesar de existirem leis comunitárias comuns na União Europeia (UE), cada Estado-Membro tem a liberdade de definir o salário mínimo o que leva a discrepâncias significativas. Deste modo, os rendimentos são expressos em salário mínimo em poder de compra padrão (*PPS – Purchasing Power Standard*) dos Estados-Membros<sup>5</sup>, e segundo o EUROSTAT (2020a), classificados em dois grupos (grupo 1 com um valor de PPS inferior a 1000; grupo 2 com um valor de PPS superior a 1000). Em 2018, Portugal encontra-se no grupo 1 com um valor cerca de 782 PPS, onde o valor mais baixo é o da Bulgária com cerca de 524 PPS. Ao grupo 2 pertencem países como a França, Bélgica, Alemanha e ainda Luxemburgo que tem o valor mais elevado com cerca de 1596 PPS.

Nos custos<sup>6</sup> da energia foram consideradas apenas duas fontes, a energia elétrica que é cada vez mais uma fonte indispensável na atualidade e também o gás devido à sua ampla aplicação (cozinhar, preparação de AQS, aquecimento ambiente, etc.).

A Figura 4.8 evidencia que Portugal é um dos países da União Europeia (UE) onde o custo da energia é mais elevado, em 2018 a eletricidade tinha um custo médio de 0,225 €/kWh (EUROSTAT, 2018a) e o gás de 0,076 €/kWh (EUROSTAT, 2018b). Evidencia ainda os elevados custos da eletricidade e gás, por comparação com os baixos rendimentos.

<sup>5</sup> Estão apresentados na Figura 4.8 os Estados-Membros que apresentam dados.

<sup>6</sup> Custo médio, inclui as respetivas taxas e impostos.

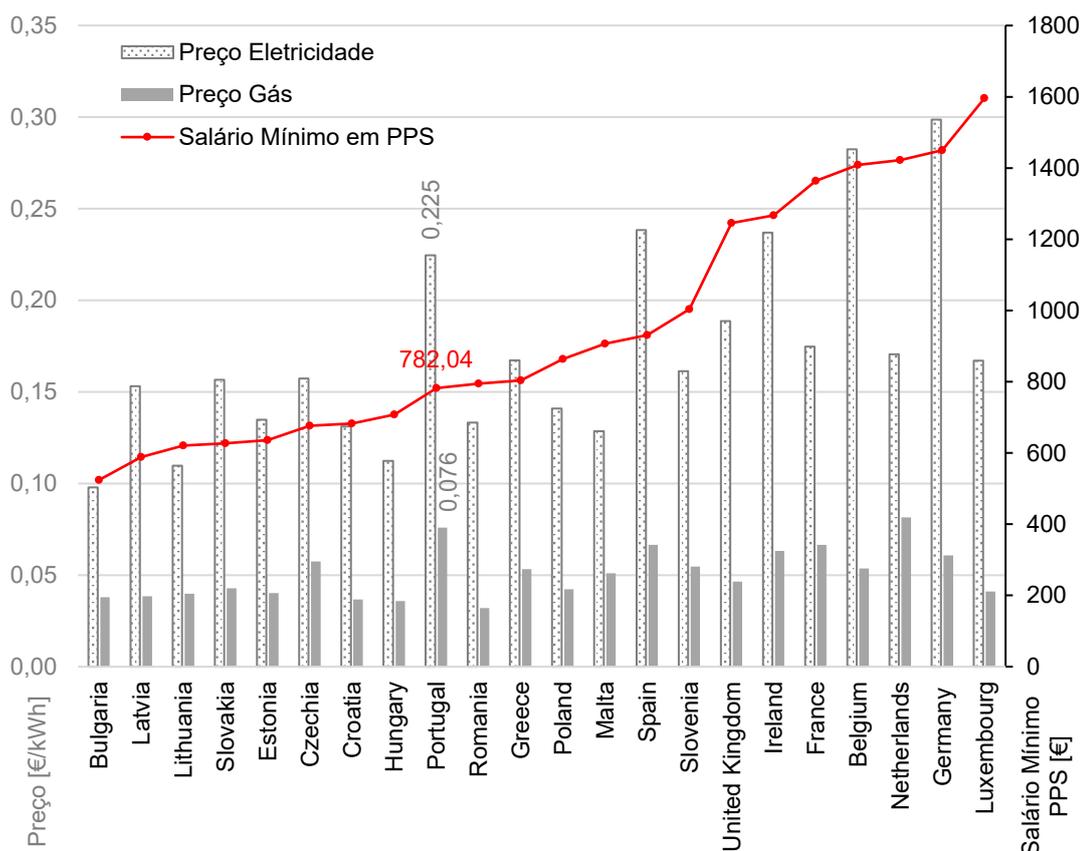


Fig. 4.8 - Comparação dos salários mínimos em PPS com o preço da eletricidade e do gás

#### 4.3.3. POBREZA ENERGÉTICA: PORTUGAL NO CONTEXTO EUROPEU

Sílvia Barbosa (2020), na sua tese de doutoramento, aplicou o indicador LIHC (*low income – high costs*) definido por Hills (2011) a países da União Europeia (UE) para valores referentes a 2018. Os resultados da aplicação estão representados na Figura 4.9, a autora concluiu que a zona ‘problemática’ no âmbito da Pobreza Energética se situa nos países no sul da Europa, nomeadamente Portugal.

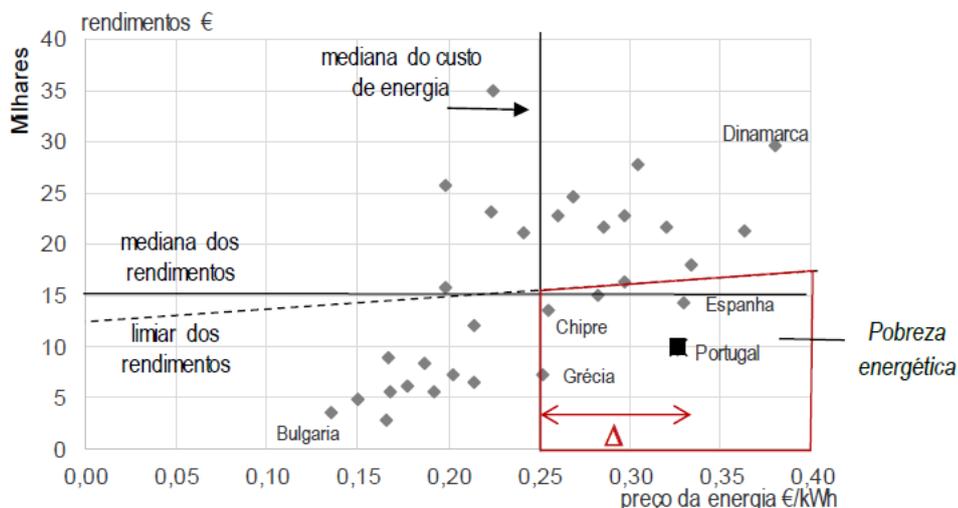


Fig. 4.9 - Aplicação do indicador LIHC (Hills 2011) aos países europeus (Barbosa, 2020)

Com base em quatro indicadores: atrasos no pagamento das contas, inadequação do isolamento nas habitações, desproporcionalidade da conta de energia e incapacidade para manter a casa quente, Bouzarovski (2011) no âmbito de um estudo sobre Pobreza Energética na Europa concluiu que, em 2010, Portugal ocupava o segundo lugar no ranking, apenas atrás da Bulgária que ocupa o primeiro lugar.

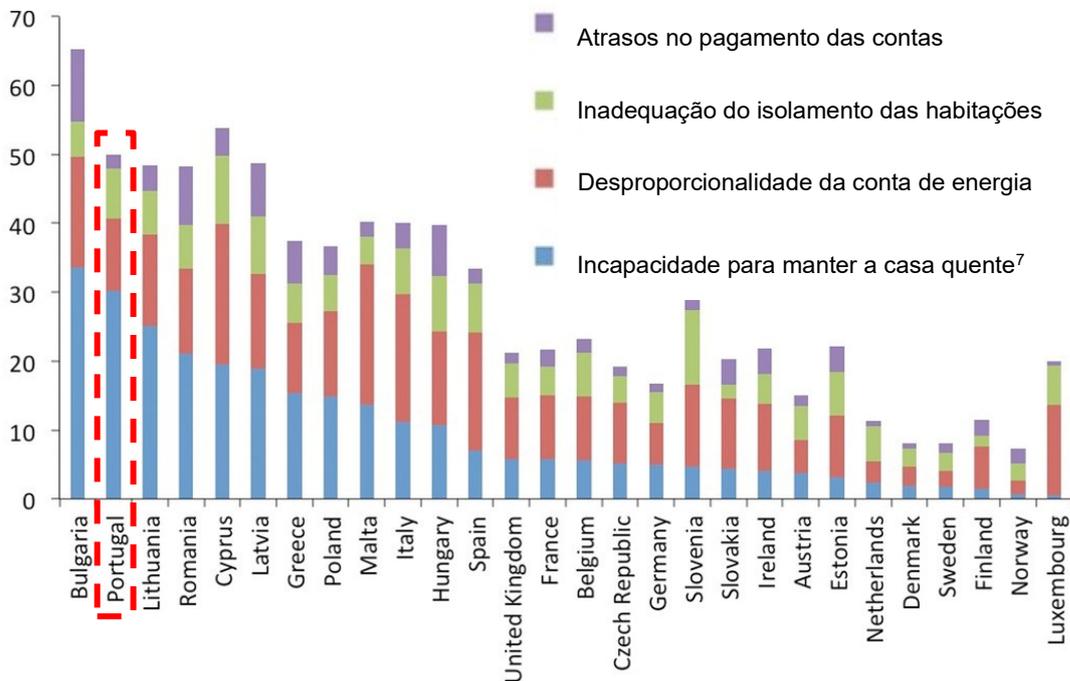


Fig. 4.10 - Indicadores de Pobreza Energética para a Europa em 2010 (adaptado de Bouzarovski, 2014)

## 4.4. CONFORTO TÉRMICO

### 4.4.1. CONCEITO

O conforto térmico no interior dos edifícios é a avaliação, de forma subjetiva, da satisfação expressa quanto a um ambiente térmico (ASHRAE, 2017). O conforto térmico está diretamente relacionado com a saúde dos ocupantes do edifício (Barbosa, 2020). Considera-se que um indivíduo se encontra num estado de conforto térmico quando as trocas térmicas entre o corpo humano e o ambiente da envolvente se encontram num estado de equilíbrio.

A quantificação das trocas térmicas no corpo humano não tem uma tradução direta, uma vez que não pressupõem a fixação de uma temperatura exata (Curado, 2014). A quantificação é calculada através de uma interligação entre fatores ambientais e pessoais (SAINT-GOBAIN, 2018):

- Fisiológicos (trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente envolvente);
- Físicas (parâmetros do ambiente envolvente);
- Psicológicas (de natureza humana que variam de indivíduo para indivíduo).

<sup>7</sup> Dificuldade financeira em suportar os custos para aquecimento depois de pagar as despesas dos bens essenciais

De acordo com a ASHRAE (ASHRAE, 2017) e EN 15251 (2007) os parâmetros ambientais da envolvente que considera influenciadores para quantificação do conforto térmico são:

- Atividade metabólica;
- Vestuário;
- Temperatura do ar;
- Temperatura radiante;
- Velocidade do ar;
- Humidade relativa.

Pela complexa dificuldade em definir o conforto térmico, foram criados vários modelos que com uma base adaptativa (Figura 4.11) procurando ser mais realistas e representativo das condições reais de utilização. Modelos normativos como ASHRAE (2017), EN 15251 (2007), e outros modelos como o disponibilizado pelo LNEC (Matias, 2010).

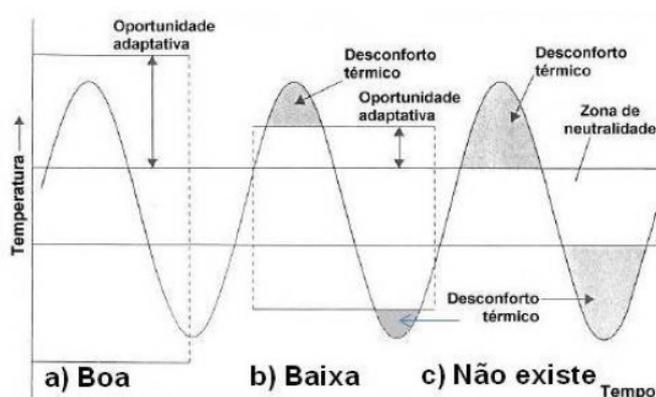


Fig. 4.11 – Oportunidade adaptativa para conforto térmico (Curado, 2014)

#### 4.4.2. MODELO DE CONFORTO TÉRMICO ADAPTATIVO EN15251

No âmbito da presente dissertação, será feita uma abordagem ao modelo adaptativo da norma europeia EN 15251: 2007 - *Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*. (2007) dado que este é o modelo que apoia a EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*).

A norma contempla quatro categorias consoante as exigências requeridas, tipo de ocupação e tipo de edifício, conforme indicado no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 - Descrição das categorias de conforto (adaptado de EN 15251, 2007)

Categoria	Descrição
I	<b>Nível de expectativa mais elevado</b> – recomendado para espaços ocupados por pessoas muito sensíveis e frágeis com necessidades especiais, como deficientes, doentes, crianças muito pequenas e idosos
II	<b>Nível de expectativa normal</b> – aplicado a construções novas e renovações
III	<b>Nível de expectativa aceitável</b> – aplicado a edifícios existentes
IV	<b>Valores fora dos critérios para as categorias anteriores</b> – categoria aceite apenas para períodos limitados

O anexo A.2 da EN 15251 (2007) apresenta as gamas de conforto adaptativo interior em função da relação entre a temperatura média exterior exponencialmente ponderada ( $T_{mp}$ ) e a temperatura operativa interior ( $T_{oc}$ ). São definidos limites superiores e limites inferiores em função da categoria I, II e III aos quais estão associados intervalos de tolerância de  $\pm 2, 3$  e  $4$  °C em relação à temperatura operativa ( $T_{oc}$ ). A relação é definida pela Equação 4:

$$T_{oc} = 0,33 \cdot T_{mp} + 18,8 \quad (4)$$

em que:  $T_{oc}$  - Temperatura operativa interior [°C]

$T_{mp}$  - Temperatura média exterior exponencialmente ponderada [°C]

Considerando que é necessário cerca de uma semana para que um indivíduo se adapte à variação climatérica, o cálculo da temperatura média exterior exponencialmente ponderada ( $T_{mp}$ ) tem em conta os valores das temperaturas médias exteriores diárias da semana antecessora (Barbosa, 2020). Assim, a expressão para o seu cálculo é traduzida pela Equação 5:

$$T_{mp} = \frac{(T_{n-1} + 0,8 \cdot T_{n-2} + 0,6 \cdot T_{n-3} + 0,5 \cdot T_{n-4} + 0,4 \cdot T_{n-5} + 0,3 \cdot T_{n-6} + 0,2 \cdot T_{n-7})}{3,8} \quad (5)$$

em que:  $T_{n-i}$  – Temperatura média exterior do dia (i) anterior

Para a estação de arrefecimento (Figura 4.12, à direita), sem sistemas de climatização, os limites superiores de conforto adaptativo encontram-se entre  $10^{\circ}\text{C} < T_{mp} < 30^{\circ}\text{C}$  e o intervalo para os limites inferiores entre  $15^{\circ}\text{C} < T_{mp} < 30^{\circ}\text{C}$ .

Por outro lado, na estação de aquecimento (Figura 4.12, à esquerda) não é considerado um modelo adaptativo por se considerar que não há conforto sem recorrer a sistemas de aquecimento. Assim, a norma recomenda a utilização dos limites para edifícios climatizados considerados no seu anexo A.1 (edifícios residenciais e uma atividade sedentária) sendo aplicado quando  $T_{mp} < 10^{\circ}\text{C}$  e  $15^{\circ}\text{C}$  para os limites superiores e inferiores, respetivamente.

A Figura 4.12 representa de forma gráfica a gama de temperaturas consideradas para a obtenção do conforto térmico.

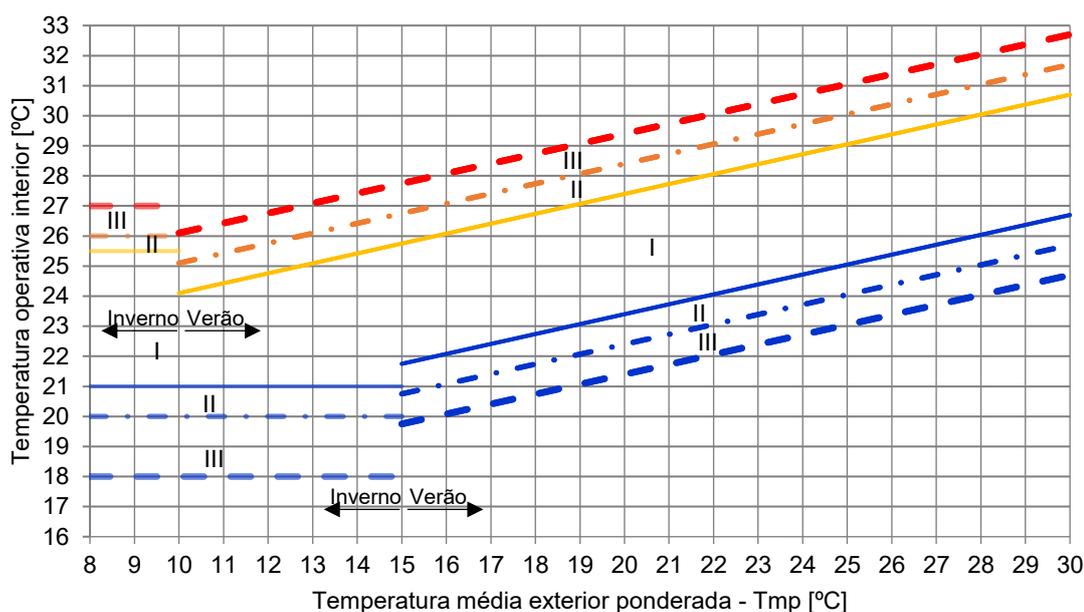


Fig. 4.12 - Modelo de conforto adaptativo da EN 15251 para o verão (sem climatização); modelo aplicável para o inverno (com aquecimento) (adaptado de EN 15251, 2007)

De ressaltar que a norma prevê a aplicação do modelo do conforto térmico adaptativo para a estação de arrefecimento (verão) desde que sejam cumpridas as condições a seguir mencionadas:

- Ocupação em atividades sedentárias, com taxa de metabolismo de 1,0 a 1,3 met<sup>8</sup>;
- Os edifícios não podem ter sistemas de climatização, salvo ventilação por ar não condicionado desde que os caudais e os consumos sejam residuais, como por exemplo, ventoinhas, persianas, ventilação noturna e outros meios passivos;
- A abertura e fecho de janelas é o método de regulação prioritário;
- Aos ocupantes é permitido o ajuste do vestuário de forma a se adaptarem livremente.

No caso do modelo para a estação de aquecimento (inverno), os valores apresentados são indicativos no caso de o vestuário produzir o efeito de 1,0 clo<sup>9</sup>.

#### 4.4. SÍNTESE DO CAPÍTULO

No presente capítulo abordou-se a questão do consumo de energia e a sua distribuição por setores. Com especial foco no setor doméstico foram perceptíveis as diferenças entre a média europeia e Portugal, constatando-se que Portugal consome cerca de 10% menos e ainda que cerca de 4% da energia total consumida em Portugal é aplicada em aquecimento ambiente. O arrefecimento tem um consumo de energia residual, por outro lado cerca de 40% é despendida na cozinha e cerca de 40% em aquecimento e preparação de águas quentes sanitárias (AQS), sendo 20% para cada caso.

<sup>8</sup> 1,0 met = 58,15 W/m<sup>2</sup> de superfície corporal

<sup>9</sup> 1,0 clo = 0,155 m<sup>2</sup>.°C/W

Quanto aos equipamentos, há uma clara predominância do aquecedor elétrico independente para aquecimento ambiente, do ventilador para arrefecimento ambiente e do esquentador para preparação de águas quentes sanitárias (AQS).

Ao nível da Pobreza Energética, Portugal é um dos países que tem pior desempenho e um maior número de famílias abrangido. Esta posição deve-se muito aos baixos rendimentos com altos preços da energia. Note-se que, esta é apenas uma das abordagens à definição da pobreza energética e que outras abordagens englobando mais elementos de avaliação podem conduzir a posições de ranking ligeiramente diferentes.

Existem várias normas e modelos para avaliar o conforto térmico, nomeadamente a norma EN 15251 de avaliação do conforto térmico adaptativo. A norma prevê que não haja conforto térmico no inverno sem recorrer a sistemas de aquecimento, embora 80% das habitações em Portugal utilize equipamentos para aquecimento ambiente a sua utilização é feita de forma intermitente (Barbosa, 2020). Aliando os padrões de aquecimento com a Pobreza Energética, leva a uma diminuição na qualidade de saúde e consequentemente da qualidade de vida.

# 5.

## APLICAÇÃO DO REGIME DINÂMICO A CASOS ESTUDO

### 5.1. ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS

Para a aplicação e análise dos resultados foram selecionados dois casos estudo, localizados na cidade do Porto, referentes a construções novas. A fração do caso estudo 1 corresponde a um edifício de habitação social (Figura 5.1 a) e a fração do caso estudo 2 a um edifício de luxo (Figura 5.1 b).

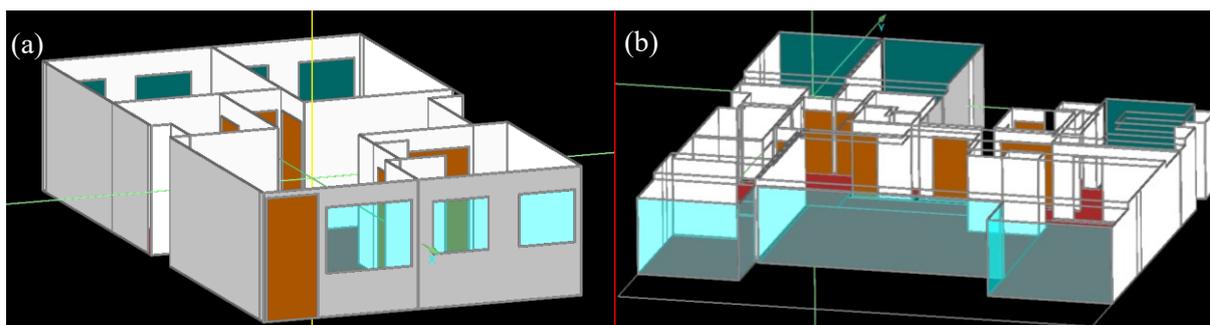


Fig. 5.1 – Geometria Edifícios: Caso Estudo 1 (a); Caso Estudo 2 (b)

No presente capítulo serão abordadas as necessidades energéticas, bem como o conforto térmico em função de diferentes períodos de aquecimento. Pretende-se avaliar se essa flutuação tem grande impacto nos parâmetros referidos, permitindo ainda uma visão crítica acerca de modelos de cálculo das necessidades energéticas considerando aquecimento contínuo por comparação com aquecimento intermitente.

Dado que a Diretiva (UE) 2018/844 deixa ao critério dos Estados-Membros o tipo de modelo usados para o cálculo das necessidades energéticas, serão também avaliadas as diferenças nos resultados obtidos entre o modelo dinâmico com base horária e o modelo sazonal, neste caso particular, o modelo aplicado pelo Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto de 2013.

Para o cálculo do modelo dinâmico com base horária, de entre as várias opções, nomeadamente com recurso a programas computacionais mais ou menos complexos, foi escolhido o WUFI® Plus (versão 3.0.3), recorrendo ao processo de cálculo térmico, não contemplando as características higrotérmicas dado não dispor de dados suficientemente detalhados dos elementos e componentes para ter em conta a influência dessas propriedades nos resultados. Os dados de saída resultantes da simulação pelo WUFI® Plus serão exportados e tratados no programa Microsoft Excel.

Sendo a ferramenta mais completa do software WUFI®, desenvolvido pelo Fraunhofer IBP (*Institute for Building Physics*), possui a capacidade de simular os fluxos de temperatura e humidade, dos elementos definidos no modelo (através do clima exterior, das condições de utilização, ventilação, etc.). Tem ainda a capacidade de realizar o balanço térmico, calculando a energia necessária fornecida pelos sistemas de HVAC para atingir o nível de conforto pretendido (IBP, 2019).

O período de simulação analisado corresponde a um ano civil completo (de janeiro a dezembro). De modo a garantir uma estabilização das condições iniciais arbitradas, através de uma análise de sensibilidade, considerou-se que 30 dias antecedentes ao período analisado eram suficientes para a convergência dos valores nos casos estudo do presente trabalho.

## 5.2. DADOS CLIMÁTICOS

Apesar do programa de simulação escolhido conter alguns climas exteriores disponíveis na sua base de dados, nomeadamente da cidade de Lisboa para Portugal (WUFI®PlusV3.0.3.0, 2020), para resultados o mais próximos possíveis das condições climatéricas reais a que os edifícios em estudo estão sujeitos e dado que o programa de simulação permite a importação desse tipo de dados através de formatos reconhecidos pelo programa (.wac), foram introduzidos os dados climáticos recolhidos na estação meteorológica da FEUP.

O ficheiro com os dados climáticos, referentes ao período de 1 de janeiro a 31 de dezembro de 2017, contém parâmetros horários como a temperatura (°C) e humidade relativa (%), presentes na Figura 5.2, e radiação solar direta e difusa (W/m<sup>2</sup>).

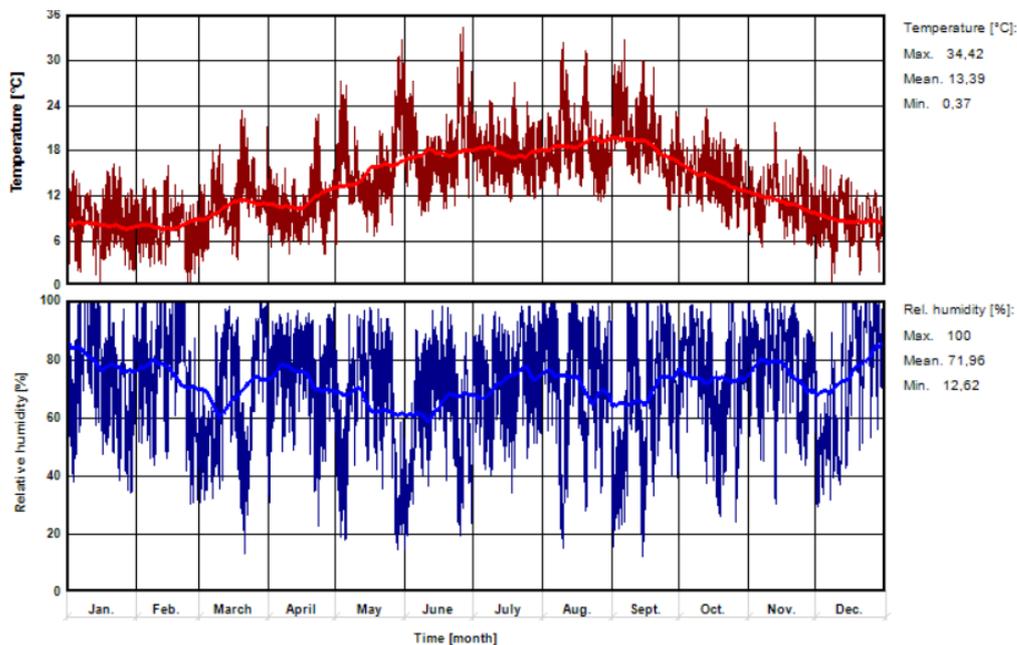


Fig. 5.2 - Temperatura e humidade relativa do ar exterior registado na estação meteorológica da FEUP utilizado no programa de simulação (WUFI®PlusV3.0.3.0, 2020)

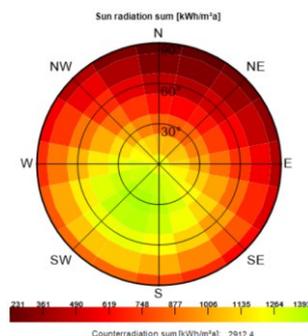


Fig. 5.3 - Soma da radiação solar por orientação e inclinação registada na estação meteorológica da FEUP utilizado no programa de simulação (WUFI@PlusV3.0.3.0, 2020)

No caso estudo 2 são contabilizados espaços não aquecidos, a temperatura interior desses espaços corresponde a um acréscimo de 3°C em relação à temperatura exterior.

### 5.3. CENÁRIOS DE UTILIZAÇÃO

Como descrito no subcapítulo 5.1., com o presente trabalho pretende-se avaliar as variações energéticas e os valores do conforto térmico e comparar esses valores com a metodologia de cálculo do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto de 2013, para que seja possível fazer um ponto da situação e corrigir eventuais considerações que não correspondem totalmente com a realidade e/ou implementar novos conceitos para uma nova regulamentação térmica imposta pela Diretiva (UE) 2018/844.

Assim, foi necessário definir cenários de utilização (CU) tendo em consideração dois critérios. O principal critério associado a diferentes horas de aquecimento e um secundário que está relacionado com acréscimo de energia que é necessário fornecer para aumentar a temperatura interior. A temperatura base de conforto considerada na estação de aquecimento é a descrita no Despacho n.º 15793-F/2013 (2013), ou seja, uma temperatura interior de 18°C. No Quadro 5.1 estão apresentados os Cenários de Utilização (CU) para os casos estudo:

Quadro 5.1 - Cenários de Utilização considerados nos casos estudo em função do número de horas de aquecimento e da temperatura interior

		Temperatura Interior [°C]							
		Mínima		Máxima		Mínima		Máxima	
		18	25	18	25	20	25		
Nº horas aquecimento	24	1CU1		2CU1		2CU7			
	12	1CU2		2CU2		-			
	6	1CU3		2CU3		-			
	3	1CU4		2CU4		-			
	1	1CU5		2CU5		-			
	0	1CU6		2CU6		-			
		Caso Estudo 1			Caso Estudo 2				

Nos Cenários de Utilização (CU), à exceção de aquecimento contínuo (1CU1, 2CU1 e 2CU7) e sem aquecimento (1CU6 e 2CU6), o horário que se considerou foi o seguinte:

- Com 12h de aquecimento: 18h00 – 6h00;
- Com 6h de aquecimento: 17h00 – 23h00;
- Com 3h de aquecimento: 18h00 – 21h00;
- Com 1h de aquecimento: 20h00 – 21h00.

É importante salientar que a energia necessária de modo a garantir as temperaturas (mínimas e máximas) anteriormente referidas está otimizada, isto é, o WUFI® Plus apenas ativa os sistemas de climatização (definidos pelo utilizador) quando a temperatura interior não se encontra dentro dos limites de temperatura considerados. Na estação de arrefecimento, de modo a evitar o sobreaquecimento, numa primeira fase são ativadas as proteções solares móveis dos envidraçados e só no caso de estas não garantirem uma temperatura interior inferior à temperatura limite definida é que são ativados os sistemas de arrefecimento instalados.

## 5.4. CASO ESTUDO 1

### 5.4.1. ENQUADRAMENTO

A fração do caso estudo 1, com tipologia T2, localiza-se no primeiro andar de um edifício de habitação social, possui uma área de 55,17 m<sup>2</sup> com um pé direito de 2,40m e uma classificação energética A+ obtida no Pré-Certificado Energético (2017b). O Quadro 5.2 indica as divisões da fração e respetivas áreas e zonas de simulação (ZS) consideradas no modelo de cálculo.

Quadro 5.2 - Geometria da fração do caso estudo 1

Divisão	Zona Simulação	Área [m <sup>2</sup> ]
cozinha	1ZS1	9,20
sala	1ZS2	20,63
instalação sanitária	1ZS3	4,71
quarto 1	1ZS4	9,53
quarto 2	1ZS5	11,10

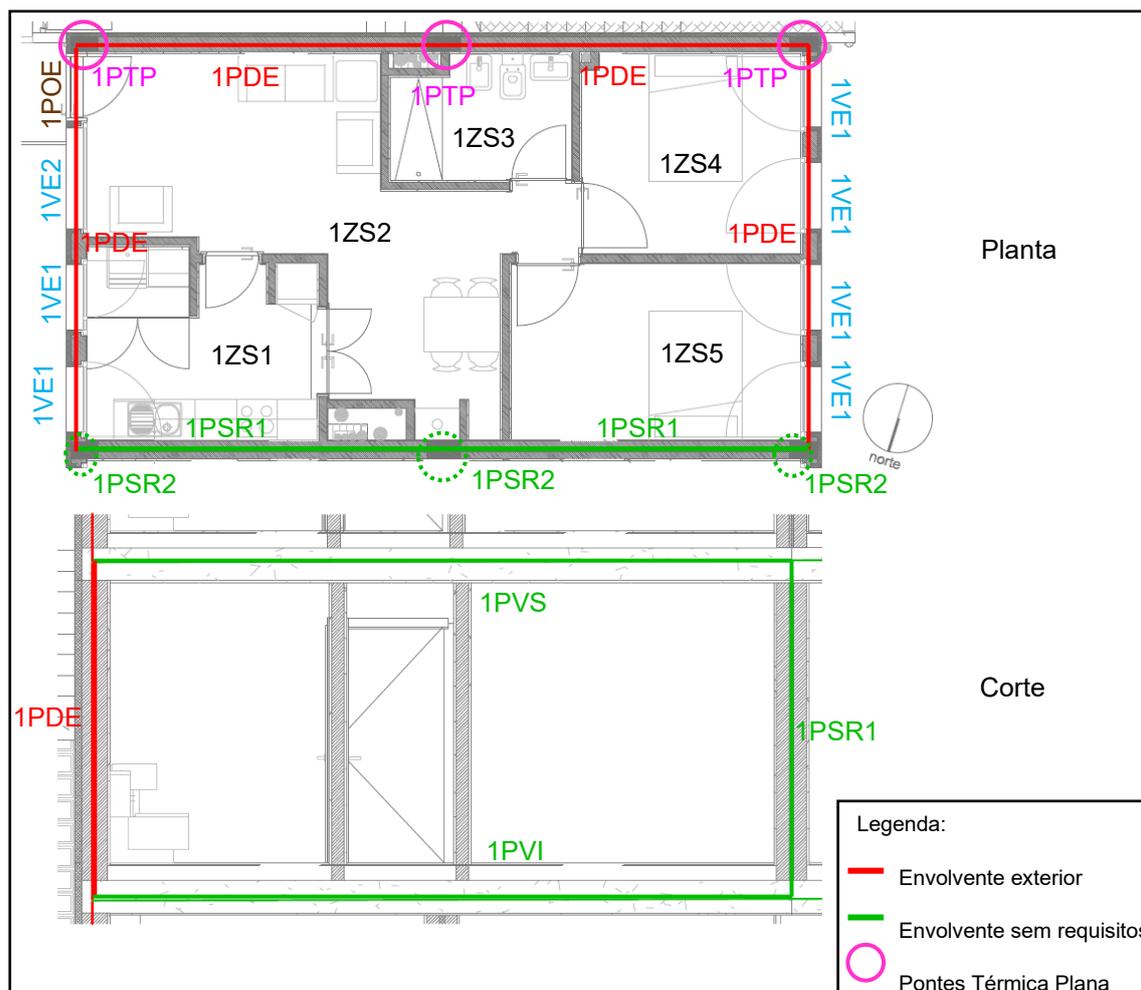


Fig. 5.4 -Envoltente térmica da fração do caso estudo 1

#### 5.4.2. CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO

Na consideração dos ganhos energéticos internos obtidos pela libertação de energia de fontes de calor derivada do metabolismo dos ocupantes e no calor dissipado pela iluminação e equipamentos, e tendo em vista a comparação com os resultados obtidos pela metodologia de cálculo para a obtenção do Certificado Energético (CE), é considerado o valor presente no Despacho n.º 15793-I/2013 (2013) de 4 W/m<sup>2</sup>. Desse valor, para a introdução de dados no programa de simulação, foram considerados:

- 2 W/m<sup>2</sup> para transferência de energia por convecção;
- 2 W/m<sup>2</sup> para transferência de energia por radiação.

Relativamente à ventilação, no caso estudo 1, procede-se através de um sistema de ventilação natural com uma taxa de renovação horária de ar (RPH) de 0,48 h<sup>-1</sup> em cada uma das zonas de simulação (ZS) (Pré-certificado energético, 2017b).

No que diz respeito aos sistemas técnicos, a fração em causa, é considerado um sistema para aquecimento e um para arrefecimento com potências nominais de 8 kW e 5 kW, respetivamente. A distribuição da potência é definida em função da área das zonas de simulação (ZS), sendo atribuídos os valores do Quadro 5.3.

Quadro 5.3 - Distribuição da potência dos sistemas técnicos pelas zonas de simulação (caso estudo 1)

Zona	Sistema Aquecimento [%]	Sistema Arrefecimento [%]
1ZS1	16,7	16,7
1ZS2	37,4	37,4
1ZS3	8,5	8,5
1ZS4	17,3	17,3
1ZS5	20,1	20,1

Para a envolvente sem requisitos, uma vez que faz fronteira com frações habitacionais, quer ao nível das paredes, quer com o piso superior e inferior, considerou-se que essas mesmas frações estão sujeitas ao mesmo clima interior, isto é, a sua temperatura interior é a mesma da zona de simulação com que faz fronteira.

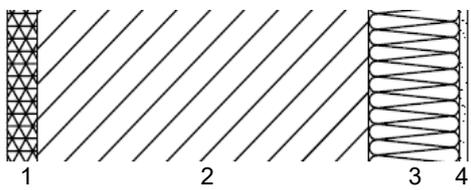
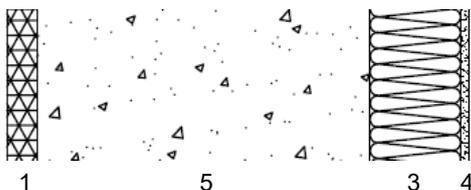
#### 5.4.3. CARACTERIZAÇÃO DA ENVOLVENTE

Para a construção do modelo geométrico WUFI® Plus, é necessário definir a geometria da fração referente a todos os componentes, tendo o cuidado de introduzir apenas a geometria interior, isto é, apenas a área onde efetivamente ocorrem trocas térmicas, é ainda necessário caracterizar detalhadamente as soluções construtivas e as propriedades dos materiais que as compõe. Devido ao profundo nível de detalhe exigido pelo programa, os dados introduzidos resultam da consulta de peças desenhadas, memória descritiva e justificativa fornecidas, complementado sempre que necessário com a base de dados disponível no WUFI® Plus.

O presente subcapítulo apresenta de forma resumida, nos Quadros 5.4, 5.5 e 5.6 a solução construtiva e as suas propriedades, a caracterização detalhada encontra-se no Anexo A2.

##### 5.4.3.1. Paredes

Quadro 5.4- Caracterização das paredes do caso estudo 1 (desenhos à escala 1:5)

<b>1PDE – fachada</b>		<b>U = 0,43 W/m<sup>2</sup>.°C</b>	
1) cerâmica vidrada	esp.=0,02 m		
2) tijolo de 22 cm	esp.=0,22 m		
3) isolamento térmico EPS	esp.=0,06 m		
4) reboco	esp.=0,005 m		
<b>1PTP – fachada</b>		<b>U = 0,52 W/m<sup>2</sup>.°C</b>	
1) cerâmica vidrada	esp.=0,02 m		
5) betão armado	esp.=0,22 m		
3) isolamento térmico EPS	esp.=0,06 m		
4) reboco	esp.=0,005 m		

Quadro 5.4- Caracterização das paredes do caso estudo 1 (desenhos à escala 1:5) (continuação)

<b>1PSR – parede sem requisitos</b>		<b>U = 0,58 W/m<sup>2</sup>.°C</b>
1) cerâmica vidrada	esp.=0,02 m	
6) tijolo de 11 cm	esp.=0,11 m	
7) lã de rocha	esp.=0,04 m	
6) tijolo de 11 cm	esp.=0,11 m	
1) cerâmica vidrada	esp.=0,02 m	
<b>1PSR2 – parede sem requisitos</b>		<b>U = 2,38 W/m<sup>2</sup>.°C</b>
1) cerâmica vidrada	esp.=0,02 m	
5) betão armado	esp.=0,22 m	
1) cerâmica vidrada	esp.=0,02 m	
<b>1PD – parede divisória</b>		<b>U = 1,78 W/m<sup>2</sup>.°C</b>
1) cerâmica vidrada	esp.=0,02 m	
6) tijolo de 11 cm	esp.=0,11 m	
1) cerâmica vidrada	esp.=0,02 m	

#### 5.4.3.2. Pavimentos

Quadro 5.5 - Caracterização dos pavimentos do caso estudo 1 (desenhos à escala 1:10)

<b>1PVI – pavimento inferior sem requisitos</b>		<b>U = 0,94 W/m<sup>2</sup>.°C</b>
<b>1PVS – pavimento superior sem requisitos</b>		<b>U = 1,08 W/m<sup>2</sup>.°C</b>
1) cerâmica vidrada	esp.=0,02 m	
8) betão de regularização	esp.=0,04 m	
9) betão leve	esp.=0,09 m	
10) laje aligeirada	esp.=0,24 m	
11) gesso projetado	esp.=0,02 m	

### 5.4.3.3. Portas, Vãos Envidraçados e Proteções Solares

Não sendo possível caracterizar todos os materiais que compõem as portas, por simplificação, considerou-se que eram constituídas em madeira, mantendo-se o valor do coeficiente de transmissão térmica (U) mencionado na memória descritiva e justificativa (2017a), sendo apresentados de seguida:

- 1POE – Porta de entrada:  $U = 1,60 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ ;
- 1POD – Porta de separação de divisões:  $U = 2,05 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ .

Relativamente aos vãos envidraçados exteriores, estes são constituídos por caixilharia simples de batente, em alumínio com corte térmico, com vidro duplo e caixa-de-ar preenchida a argon. Nos vãos em que existem proteções solares, estas são compostas por uma persiana exterior e ativam-se sempre que a temperatura de conforto de verão é atingida (no presente trabalho considerou-se 25°C). O Quadro 5.6 resume as propriedades dos vãos envidraçados e proteções solares (memória descritiva e justificativa, 2017):

Quadro 5.6 - Caracterização dos vãos envidraçados e proteções solares do caso estudo 1

vão envidraçado	Uw [W/m <sup>2</sup> .°C]	proteção solar?	resistência térmica adicional [m <sup>2</sup> .°C/W]:
			proteção solar / cavidade de ar
1VE1	1,98	sim	desprezável / 0,18
1VE2	1,81	não	-

### 5.4.4. ANÁLISE RESULTADOS

#### 5.4.4.1. Regime Dinâmico

A análise de resultados é realizada aplicando os dados extraídos referentes ao cenário de utilização 1CU1, uma vez que é o que considera um regime de aquecimento contínuo, tal como o considerado no modelo de cálculo para a certificação energética. A análise apresentada relaciona as trocas de calor na estação de aquecimento e arrefecimento para cada zona de simulação (ZS), permitindo perceber se o comportamento térmico individual de cada compartimento difere significativamente do comportamento térmico total da fração. Para tal, são apresentados dos dados (em kWh/ano com o valor arredondado às unidades) referentes ao fluxo de energia pelas Paredes e Portas, Pavimentos, Coberturas, Janelas (inclui ganhos solares), Ventilação, e ainda Ganhos Internos, energia para Aquecimento e Arrefecimento.

O balanço energético não é obtido através do somatório entre os ganhos e perdas apresentados (ganhos com valor positivo e perdas com negativo), pois estão apresentados os dados dos elementos da envolvente exterior e interior e não tem exibidos, entre outros fatores, o contributo da inércia térmica. Importa ainda referir que os valores apresentados são referentes aos dados obtidos pela simulação no WUFI® Plus e que não estão afetados os valores dos fluxos de energia pelas pontes térmicas lineares (PTL), assunto que será abordado com maior detalhe mais à frente.

Legenda das Figuras 5.5 a 5.9:

 Aquecimento	 Ganhos Internos	 Trocas Janelas	 Trocas Paredes e Portas
 Arrefecimento	 Trocas Ventilação	 Trocas Pavimento	

Da análise da Figura 5.5 verifica-se que as principais perdas de energia, na estação de aquecimento, ocorrem pela ventilação e pelos vãos envidraçados, tendo praticamente o mesmo valor. Note-se que, tendo esta zona de simulação (ZS) uma parede de envolvente exterior, o valor das perdas por esse elemento correspondem a um quinto das perdas pelas fontes referidas anteriormente. Relativamente à estação de arrefecimento, desta-se que os ganhos internos contribuem com cerca de metade dos ganhos e ainda que contribui mais do que os ganhos pelos vãos envidraçados.

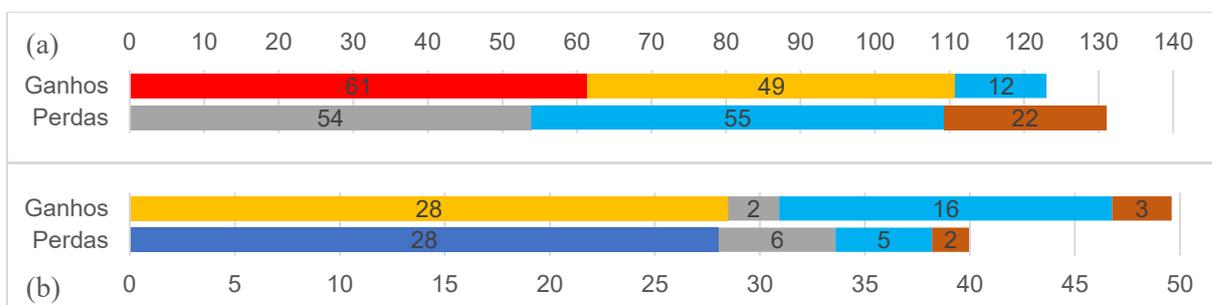


Fig. 5.5 - Ganhos e Perdas energéticas ,em kWh/ano, na estação de aquecimento (a) e na estação de arrefecimento (b) na zona de simulação 1ZS1, para o cenário de utilização 1CU1

Analisando a Figura 5.6, na estação de aquecimento, a ventilação e os vãos opacos têm maior contributo para as perdas de energia. Quanto à estação de arrefecimento, destaca-se os ganhos pelo vão envidraçado e ainda os ganhos internos.

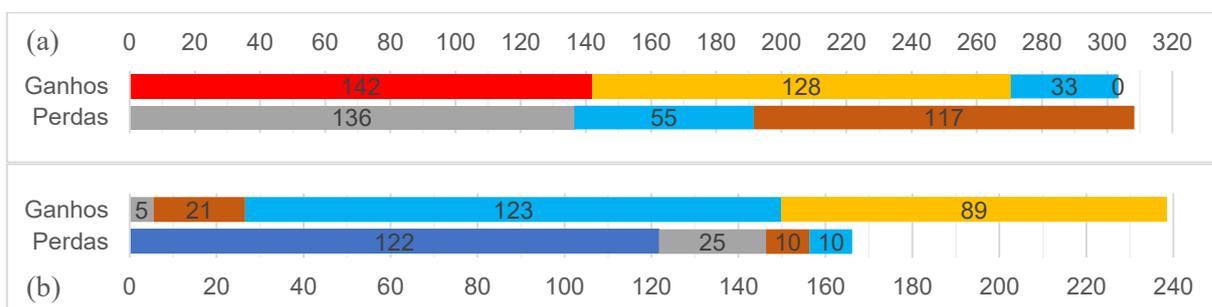


Fig. 5.6 - Ganhos e Perdas energéticas ,em kWh/ano, na estação de aquecimento (a) e na estação de arrefecimento (b) na zona de simulação 1ZS2, para o cenário de utilização 1CU1

Pela Figura 5.7, constata-se que, na estação de aquecimento podendo ocorrer perdas apenas pela ventilação e pela parede, a ventilação tem maior peso. Note-se ainda o maior peso dos ganhos internos na estação de arrefecimento.

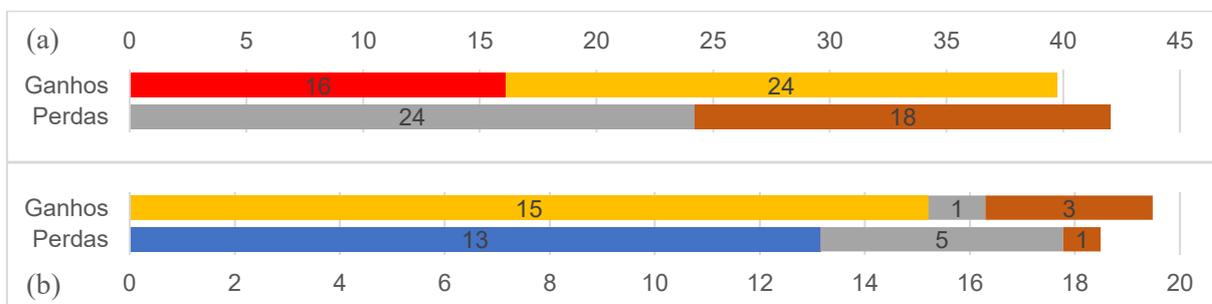


Fig. 5.7 - Ganhos e Perdas energéticas ,em kWh/ano, na estação de aquecimento (a) e na estação de arrefecimento (b) na zona de simulação 1ZS3, para o cenário de utilização 1CU1

Pela análise das Figuras 5.8 e 5.9, tratando-se dos quartos com áreas semelhantes de pavimento e envidraçado, note-se que o facto da zona de simulação 1ZS4 ter maior área de paredes com envolvente exterior implica diferenças comportamentos térmicos verificando-se ser necessário mais do dobro da energia de 1ZS5 para aquecer 1ZS4 . Na estação de aquecimento, há uma distribuição das perdas com percentagens semelhantes entre ventilação, vãos envidraçados e paredes para a 1ZS4, e com um decréscimo da percentagem das paredes para a 1ZS5. Relativamente à estação de arrefecimento, constata-se que o maior ganho de energia ocorre pelos vãos envidraçados, seguindo-se os ganhos internos e ainda que a 1ZS4 ganha cerca do dobro da energia de 1ZS5 pelas paredes com envolvente exterior.

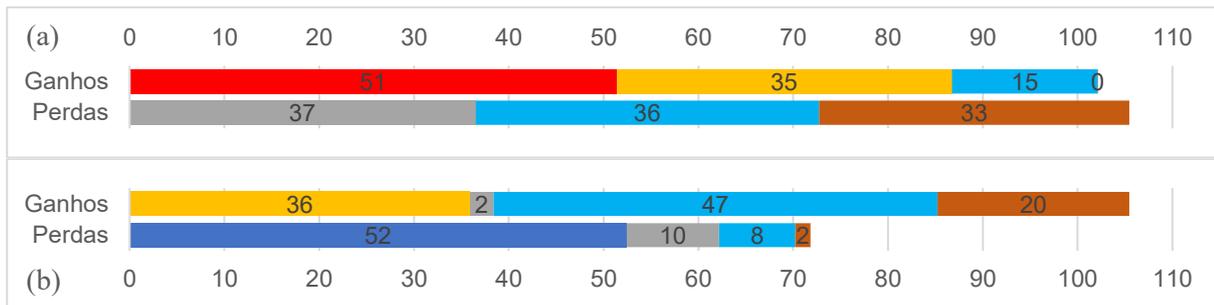


Fig. 5.8 - Ganhos e Perdas energéticas ,em kWh/ano, na estação de aquecimento (a) e na estação de arrefecimento (b) na zona de simulação 1ZS4, para o cenário de utilização 1CU1

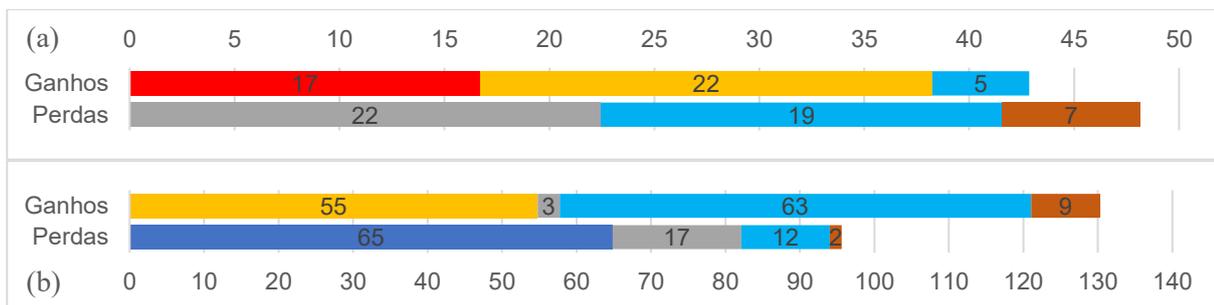


Fig. 5.9 - Ganhos e Perdas energéticas ,em kWh/ano, na estação de aquecimento (a) e na estação de arrefecimento (b) na zona de simulação 1ZS5, para o cenário de utilização 1CU1

A Figura 5.10 apresenta um modelo esquemático com base no certificado energético (CE), resume os componentes onde ocorrem perdas e ganhos de calor por metro quadrado da fração. Analisando a Figura 5.10, de um modo geral, tendo em conta as diferentes disposições arquitetónicas, verifica-se um paralelismo entre o comportamento térmico de cada zona de simulação (ZS). Na estação de aquecimento é pela ventilação que ocorrem as maiores perdas de energia, seguindo-se as paredes e portas e os vãos envidraçados. Quanto à estação de arrefecimento, os ganhos pelos vãos envidraçados e os ganhos internos têm a mesma ordem de grandeza e com um contributo inferior, os ganhos pelos vãos opacos.

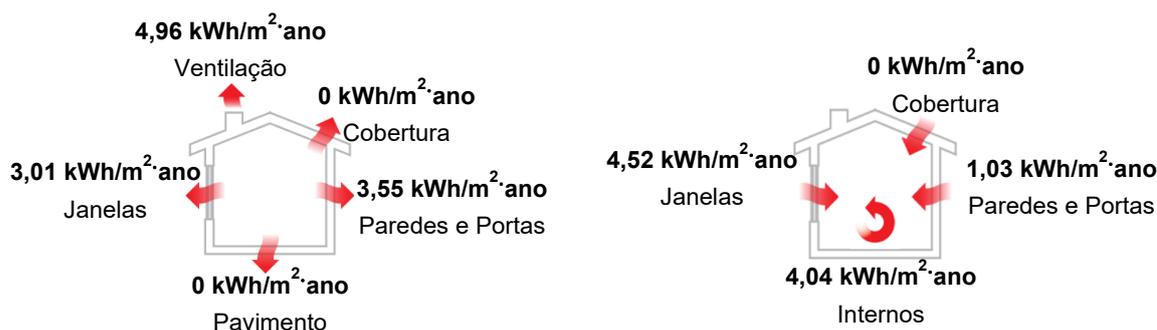


Fig. 5.10 - Ganhos e Perdas energéticas globais da fração ,em kWh/m<sup>2</sup>·ano, na estação de aquecimento (esquerda) e na estação de arrefecimento (direita) para o cenário de utilização 1CU1 (esquema adaptado de ADENE, 2019a)

Pela Figura 5.11 é possível identificar os meses mais críticos para cada estação, considerou-se como valor positivo a energia necessária fornecer para aquecimento (temperatura do ar interior mínima de 18°C) e como valor negativo a energia que é necessária retirar para que não se atinjam temperaturas do ar interior superiores 25°C. O mês de dezembro é o que carece de maior energia para aquecimento e posteriormente os meses de janeiro e fevereiro, importa ainda reter que, os meses de março e novembro apesar de terem necessidades energéticas para aquecimento estas apresentam valores muito inferiores relativamente aos restantes meses. No que diz respeito às necessidades de arrefecimento, o mês de outubro apresenta um valor residual e o mês de setembro é o que consome maior energia, seguem-se por ordem decrescente os meses de junho e agosto (com praticamente o mesmo peso), maio e julho.

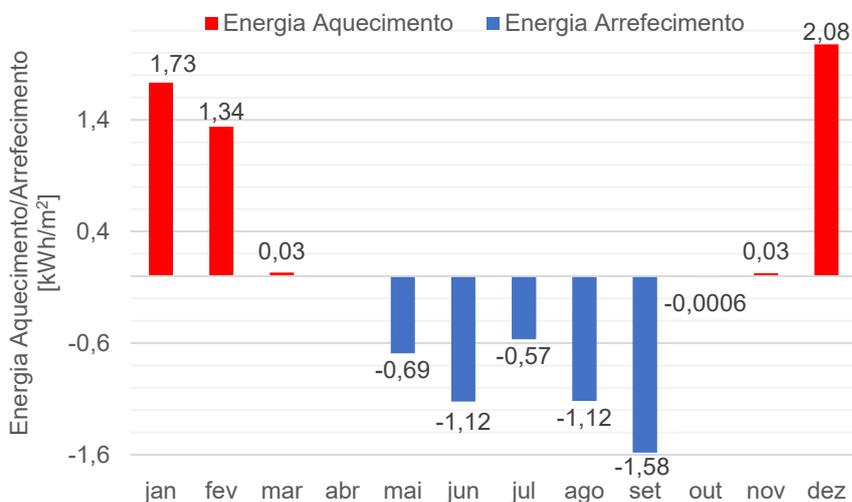


Fig. 5.11 - Energia mensal necessária para aquecimento e arrefecimento (por metros quadrado de pavimento) para o cenário de utilização 1CU1

#### 5.4.4.2. Conforto Térmico

##### a) Desconforto Passivo

O Quadro 5.7 apresenta a aplicação do modelo de conforto adaptativo da EN 15251 considerando a temperatura interior em regime de flutuação livre (cenário de utilização 1CU6), isto é, cenário onde não há intervenção de sistemas técnicos de aquecimento e arrefecimento. Representa a percentagem de cada categoria ( I, II, III e IV) para cada uma das zonas de simulação do caso estudo 1.

Quadro 5.7 - Percentagem de tempo em que se encontra na categoria I, II, III ou IV (segundo EN15251) em que cada zona de simulação (ZS), no caso estudo 1, considerando a temperatura interior em regime de flutuação livre

	<b>1ZS1</b>		<b>1ZS2</b>		<b>1ZS3</b>	
Categoria	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno
I	48,62	7,98	45,88	8,57	45,95	9,38
II	0,24	5,73	2,12	5,56	0,83	5,69
III	0,00	10,52	0,00	11,15	0,00	11,35
IV	0,00	26,91	0,00	26,71	0,00	26,79

	<b>1ZS4</b>		<b>1ZS5</b>	
Categoria	Verão	Inverno	Verão	Inverno
I	50,39	8,58	51,22	9,25
II	1,35	5,65	2,83	5,31
III	0,03	11,75	0,06	10,71
IV	0,00	22,23	0,00	20,63

Pela análise do Quadro 5.7, constata-se que o tempo se encontra dividido em igual percentagem, cerca de 50%, pelo período de verão e de inverno considerado pelo modelo.

No regime de verão, o edifício encontra-se em grande parte no nível de expectativa mais elevado (categoria I), sendo que nunca se encontra na categoria IV e que a percentagem que se encontra na categoria II e III é desprezável face à grandeza do valor da categoria I. Assim, conclui-se que no regime de verão os componentes passivos do edifício apresentam uma boa solução construtiva para o conforto térmico.

Por outro lado, o regime de inverno, tem uma maior distribuição das percentagens pelas categorias. A fração encontra-se mais tempo na categoria IV, correspondendo a uma percentagem de tempo que varia entre, cerca de 21% e 27%. Nas outras categorias, a distribuição pelas zonas de simulação (ZS) tem menor variação temporal e tem valores com ordem de grandeza de 8% para a categoria I, 6% para a categoria II e 11% para a categoria III. Assim, ao contrário do que acontece no regime de verão, no regime de inverno é necessário ter sistemas de aquecimento que complementem boas soluções construtivas de modo a garantir o conforto térmico.

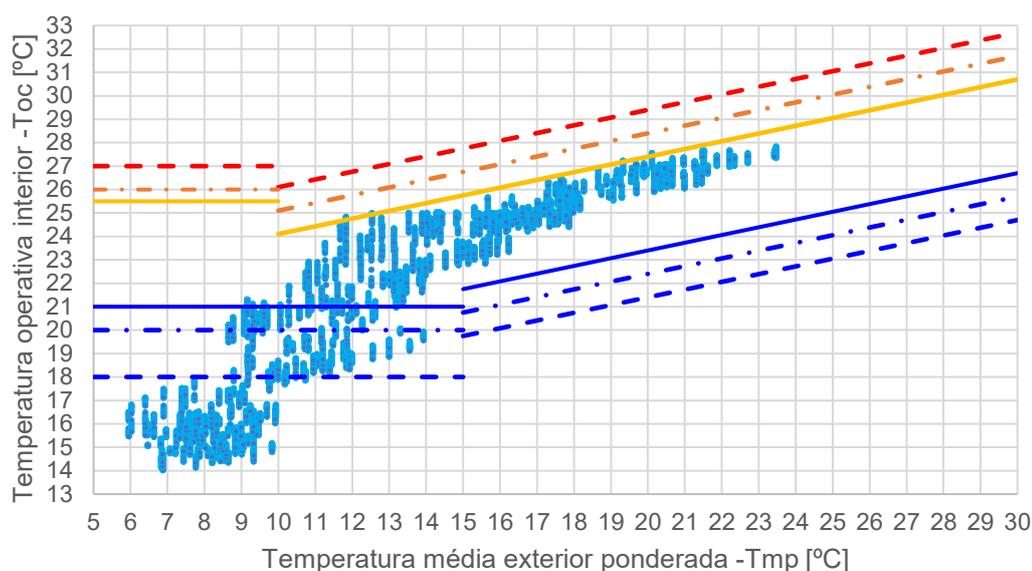


Fig. 5.12 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado à 1ZS1 do caso estudo 1, considerando a temperatura interior em regime de flutuação livre

A Figura 5.12 apresenta a distribuição da temperatura operativa interior (Toc) em função da temperatura média exterior ponderada (Tmp) da zona de simulação 1ZS1, no cenário de utilização 1CU6, e será importante para uma consideração abordada mais à frente.

b) Desconforto com aquecimento na base dos 18°C

O Quadro 5.8 apresenta a aplicação do modelo de conforto adaptativo da EN 15251 considerando o cenário de utilização 1CU1, para cada uma das zonas de simulação do caso estudo 1. Neste cenário de utilização é considerado um sistema de aquecimento de modo a garantir uma temperatura interior mínima de 18°C e um sistema de arrefecimento de modo a garantir um limite máximo de temperatura interior de 25°C. Apesar de o modelo de conforto adaptativo da EN 15251 não contemplar sistemas de ar condicionado, o modelo foi aplicado a este caso, uma vez que pode ser substituído pela abertura de janelas (ação que iria aumentar a taxa de renovação do ar e reduzir a temperatura) ou até por sistemas de arrefecimento como ventoinhas, tal como referido em 4.4.2.

Quadro 5.8 - Percentagem de tempo por categoria (segundo EN 15251) em que cada zona de simulação (ZS), no caso estudo 1, considerando a temperatura interior resultante de aquecimento contínuo na base dos 18°C

		<b>1ZS1</b>		<b>1ZS2</b>		<b>1ZS3</b>	
Categoria		Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno
I		48,93	7,97	47,03	8,71	46,45	9,49
II		0,09	5,76	0,00	5,65	0,00	5,62
III		0,00	23,92	0,00	23,29	0,00	27,69
IV		0,00	13,32	0,00	15,33	0,00	10,75

		<b>1ZS4</b>		<b>1ZS5</b>	
Categoria		Verão	Inverno	Verão	Inverno
I		51,00	8,98	52,67	9,90
II		0,08	6,76	0,15	6,99
III		0,00	23,66	0,00	26,09
IV		0,00	9,52	0,00	4,21

Por análise do Quadro 5.8, tal como no cenário de utilização 1CU6 (estudado anteriormente), no cenário de utilização 1CU1, constata-se que o tempo se encontra dividido em igual percentagem, cerca de 50%, para o período de verão e de inverno.

No regime de verão, conclui-se que o edifício se encontra praticamente na categoria I, correspondente ao nível de expectativa mais elevado, sendo registado a categoria II (nível de expectativa normal) em picos de temperatura excecionais.

Para uma melhor perceção do regime de inverno, é importante recorrer não só aos dados do Quadro 5.8, mas também às Figuras 5.12 e 5.13. Pelo Quadro 5.8, é possível observar uma variação, pelas diversas zonas de simulação, na categoria IV de 4,21% a 15,33%, mas comparando as Figuras 5.12 e 5.13 constata-se que os valores que representam a categoria IV estão no linear da categoria III (nível de expectativa aceitável).

Analisando com maior detalhe a temperatura operativa interior (Toc) resultado da simulação da zona de simulação 1ZS1, constata-se que o valor mínimo é de 17,92°C, uma diferença de 0,08°C em relação aos 18°C do limite inferior da categoria III e imperceptível ao ser humano. Assim, dada a variação desprezável e a semelhança desta verificação nas restantes zonas de simulação, no presente trabalho os valores apresentados na categoria IV serão tratados como pertencentes à categoria III.

Deste modo, no regime de inverno, os valores referentes às categorias I e II são de cerca de 9% e 6%, respetivamente. As alterações mais significativas, considerando o pressuposto referido anteriormente, está na ausência de valores registados na categoria IV passando para a categoria III (nível de expectativa aceitável), ficando esta categoria com a percentagem mais significativa com cerca de 38% para as zonas de simulação com vãos envidraçados menos expostos à radiação e 32% para vãos envidraçados mais expostos.

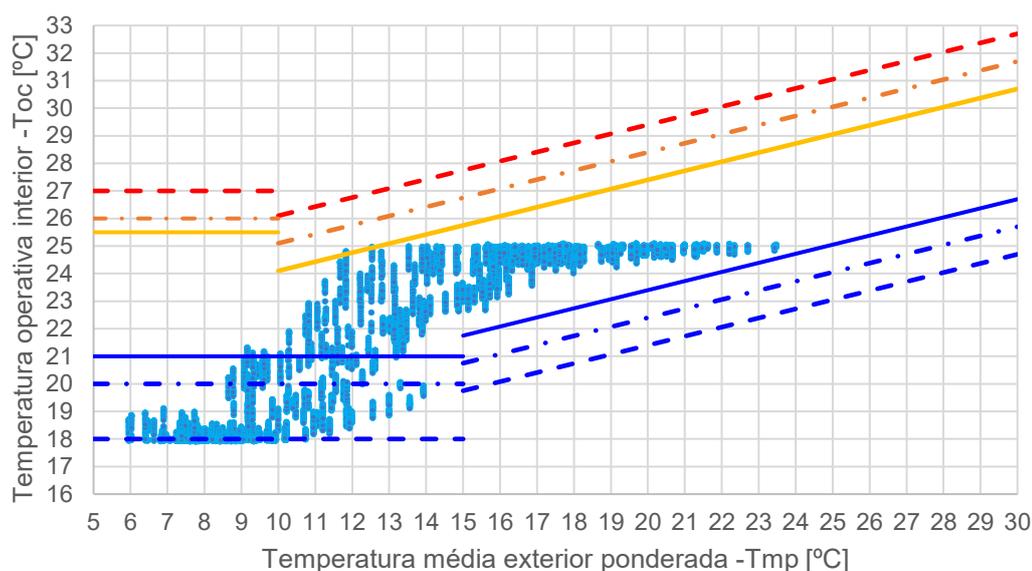


Fig. 5.13 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado à 1ZS1 do caso estudo 1, considerando a temperatura interior resultante de aquecimento contínuo na base dos 18°C

#### 5.4.4.3. SCE Vs. Regime Dinâmico

A versão do programa de simulação utilizada no presente trabalho (WUFI® Plus V3.0.3.0) não contabiliza as perdas pelas pontes térmicas lineares (PTL). Pretendendo-se assegurar que a comparação entre os valores apresentados pelo pré-certificado energético (2017b) e os valores resultantes da simulação dinâmica é realizada garantindo condições de semelhança, recorreu-se ao manual da versão 3.1 do WUFI® Plus (IBP, 2017) para verificar como essa versão contabiliza as perdas pelas pontes térmicas lineares (PTL). O cálculo é realizado recorrendo à Equação 6:

$$Q_{TB} = \sum_{i=1}^n \psi_i \cdot L_i \cdot (\vartheta_{exterior,i} - \vartheta_{zona,i}) \quad (6)$$

onde:

$Q_{TB}$  – Transferência de calor pelas pontes térmicas lineares [kWh]

$n$  – Número de pontes térmicas lineares

$\psi_i$  – Coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica linear  $i$  [W/(m·°C)]

$L_i$  – Desenvolvimento linear da ponte térmica linear  $i$  [m]

$\vartheta_{exterior,i}$  – Temperatura do ar para as condições definidas do lado exterior da ponte térmica linear  $i$  [°C]

$\vartheta_{zona,i}$  – Temperatura do ar na zona de simulação para a ponte térmica linear  $i$  [°C]

Foram extraídos das simulações os dados referentes à temperatura do ar exterior, à temperatura do ar na zona de simulação e da potência fornecido pelos sistemas de aquecimento e arrefecimento, sendo que apenas são consideradas transferências de calor quando os respetivos sistemas estão ativos.

O valor dos coeficientes de transmissão térmica linear ( $\psi$ ) utilizados são (Pré-certificado energético, 2017b):

- Fachada com caixilharia:  $\psi = 0,06 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ ;
- Fachada com pavimento intermédio:  $\psi = 0,24 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ ;
- Fachada com varanda:  $\psi = 0,61 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ ;
- Duas paredes verticais em ângulo saliente:  $\psi = 0,18 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ .

Pelo pré-certificado energético (2017b), para o caso estudo 1, as necessidades de energia útil para aquecimento ( $N_{ic}$ ) tomam o valor de 10,5 kWh/m<sup>2</sup>·ano correspondendo a um consumo de energia de 584,0 kWh/ano e as necessidades de energia útil para arrefecimento ( $N_{vc}$ ) tomam o valor de 7,0 kWh/m<sup>2</sup>·ano correspondendo a um consumo de energia de 391,4 kWh/ano.

Para o caso estudo 1, a energia para arrefecimento resultante da simulação em regime dinâmico ( $E_{v,simulação}$ ) foi de 280,2 kWh/ano e de 249,7 kWh/ano tendo em consideração o contributo das perdas pelas pontes térmicas lineares ( $E_{v,c/PTL}$ ). Assim, as necessidades de energia útil para arrefecimento ( $N_{vc,c/PTL}$ ) no cálculo em regime dinâmico tomam o valor de 4,5 kWh/m<sup>2</sup>·ano, uma redução de 36% em relação ao valor do pré-certificado energético (2017b).

O sistema de arrefecimento manteve as condições de funcionamento iguais em todos os cenários de utilização (CU) à exceção do 1CU6, ou seja, limitar a um máximo de 25°C a temperatura interior do ar. No cenário de utilização (CU) 1CU6, onde a temperatura do ar interior está sujeita a um regime de flutuação livre, foi registada uma temperatura interior do ar máxima de 29,2°C.

No Quadro 5.9 estão apresentados os valores do período de aquecimento resultantes do cálculo em regime dinâmico. As necessidades de energia útil para aquecimento ( $N_{ic,c/PTL}$ ) no cenário de utilização (1CU1) equiparável ao modelo de cálculo pelo Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto de 2013, toma o valor de 8,5 kWh/m<sup>2</sup>·ano, uma redução de 19% em relação ao valor do pré-certificado energético (2017b).

Quadro 5.9 - Necessidades de energia útil para aquecimento, no cálculo em regime dinâmico do caso estudo 1, nos cenários de utilização considerados

Cenários de Utilização	$E_{i,simulação}$ [kWh/ano]	$E_{i,c/PTL}$ [kWh/ano]	$N_{ic,c/PTL}$ [kWh/m <sup>2</sup> ·ano]	% $N_{ic,1CU1}$ [%]	$T_{min.}$ [°C]
1CU1	287,4	466,3	8,5	100,0	18,0
1CU2	267,7	399,0	7,2	85,6	17,1
1CU3	226,6	286,2	5,2	61,4	16,4
1CU4	196,3	233,9	4,2	50,2	16,1
1CU5	137,1	166,7	3,0	35,7	15,5
1CU6	-	-	-	-	14,0

Pretendendo-se ainda avaliar o impacto que a consideração de diferentes tempos de aquecimento tem sobre as necessidades energéticas (Figura 5.14), através do modelo de cálculo em regime dinâmico, constatou-se que uma redução de 24h para 12h (redução de 50% do tempo de aquecimento) contribuiu com uma redução de 14,4% das necessidades energéticas. Constata-se também para que ocorra uma redução de 50% das necessidades energéticas para aquecimento é necessária uma redução de 87,5% no

tempo de aquecimento, ou seja, uma redução de 24h para 3h neste caso em específico com as condições horárias definidas anteriormente, e ainda que com apenas 1h de aquecimento é gasto cerca de um terço da energia gasta em aquecimento contínuo e produz um aumento de 1,5°C em relação ao regime de temperatura em flutuação livre. Note-se que para aumentar a temperatura do ar interior cerca de 2°C, em relação ao regime de temperatura em flutuação livre é necessário aquecer 3h, para aumentar cerca de 3°C é necessário 12h e que com 24h de aquecimento a diferença de temperatura é de 4°C.

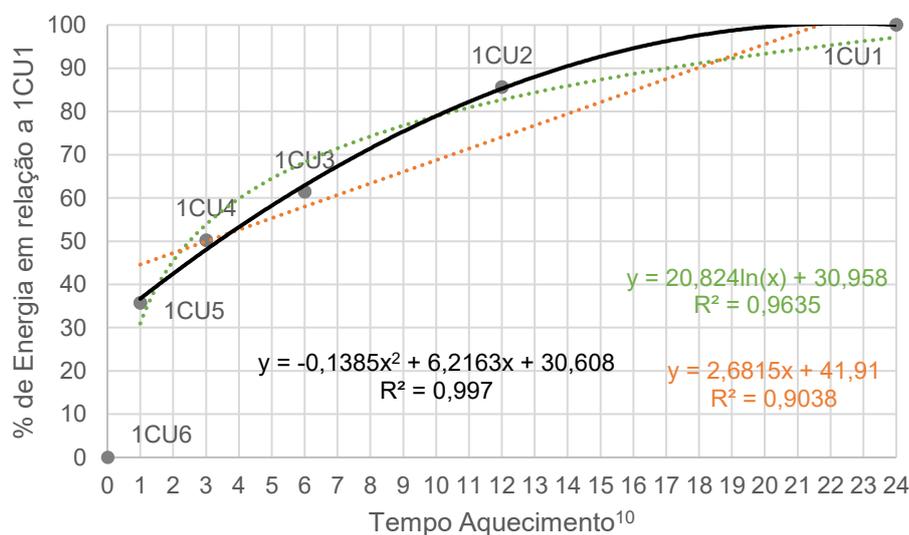


Fig. 5.14 - Impacto de diferentes tempos de aquecimento sobre as necessidades energéticas do caso estudo 1

Analisando a Figura 5.14 observa-se que o desenvolvimento das necessidades de energia para aquecimento não é linear. Facto que é melhor compreendido através da Figura 5.15, onde é analisado com maior detalhe a zona de simulação (ZS) 1ZS2, e que se constata que à medida que o tempo de aquecimento diminui existe um pico de potência e consequentemente um pico de energia que tem de ser fornecido para compensar a maior diferença entre a temperatura do ar interior e a temperatura do ar exterior.

<sup>10</sup> Durante o tempo de aquecimento definido, o sistema de aquecimento apenas fornece energia quando necessário para manter a temperatura do ar interior nunca inferior 18°C

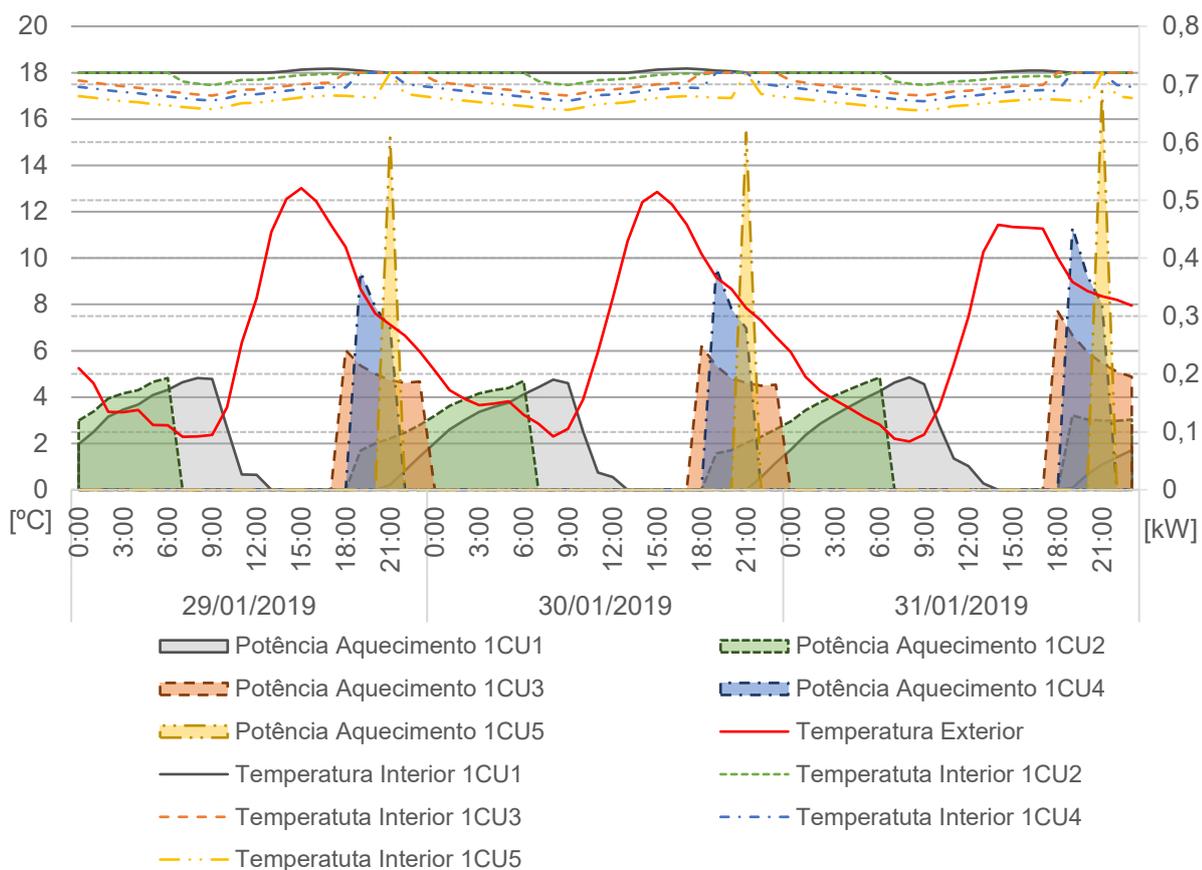


Fig. 5.15 - Variação da potência do sistema de aquecimento para os diferentes tempos de aquecimento, na 1ZS2, do caso estudo 1

#### 5.4.5. SÍNTESE DO SUBCAPÍTULO

No subcapítulo 5.4. foram apresentadas as características do caso estudo 1 e realizado um estudo do comportamento térmico do mesmo, para posteriores considerações no capítulo 6., em síntese conclui-se que:

- Segundo o modelo de conforto adaptativo da EN 15251, a fração em causa, de verão garante um bom conforto térmico sem recurso a meios a meios de arrefecimento ativos, pelo contrário, no inverno o conforto térmico só é obtido através de sistemas de técnicos, e considerando aquecimento contínuo com base nos 18°C, a fração encontra-se maioritariamente na categoria III (uma categoria abaixo da estipulada para construções novas);
- Comparando os valores obtidos no pré-certificado energético com os do programa de simulação dinâmica, a estação de arrefecimento em regime dinâmico apresenta uma redução de 36% face ao modelo de cálculo do sistema de certificação energética, para os valores considerados da taxa de renovação do ar (RPH) e da ativação dos sistemas de arrefecimento, uma vez que outros valores levariam a resultados diferentes. Quanto à estação de aquecimento, que merece maior atenção pelos critérios de conforto térmico adaptativo, também apresenta uma redução do valor das necessidades energéticas no cálculo em regime dinâmico;

- Tendo em atenção a elevada pobreza energética em Portugal (assunto tratado em 4.3.), reduzir o tempo de aquecimento, neste caso específico, não apresenta uma redução na mesma proporção com os custos de energia para atingir o conforto térmico. Aquecendo 3h por dia é necessário gastar metade da energia considerada no cenário de aquecimento contínuo;
- De um modo geral, as perdas de calor encontram-se distribuídas em percentagem semelhantes, sendo que a ventilação é por onde ocorrem as maiores perdas de energia.

## 5.5. CASO ESTUDO 2

### 5.5.1. ENQUADRAMENTO

A fração do caso estudo 2, com tipologia T3, localiza-se no primeiro andar de um edifício de habitação de luxo, possui uma área de 181,98 m<sup>2</sup> com um pé direito que varia entre 2,40 m e 2,60 m. Pelo Pré-Certificado Energético (2017b) obteve a classe energética A. O Quadro 5.10 indica as divisões da fração e respetivas áreas, zonas de simulação (ZS) e zonas não aquecidas (ZNA) consideradas no modelo de cálculo.

Quadro 5.10 - Geometria da fração do caso estudo 2

<b>Divisão</b>	<b>Zona Simulação / Zona Não Aquecida</b>	<b>Área [m<sup>2</sup>]</b>
quarto 1	2ZS1	16,21
quarto 2	2ZS2	15,80
quarto 3	2ZS3	22,06
instalações sanitárias	2ZS4	16,81
corredor 1	2ZS5	4,16
corredor 2	2ZS6	6,17
sala	2ZS7	85,59
cozinha	2ZS8	15,18
enu r/c	2ZNA1	-
caixa escadas	2ZNA2	-
caixa elevador	2ZNA3	-
varanda cozinha	2ZNA4	-

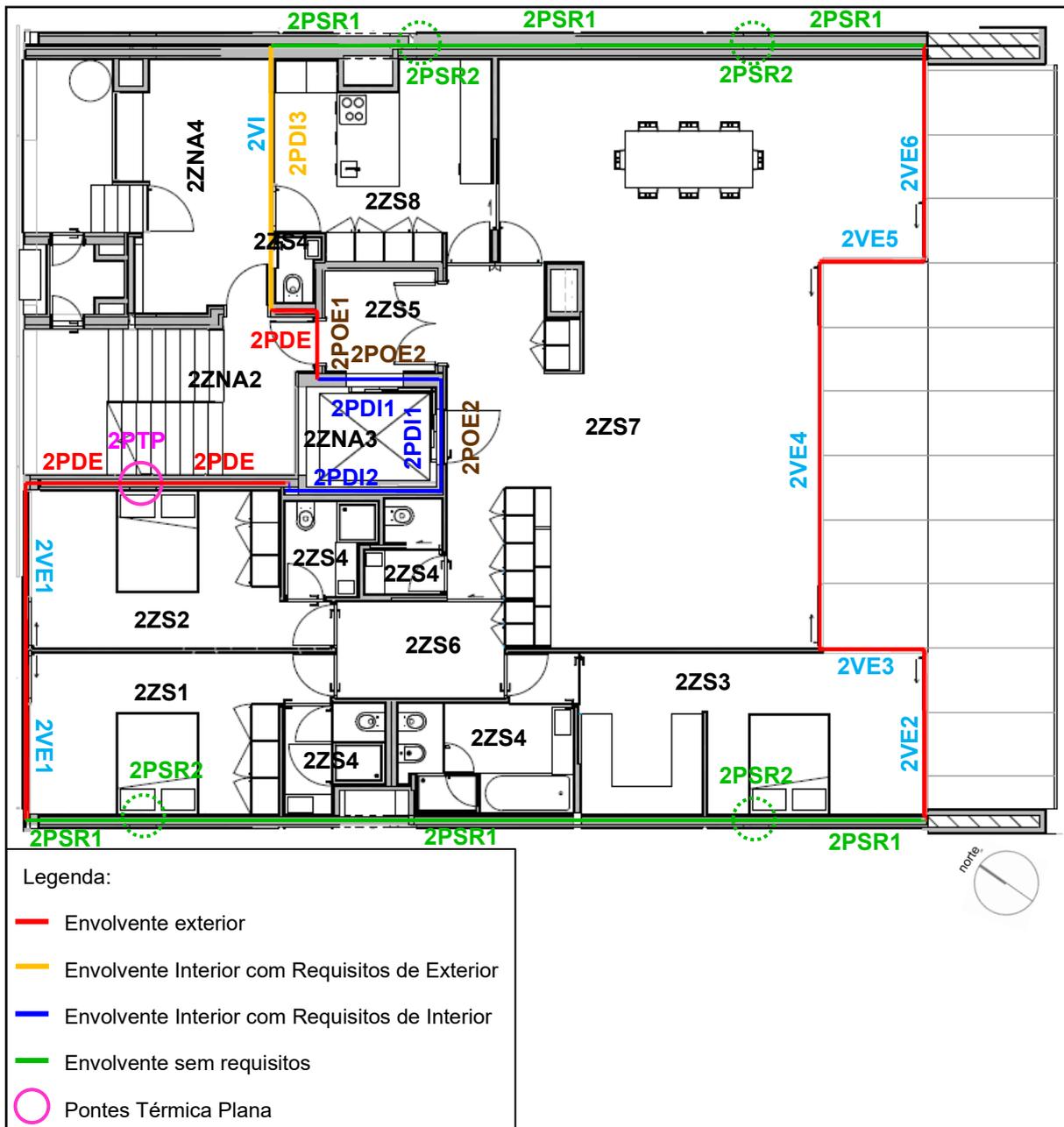


Fig. 5.16 - Envolvente térmica da fração do caso estudo 2

### 5.5.2. CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO

No caso estudo 2, os ganhos energéticos internos são contabilizados tal como descrito em 5.4.2., sendo o total da sua energia de  $4 \text{ W/m}^2$ .

Relativamente à ventilação, no caso estudo 2, procede-se através de um sistema de exaustão mecânica e admissão natural, com uma taxa de renovação horária de ar (RPH) de  $0,64 \text{ h}^{-1}$ . A admissão natural, através de grelhas autorreguláveis, instaladas nos quartos e sala, e extração de ar, através de uma rede de condutas e ventiladores, pelas instalações sanitárias.

No que diz respeito aos sistemas técnicos, a climatização da fração em causa é assegurada por um sistema de ar condicionado com uma potência nominal de 22,4 kW (sistema 1), por pavimento radiante com uma potência nominal de 10 kW (sistema 2) e por um recuperador de calor na sala com uma potência nominal de 8 kW (sistema 3). Os sistemas são aplicados a diferentes zonas de simulação (ZS) e a distribuição da potência está apresentada no Quadro 5.11.

Quadro 5.11 - Distribuição da potência dos sistemas técnicos pelas zonas de simulação (caso estudo 2)

Zona	Sistema 1 [%]	Sistema 1 [%]	Sistema 2 [%]	Sistema 3 [%]
	Arrefecimento	Aquecimento	Aquecimento	Aquecimento
2ZS1	9,0	9,0	-	-
2ZS2	8,7	8,7	-	-
2ZS3	12,1	12,1	-	-
2ZS4	9,2	-	9,2	-
2ZS5	2,3	2,3	-	-
2ZS6	3,4	3,4	-	-
2ZS7	47,0	-	-	47,0
2ZS8	8,3	-	8,3	-

Para a envolvente sem requisitos, uma vez que faz fronteira com frações habitacionais, quer ao nível das paredes, quer com o piso superior, considerou-se que essas mesmas frações estão sujeitas ao mesmo clima interior, isto é, a sua temperatura interior é a mesma da zona de simulação com que faz fronteira.

### 5.5.3. CARACTERIZAÇÃO DA ENVOLVENTE

De igual forma ao apresentado em 5.4.3., o presente subcapítulo apresenta de forma resumida, nos Quadros 5.12, 5.13 e 5.14, a solução construtiva e as suas propriedades, a caracterização detalhada encontra-se no Anexo A2.

#### 5.5.3.1. Paredes

Quadro 5.12 - Caracterização das paredes do caso estudo 2 (desenhos à escala 1:5)

2PDE - fachada ventilada		U = 0,40 W/m <sup>2</sup> .°C
11) gesso projetado	esp.=0,015 m	
14) bloco de betão de 20cm	esp.=0,20 m	
4) reboco	esp.=0,015 m	
7) lã de rocha	esp.=0,08 m	
13) caixa de ar ventilada	esp.=0,03 m	
12) granito	esp.=0,03 m	

Quadro 5.12 - Caracterização das paredes do caso estudo 2 (desenhos à escala 1:5) (continuação)

<b>2PTP - fachada ventilada</b>		<b>U = 0,43 W/m<sup>2</sup>.°C</b>	
11) gesso projetado	esp.=0,015 m		
5) betão armado	esp.=0,24 m		
7) lã de rocha	esp.=0,08 m		
13) caixa de ar ventilada	esp.=0,03 m		
12) granito	esp.=0,03 m		
<b>2PDI1 - parede interior</b>		<b>U = 0,72 W/m<sup>2</sup>.°C</b>	
15) painel de madeira	esp.=0,02 m		
7) lã de rocha	esp.=0,04 m		
5) betão armado	esp.=0,20 m		
<b>2PDI2 - parede interior</b>		<b>U = 0,65 W/m<sup>2</sup>.°C</b>	
1) cerâmica vidrada	esp.=0,02 m		
4) reboco	esp.=0,015 m		
16) tijolo de 7cm	esp.=0,07 m		
7) lã de rocha	esp.=0,04 m		
5) betão armado	esp.=0,20 m		
<b>2PDI3 - parede interior</b>		<b>U = 0,40 W/m<sup>2</sup>.°C</b>	
11) gesso projetado	esp.=0,015 m		
14) bloco de betão de 20cm	esp.=0,20 m		
4) reboco	esp.=0,015 m		
7) lã de rocha	esp.=0,08 m		
13) caixa de ar ventilada	esp.=0,03 m		
12) granito	esp.=0,03 m		
<b>2PSR1 - parede sem requisitos</b>		<b>U = 0,60 W/m<sup>2</sup>.°C</b>	
11) gesso projetado	esp.=0,015 m		
17) bloco de betão de 15cm	esp.=0,15 m		
7) lã de rocha	esp.=0,04 m		
17) bloco de betão de 15cm	esp.=0,15 m		
11) gesso projetado	esp.=0,015 m		

Quadro 5.12 - Caracterização das paredes do caso estudo 2 (desenhos à escala 1:5) (continuação)

<b>2PSR2 - parede sem requisitos</b>		<b>U = 0,70 W/m<sup>2</sup>.°C</b>
11) gesso projetado	esp.=0,015 m	
5) betão armado	esp.=0,15 m	
7) lã de rocha	esp.=0,04 m	
5) betão armado	esp.=0,15 m	
11) gesso projetado	esp.=0,015 m	
<b>2PD – parede divisória</b>		<b>U = 0,45 W/m<sup>2</sup>.°C</b>
19) gesso cartonado em placa	esp.=0,01 m	
7) lã de rocha	esp.=0,08 m	
19) gesso cartonado em placa	esp.=0,01 m	

### 5.5.3.2. Pavimentos

Quadro 5.13 - Caracterização dos pavimentos do caso estudo 2 (desenhos à escala 1:10)

<b>2PVE – pavimento inferior exterior</b>		<b>U = 0,34 W/m<sup>2</sup>.°C</b>
1) cerâmica vidrada	esp.=0,015 m	
8) betão de regularização	esp.=0,03 m	
18) betão leve de enchimento	esp.=0,17 m	
5) betão armado	esp.=0,30 m	
7) lã de rocha	esp.=0,08 m	
13) caixa de ar ventilada	esp.=0,30 m	
12) granito	esp.=0,03 m	

Quadro 5.13 - Caracterização dos pavimentos do caso estudo 2 (desenhos à escala 1:10) (continuação)

<b>2PVI – pavimento inferior interior</b>		<b>U = 0,34 W/m<sup>2</sup>.°C</b>
<b>2PVS – pavimento superior sem requisitos</b>		<b>U = 0,35 W/m<sup>2</sup>.°C</b>
1) cerâmica vidrada	esp.=0,015 m	
8) betão de regularização	esp.=0,03 m	
18) betão leve de enchimento	esp.=0,17 m	
5) betão armado	esp.=0,30 m	
7) lã de rocha	esp.=0,08 m	
19) gesso cartonado em placa	esp.=0,01 m	

### 5.5.3.3. Portas, Vãos Envidraçados e Proteções Solares

Tal como no caso estudo 1, não foi possível caracterizar todos os materiais que compõem as portas. Assim, aplicou-se o mesmo princípio, mantendo-se o valor do coeficiente de transmissão térmica (U) mencionada na memória descritiva e justificativa (2017a) sendo apresentados de seguida:

- 2POE1 – Porta de entrada: U = 1,78 W/m<sup>2</sup>.°C;
- 2POE2 – Porta de entrada elevadores: U = 1,53 W/m<sup>2</sup>.°C;
- 2POD – Porta de separação de divisões: U = 1,35 W/m<sup>2</sup>.°C.

Relativamente aos vãos envidraçados exteriores, estes são constituídos por caixilharia fixa, fixa com portas de correr ou fixa com portas de batente, em alumínio com corte térmico, com vidro duplo e caixa-de-ar preenchida a árgon. As proteções solares móveis são compostas por um painel deslizante exterior em grelha de lâminas orientáveis cobrindo 50% do envidraçado, em alguns vãos existem ainda proteções solares fixas<sup>11</sup>. As proteções solares móveis ativam-se sempre que a temperatura de conforto de verão é atingida (no presente trabalho considerou-se 25°C). O Quadro 5.14 resume as propriedades dos vãos envidraçados e proteções solares (memória descritiva e justificativa, 2017a):

<sup>11</sup> Na versão utilizada do WUFI® Plus apenas é permitida a introdução de palas horizontais.

Quadro 5.14 - Caracterização dos vãos envidraçados e proteções solares do caso estudo 2

vão envidraçado	Uw [W/m <sup>2</sup> .°C]	proteção solar? móvel / fixa	resistência térmica adicional [m <sup>2</sup> .°C/W]:	
			proteção solar	cavidade de ar
2VE1	1,66	sim / não		
2VE2	1,68	sim / não		
2VE3	1,49	sim / sim		
2VE4	1,57	sim / sim	desprezável / 0,18	
2VE5	1,49	sim / sim		
2VE6	1,61	sim / sim		
2VI	1,48	sim / sim		

#### 5.5.4. ANÁLISE RESULTADOS

##### 5.5.4.1. Regime Dinâmico

A análise de resultados é realizada aplicando os dados extraídos referentes ao cenário de utilização 2CU1. Tal como em 5.4.4.1., o balanço energético não é obtido através do somatório entre os ganhos e perdas apresentados e as Figuras 5.17 a 5.24 tem a seguinte legenda:



Pela análise da Figura 5.17, na estação de aquecimento a principal perda de energia ocorre pelo vão envidraçado e com menos 33% desse valor as perdas por ventilação, ocorrem ainda perdas pelo pavimento em contacto com um espaço não aquecido, no entanto é um valor residual. Quanto à estação de arrefecimento, como elemento que conduz a maiores ganhos, também o vão envidraçado, e com cerca de um quinto desse valor os ganhos internos e ainda com valores bastante inferiores os ganhos pela ventilação e pelo pavimento.

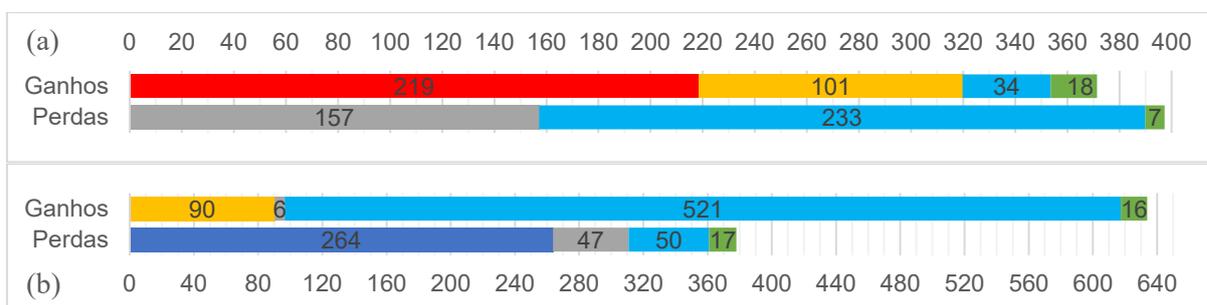


Fig. 5.17 - Ganhos e Perdas energéticas ,em kWh/ano, na estação de aquecimento (a) e na estação de arrefecimento (b) na zona de simulação Z2S1, para o cenário de utilização 2CU1

Da análise da Figura 5.18, sendo um compartimento com uma geometria idêntica a 2ZS1, à exceção de uma das paredes estar em contacto com um local não aquecido, tem um comportamento térmico muito semelhante a este tanto na estação de aquecimento, como de arrefecimento. O vão envidraçado é o principal elemento de perdas e ganhos de calor conforme a estação, a parede e pavimento com valores da mesma ordem de grandeza também para ambos os casos. Constatam-se que, com menor valor em relação ao vão envidraçado, mas ainda assim com um peso relevante, as perdas por ventilação na estação de aquecimento e os ganhos internos na estação de arrefecimento.

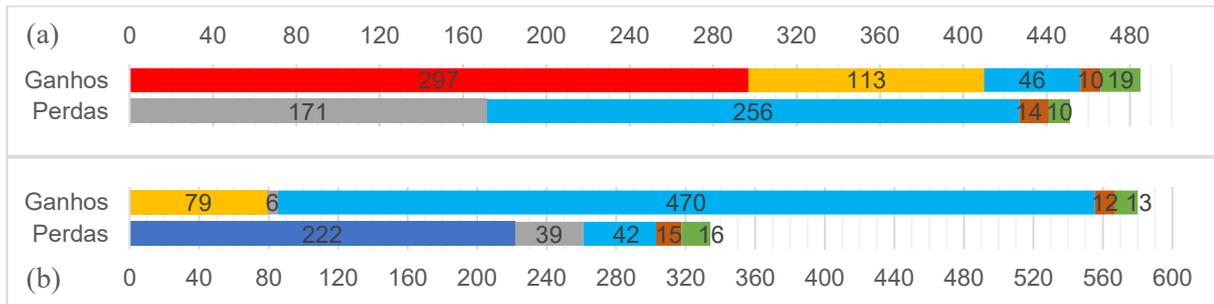


Fig. 5.18 - Ganhos e Perdas energéticas ,em kWh/ano, na estação de aquecimento (a) e na estação de arrefecimento (b) na zona de simulação 2ZS2, para o cenário de utilização 2CU1

Pelos valores apresentados na Figura 5.19 verifica-se que, o comportamento térmico segue o mesmo princípio na distribuição dos pesos da energia necessária para aquecimento e arrefecimento de 2ZS1 e 2ZS2, no entanto como possui uma área ligeiramente maior e está orientado a sul, na estação de aquecimento não tem um valor de perdas tão agravado e pelo contrário, na estação de arrefecimento, o valor dos ganhos é agravado.

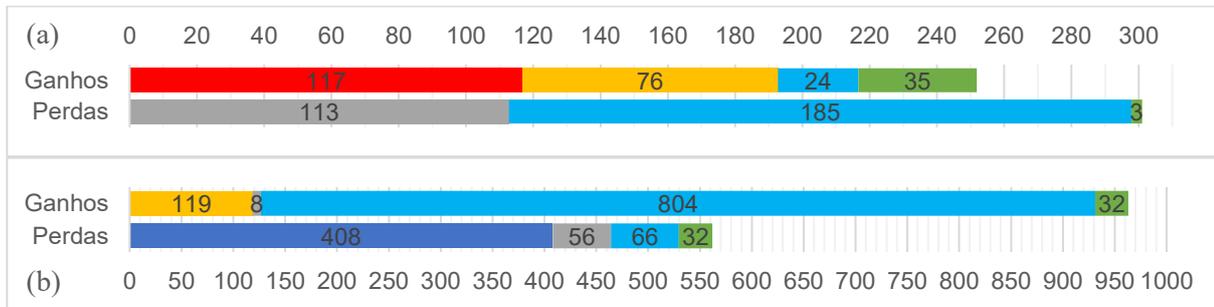


Fig. 5.19 - Ganhos e Perdas energéticas ,em kWh/ano, na estação de aquecimento (a) e na estação de arrefecimento (b) na zona de simulação 2ZS3, para o cenário de utilização 2CU1

A Figura 5.20 engloba os dados referentes a todas as instalações sanitárias. A análise destes dados aponta que, na estação de aquecimento, uma maior perda de energia por ventilação, com cerca de metade desse valor perda pelos vãos opacos (paredes e portas) e ainda com um valor ainda menor perda pelo pavimento. Relativamente à estação de arrefecimento, verifica-se que os ganhos internos são a maior fonte de ganhos e que com cerca de um quarto desse valor os ganhos pela ventilação e vãos opacos.

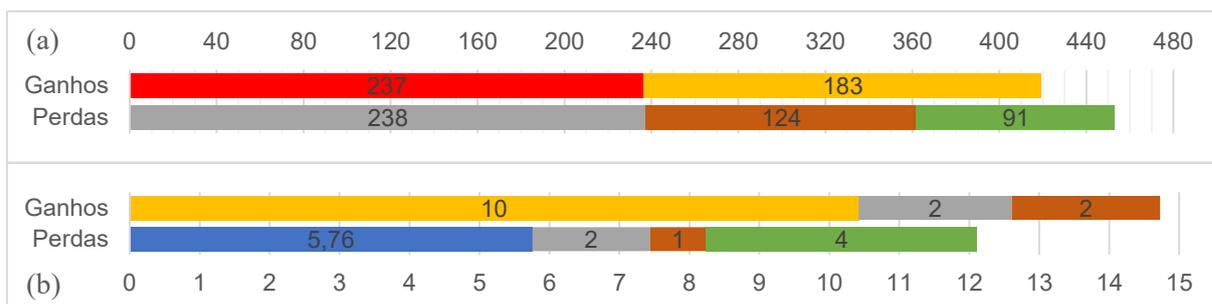


Fig. 5.20 - Ganhos e Perdas energéticas ,em kWh/ano, na estação de aquecimento (a) e na estação de arrefecimento (b) na zona de simulação 2ZS4, para o cenário de utilização 2CU1

As Figuras 5.21 e 5.22 dizem respeito aos dados dos corredores. Devido à sua diferente disposição em planta, na 2ZS6 devido às trocas de calor com as zonas de simulação (ZS) com que faz fronteira, não necessita de aquecimento para manter a temperatura do ar interior nos limites definidos, por essa mesma razão não são apresentadas as perdas pelo pavimento (elemento com envolvente interior), uma vez que na prática não tem necessidades energéticas de aquecimento. Note-se que, o período da estação de aquecimento e o período da estação de arrefecimento dizem respeito ao período em que os respetivos sistemas técnicos estão ativos, divergindo entre as várias zonas de simulação (ZS).

Ainda da análise das Figuras 5.21 e 5.22 constata-se que, na 2ZS5 as perdas na estação de aquecimento são proporcionais à área de cada elemento dados que são elementos que fazem fronteira com espaços não aquecidos onde foram consideradas as mesmas condições de temperatura, ou seja, como a área das paredes em conjunto com a porta é maior que a área do pavimento, as perdas pelas paredes e porta são maiores do que pelo pavimento. Quanto à estação de arrefecimento, na 2ZS5 os ganhos internos e ganhos pelas paredes e porta contribuem com valor muito semelhante, já na 2ZS6 os ganhos pelo pavimento são desprezáveis, sendo os ganhos internos a fonte de ganhos.

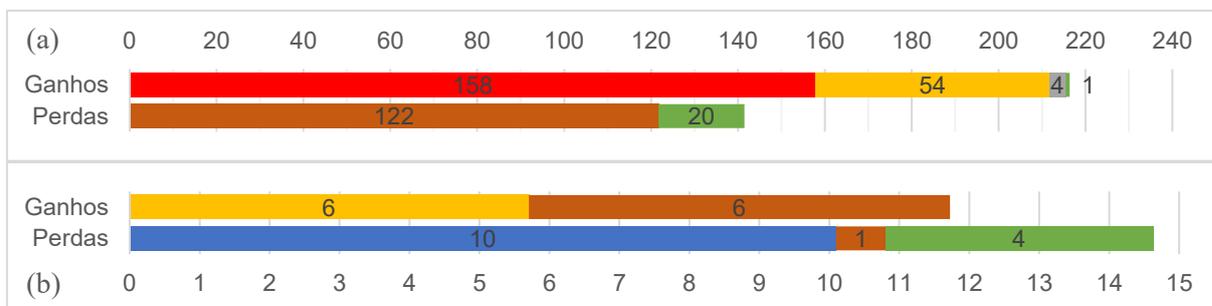


Fig. 5.21 - Ganhos e Perdas energéticas ,em kWh/ano, na estação de aquecimento (a) e na estação de arrefecimento (b) na zona de simulação 2ZS5, para o cenário de utilização 2CU1

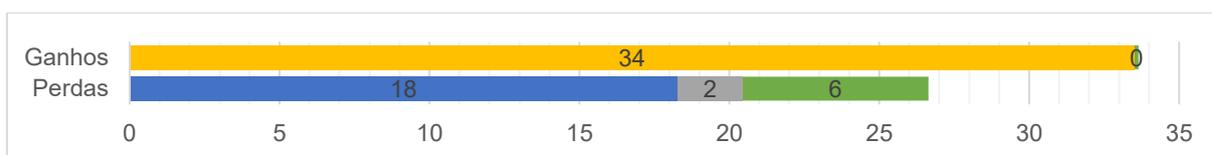


Fig. 5.22 - Ganhos e Perdas energéticas ,em kWh/ano, na estação de arrefecimento para a zona de simulação 2ZS6, no cenário de utilização 2CU1

Analisando a Figura 5.23 é evidente que apresenta valores superiores às restantes zonas de simulação (ZS), o que se deve à sua maior área em relação às restantes zonas de simulação (ZS). Assim, na estação de aquecimento, as perdas por ordem decrescente são, vãos envidraçados, ventilação, parede e porta, e pavimento, sendo que as perdas pelos vãos envidraçados e pela ventilação são as mais representativas. No que diz respeito à estação de arrefecimento, os vãos envidraçados são a principal fonte de ganhos, seguindo-se os ganhos internos com cerca de um quarto da contribuição dos vãos envidraçados e com valores bastantes inferiores, ganhos pela ventilação, pavimento e ainda parede e porta.

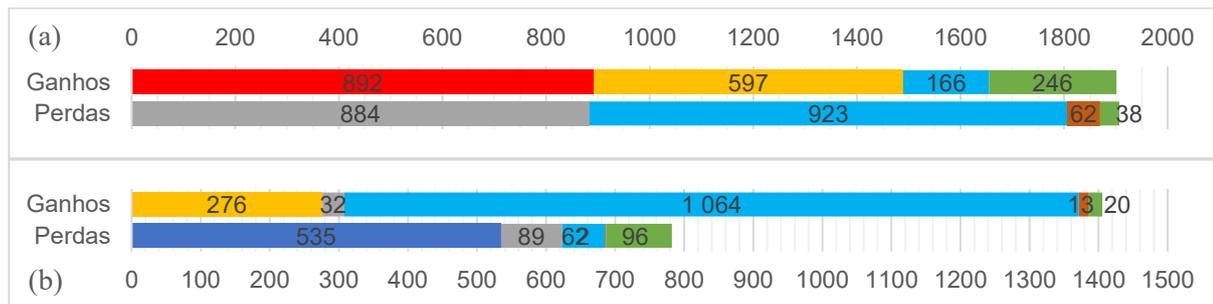


Fig. 5.23 - Ganhos e Perdas energéticas ,em kWh/ano, na estação de aquecimento (a) e na estação de arrefecimento (b) na zona de simulação 2ZS7, para o cenário de utilização 2CU1

Pela análise da Figura 5.24 constata-se que, o vão envidraçado é a principal fonte de perdas de calor, na estação de aquecimento, seguindo-se as perdas pelo pavimento e parede. Relativamente à estação de arrefecimento, a principal fonte de ganhos energéticos são os ganhos internos e cerca de metade desse valor corresponde os ganhos pelos vãos envidraçados. Existem ainda ganhos pela parede, mas face ao seu peso em relação aos restantes ganhos é uma fonte de ganhos desprezável.

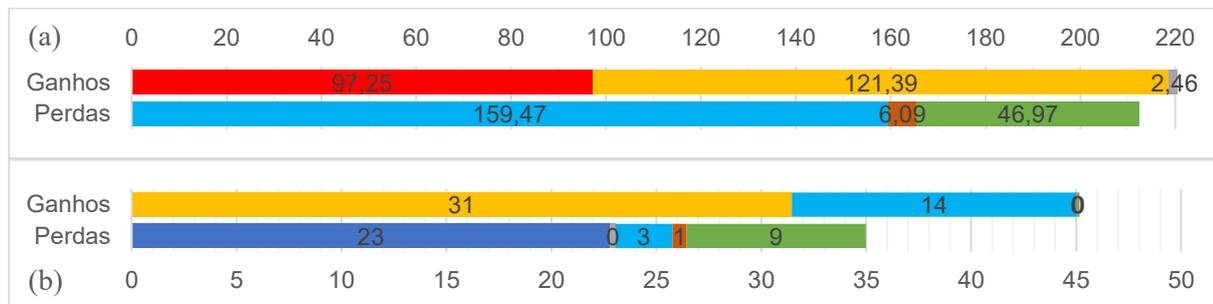


Fig. 5.24 - Ganhos e Perdas energéticas ,em kWh/ano, na estação de aquecimento (a) e na estação de arrefecimento (b) na zona de simulação 2ZS8, para o cenário de utilização 2CU1

Um modelo esquemático com base no certificado energético (SCE), onde é contabilizado o total das perdas e ganhos de calor por metro quadrado da fração é apresentado na Figura 5.25. Analisando os dados verifica-se que, na estação de aquecimento, as perdas pelos vãos envidraçados e ventilação tem uma ordem de grandeza semelhante e são as principais fontes de perdas, ocorrem ainda perdas pelos vãos opacos correspondendo a um peso de 14% do total de perdas. Quanto à estação de arrefecimento, a fonte predominante de ganhos são os vãos envidraçados, seguindo-se com um peso de cerca de 18% os ganhos internos e ainda com um valor próximo de zero, os ganhos pelas paredes e portas.

Comparando a análise de cada zona de simulação (ZS) com o comportamento térmico geral da fração, é possível identificar que as zonas de simulação (ZS) sem vãos envidraçados têm uma área com pouca influência no comportamento geral da fração e que esta segue o comportamento típico das zonas de simulação (ZS) com vãos envidraçados, sobretudo por estas deterem grandes áreas de envidraçado.

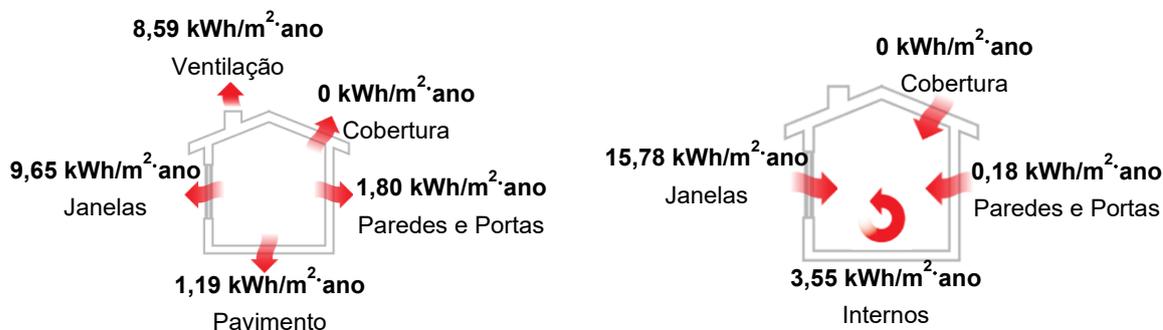


Fig. 5.25 - Ganhos e Perdas energéticas globais da fração ,em kWh/m<sup>2</sup>·ano, na estação de aquecimento (esquerda) e na estação de arrefecimento (direita) para o cenário de utilização 2CU1 (esquema adaptado de ADENE, 2019a)

A Figura 5.26 indica a energia gasta pelos sistemas técnicos para garantir uma temperatura do ar interior mínima e máxima de 18°C e 25°C, respetivamente. Os meses com necessidades energéticas para aquecimento, por ordem decrescente de importância, são dezembro, janeiro, fevereiro, março, abril e novembro, sendo o valor do mês de maio residual e dos meses de março, novembro e abril com valores cerca de 70% inferior relativamente aos três meses com valores mais elevados. Relativamente à energia para arrefecimento, não existindo uma variação tão acentuada, todos os meses, à exceção de fevereiro, é necessário um gasto de energia, apesar de ter um valor residual nos meses de janeiro, março, abril, novembro e dezembro. Note-se que, apesar de não parece intuitivo, para o clima português, ter necessidades energéticas de arrefecimento (segundo os critérios definidos) nos meses de janeiro, novembro e dezembro, quando analisado com maior detalhe (Figura 5.27) verifica-se que ocorre apenas nos compartimentos com orientação a sul por estes terem uma grande área envidraçada e por consequentemente maiores ganhos solares.

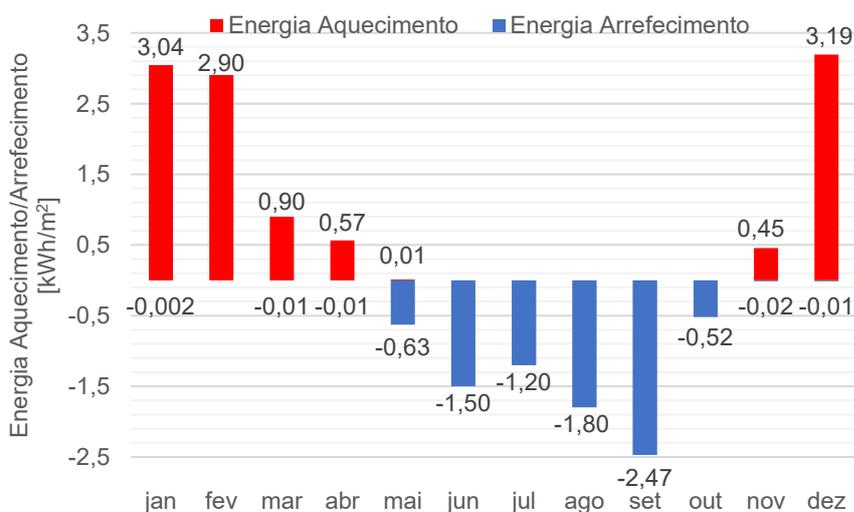


Fig. 5.26 - Energia mensal necessária para aquecimento e arrefecimento (por metros quadrado de pavimento) para o cenário de utilização 2CU1

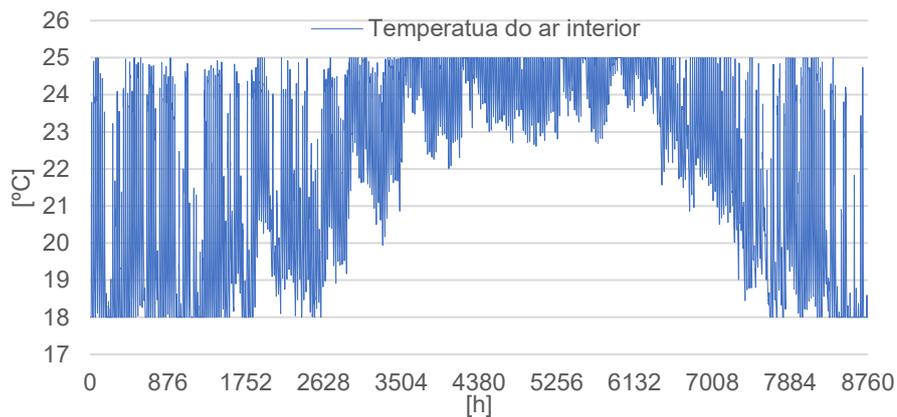


Fig. 5.27 - Temperatura do ar interior [°C], na zona de simulação 2ZS3, ao longo do período simulado

#### 5.5.4.2. Conforto Térmico

##### a) Desconforto passivo

No caso estudo 2, tratando-se de um edifício com soluções arquitetónicas e construtivas distintas do caso estudo 1, foi também aplicado o modelo de conforto adaptativo da EN 15251 de modo a perceber se existem diferenças nas conclusões. O Quadro 5.15 apresenta a percentagem de cada categoria ( I, II, III e IV) para as respetivas zonas de simulação considerando a temperatura interior em regime de flutuação livre, ou seja, no cenário de utilização 2CU6.

Quadro 5.15 – Percentagem de tempo em que se encontra na categoria I, II, III ou IV (segundo EN 15251) em que cada zona de simulação (ZS), no caso estudo 2, considerando a temperatura interior em regime de flutuação livre

	<b>2ZS1</b>		<b>2ZS2</b>		<b>2ZS3</b>		<b>2ZS4</b>	
Categoria	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno
I	39,97	8,01	40,66	6,83	40,50	11,27	38,72	1,99
II	8,13	4,81	7,85	4,70	7,89	6,13	1,72	5,51
III	5,04	7,37	3,46	8,89	4,37	14,15	0,87	15,19
IV	2,59	24,08	0,75	26,87	2,98	12,71	0,00	36,00

	<b>2ZS5</b>		<b>2ZS6</b>		<b>2ZS7</b>		<b>2ZS8</b>	
Categoria	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno
I	30,63	1,65	41,96	7,45	41,06	7,26	40,06	3,18
II	7,92	2,92	9,47	8,09	3,69	5,50	1,27	4,71
III	1,79	11,93	0,32	9,69	1,24	15,18	0,92	15,92
IV	0,60	42,57	0,00	20,03	0,48	25,60	0,00	33,93

Pela análise do Quadro 5.15, constata-se que também no caso estudo 2, para o cenário de utilização 2CU6, o tempo atribuído ao regime de verão é muito próximo ao atribuído ao regime de inverno. No entanto, existem diferenças na distribuição da percentagem do tempo pelas diferentes categorias, sobretudo no regime de verão.

No regime de verão, há uma diminuição da classificação do nível de expectativa. A categoria I, correspondente ao nível de expectativa mais elevado tem valores na ordem dos 40%, à exceção da zona de simulação 2ZS5 com um valor de 30%. A categoria IV não é atribuída 2ZS4, 2ZS6 e 2ZS8 e nas restantes zonas de simulação apresenta um valor máximo de 3%, não sendo muito representativo. Relativamente as restantes categorias (II e III) não é possível obter um padrão uma vez que há uma variação significativa das condições fronteira. Apesar das divergências apresentadas, é razoável concluir-se que, para o regime de verão, não há desconforto na generalidade do tempo.

Relativamente ao regime de inverno, constata-se que a zona de simulação 2ZS3, é a que apresenta uma distribuição mais semelhante do tempo pelas categorias, sendo ainda a que apresenta menor percentagem na categoria IV. Note-se a semelhança nos valores entre 2ZS1 e 2ZS2 e ainda entre 2ZS4 e 2ZS5, dado que também apresentam condições fronteira com características em comum. A zonas de simulação 2ZS7 e 2ZS8, apresentam resultados semelhantes para as categorias III e IV e a variação nas restantes categorias (I e II) podem ser justificadas pelas pela sua orientação, isto é, 2ZS7 está mais exposta à radiação solar e por isso apresenta maior percentagem nas categorias referidas, com especial destaque para a categoria I. A zona de simulação 2ZS6 devido a ter condições fronteira distintas das restantes zonas de simulação, as percentagens nas respetivas categorias também elas diferem das restantes zonas de simulação. Apresenta um valor de 20% na categoria IV e cerca de metade em cada uma das restantes categorias (I, II e III). Atendendo aos valores apresentados, conclui-se que é necessário ter sistemas de aquecimento de modo a garantir o conforto térmico.

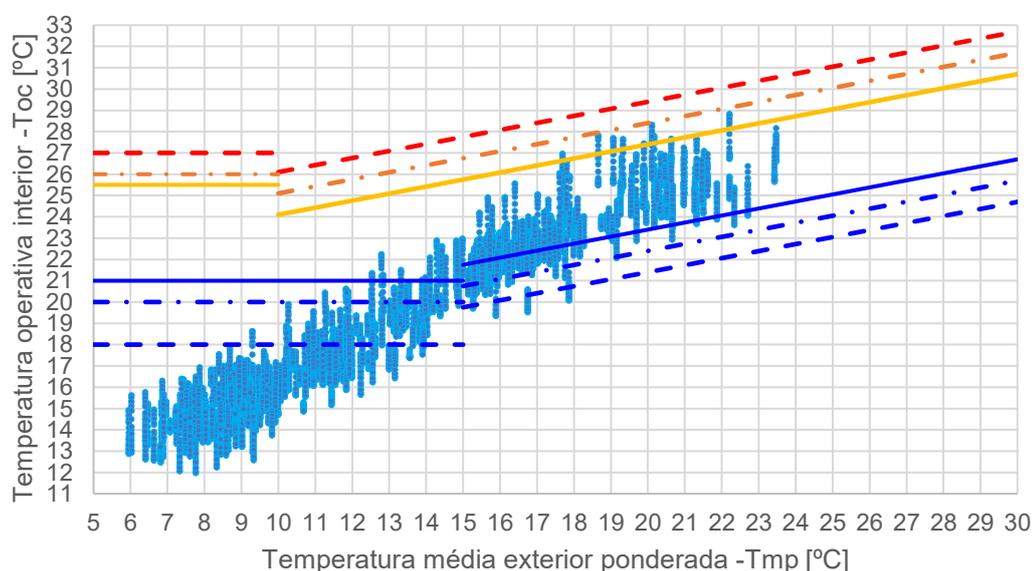


Fig. 5.28 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado à 2ZS5 do caso estudo 2, considerando a temperatura interior em regime de flutuação livre

b) Desconforto com aquecimento na base dos 18°C

O Quadro 5.16 apresenta a aplicação do modelo de conforto adaptativo da EN 15251 considerando o cenário de utilização 2CU1, para cada uma das zonas de simulação do caso estudo 2. Neste cenário de utilização são considerados diversos sistemas técnicos de modo a garantir uma temperatura interior mínima de 18°C e um sistema de arrefecimento de modo a garantir um limite máximo de temperatura interior de 25°C. Pelas mesmas razões descritas em 5.4.4.2. aplica-se o modelo da EN 15251 ao cenário de utilização referido.

Quadro 5.16 – Percentagem de tempo por categoria (segundo EN 15251) em que cada zona de simulação (ZS), no caso estudo 2, considerando a temperatura interior resultante de aquecimento contínuo na base dos 18°C

<b>2ZS1</b>		<b>2ZS2</b>		<b>2ZS3</b>		<b>2ZS4</b>		
Categoria	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno
I	46,64	10,26	44,73	8,40	45,67	14,77	36,64	1,60
II	2,19	7,10	2,68	6,60	2,45	8,20	3,42	6,14
III	0,00	19,08	0,00	20,23	0,02	22,36	0,84	24,39
IV	0,00	14,72	0,00	17,36	0,00	6,53	0,00	26,96
<b>2ZS5</b>		<b>2ZS6</b>		<b>2ZS7</b>		<b>2ZS8</b>		
Categoria	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno
I	25,61	1,61	46,20	10,67	38,99	9,43	39,56	3,10
II	11,32	3,32	0,00	10,33	4,73	7,27	1,50	5,54
III	2,92	26,36	0,00	32,80	0,56	26,04	0,71	26,61
IV	0,51	28,34	0,00	0,00	0,00	12,99	0,00	22,99

Ao contrário do que se verifica nos casos anteriores, no cenário de utilização 2CU1 há uma maior percentagem de tempo no regime de inverno. A diferença percentual é apresentada de seguida:

- **2ZS1: 2,33%** (48,83% verão / 51,16% inverno);
- **2ZS2: 5,18%** (47,41% verão / 52,59% inverno);
- **2ZS3: 3,72%** (48,14% verão / 51,86% inverno);
- **2ZS4: 18,19%** (40,90% verão / 59,09% inverno);
- **2ZS5: 19,27%** (40,36% verão / 59,63% inverno);
- **2ZS6: 7,60%** (46,20% verão / 53,80% inverno);
- **2ZS7: 11,45%** (44,28% verão / 55,73% inverno);
- **2ZS8: 16,47%** (41,77% verão / 58,24% inverno).

No regime de verão, conclui-se que o edifício se encontra praticamente no nível de expectativa mais elevado (categoria I), sendo registado a categoria II e III em percentagem de tempo reduzido. Em nenhuma zona de simulação, à exceção de 2ZS5, é atribuída a categoria IV, ainda assim, em 2ZS5 a percentagem de tempo em categoria IV não é considerável quando comparada com as outras categorias (I, II e III).

Por comparação da Figura 5.28 e 5.29, sabendo ainda que o valor mínimo da temperatura operativa interior (Toc) resultante da simulação é de 17,68°C, uma diferença de 0,32°C em relação aos 18°C do limite inferior da categoria III. Dado a ocorrência desta verificação nas restantes zonas de simulação, tal como em 5.4.4.2., os valores apresentados na categoria IV serão tratados como pertencentes à categoria III.

No que diz respeito ao regime de inverno, para as zonas de simulação 2ZS4, 2ZS5 e 2ZS8, cerca de 51% de tempo é atribuído a categoria III (nível de expectativa aceitável). Apresentam ainda semelhanças 2ZS2 e 2ZS7 com cerca de 38% atribuído à categoria III, 2ZS1 e 2ZS6 com cerca de 33% atribuído à categoria III e com uma ordem de grandeza de 28% atribuído à categoria III a zona de simulação 2ZS3. Sendo a categoria II correspondente a um nível de expectativa normal considerado para construções novas, constata-se que a percentagem de tempo atribuído a esta categoria é baixa.

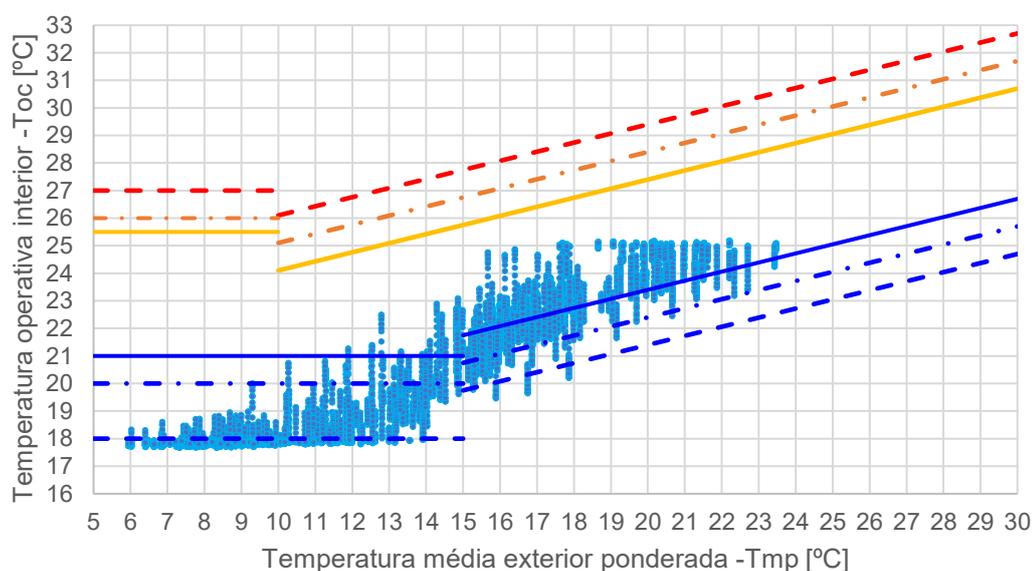


Fig. 5.29 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado à 2ZS5 do caso estudo 2, considerando a temperatura interior resultante de aquecimento contínuo na base dos 18°C

Não aplicando uma análise dos dados tão detalhada como nos casos anteriores, no cenário de utilização 2CU7, onde são considerados diversos sistemas técnicos de modo a garantir uma temperatura interior mínima de 20°C e um sistema de arrefecimento de modo a garantir um limite máximo de temperatura interior de 25°C. Sabendo que o valor mínimo da temperatura operativa interior (Toc) resultante da simulação é de 19,62°C, uma diferença de 0,38°C em relação aos 20°C do limite inferior da categoria II. Dado a ocorrência desta verificação nas restantes zonas de simulação, os valores apresentados na categoria III serão tratados como pertencentes à categoria II.

Na Figura 5.30 está apresentada a distribuição pelas categorias do modelo de conforto adaptativo da EN 15251, para o cenário de utilização 2CU7 na 2ZS5. No subcapítulo seguinte, será avaliado o acréscimo de energia necessário para que a categoria mínima, no regime de inverno, seja a correspondente a um nível de expectativa normal (categoria II), nível que deve ser associado a construções novas e renovações como referido em 4.4.2.

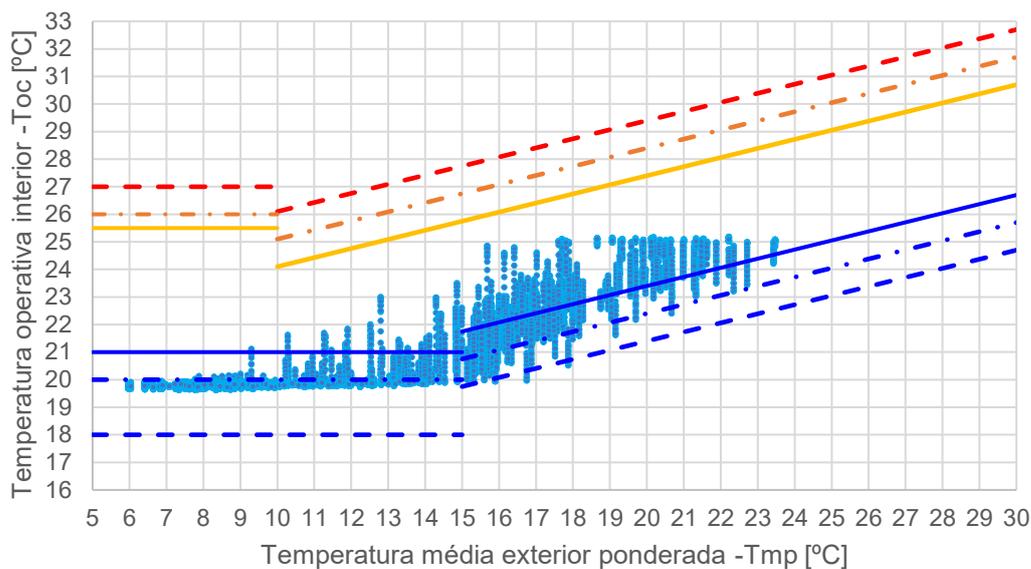


Fig. 5.30 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado à Z2S5 do caso estudo 2, considerando a temperatura interior resultante de aquecimento contínuo na base dos 20°C

#### 5.5.4.3. SCE Vs. Regime Dinâmico

No caso estudo 2, as perdas por pontes térmicas lineares (PTL) foram contabilizadas tal como a metodologia indicada em 5.4.4.3., e os valores dos coeficientes de transmissão térmica linear ( $\psi$ ) utilizados são (cálculo pré-certificado energético, 2017b):

- Fachada com caixilharia:  $\psi = 0,25 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ ;
- Fachada com pavimento sobre ENU:  $\psi = 0,55 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ ;
- Fachada com varanda:  $\psi = 0,60 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ ;
- Duas paredes verticais em ângulo saliente:  $\psi = 0,40 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ ;

Pelo pré-certificado energético (2017b), as necessidades de energia útil para aquecimento ( $N_{ic}$ ) tomam o valor de  $19,1 \text{ kWh}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$  correspondendo a um consumo de energia de  $3474,8 \text{ kWh}/\text{ano}$  e as necessidades de energia útil para arrefecimento ( $N_{vc}$ ) tomam o valor de  $7,0 \text{ kWh}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$  correspondendo a um consumo de energia de  $1276,5 \text{ kWh}/\text{ano}$ .

Para o cenário de utilização (CU) 2CU1, a energia para arrefecimento resultante da simulação ( $E_{v,\text{simulação}}$ ) foi de  $1485,1 \text{ kWh}/\text{ano}$  e de  $1394,5 \text{ kWh}/\text{ano}$  tendo em consideração o contributo das perdas pelas pontes térmicas lineares ( $E_{v,c/PTL}$ ). Assim, as necessidades de energia útil para arrefecimento ( $N_{vc,c/PTL}$ ) no cálculo em regime dinâmico tomam o valor de  $7,7 \text{ kWh}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$ , um aumento de cerca de 10% em relação ao valor do pré-certificado energético (2017b).

O sistema de arrefecimento manteve as condições de funcionamento iguais em todos os cenários de utilização (CU) à exceção do 2CU6, limitando a temperatura interior do ar a um máximo de  $25^\circ\text{C}$ . No cenário de utilização 2CU6, onde a temperatura do ar interior está sujeita a um regime de flutuação livre, foi registada uma temperatura interior do ar máxima de  $34,9^\circ\text{C}$ .

No Quadro 5.17 estão apresentados os valores do período de aquecimento resultantes do cálculo em regime dinâmico. As necessidades de energia útil para aquecimento ( $N_{ic,c/PTL}$ ) no cenário de utilização (2CU1) equiparável ao modelo de cálculo pelo Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto de 2013, toma

o valor de 15,1 kWh/m<sup>2</sup>-ano, uma redução de 21% em relação ao valor do pré-certificado energético (2017b).

Quadro 5.17 - Necessidades de energia útil para aquecimento, no cálculo em regime dinâmico do caso estudo 2, nos cenários de utilização considerados

Cenários de Utilização	E <sub>i,simulação</sub> [kWh/ano]	E <sub>i,c/PTL</sub> [kWh/ano]	N <sub>ic,c/PTL</sub> [kWh/m <sup>2</sup> -ano]	% N <sub>ic,1CU1</sub> [%]	T <sub>mín.</sub> [°C]
2CU1	2015,2	2748,3	15,1	100,0	18,0
2CU2	1672,8	2217,7	12,2	80,7	15,0
2CU3	952,3	1145,2	6,3	41,7	13,5
2CU4	654,7	775,0	4,3	28,2	13,0
2CU5	378,1	467,3	2,6	17,0	12,6
2CU6	-	-	-	-	12,0
2CU7	4389,2	5678,6	31,2	206,6	20,0

Analisando o impacto sobre as necessidades energéticas (Figura 5.31) que a variação nos tempos de aquecimento provocam através do modelo de cálculo em regime dinâmico, constata-se que uma redução de 24h para 12h traduz uma redução de 19% das necessidades energéticas, que com uma redução de 24h para 6h a redução das necessidades energéticas é superior a 50% e ainda que 17% da energia para aquecimento contínuo é despendido em apenas 1h de aquecimento. Constata-se ainda, que uma diminuição do tempo de aquecimento de 24h para 12h leva a uma diminuição da temperatura do ar interior de 3°C, que de 24h para 3h leva a uma diminuição de 5°C e que a diferença de temperatura do ar interior entre aquecimento contínuo e sem aquecimento é de 6°C. Maior diferença existe no caso em que se pretenda aumentar de 18°C para 20°C em regime de aquecimento contínuo, uma vez que é necessário um acréscimo de mais do dobro da energia relativamente a 2CU1, isto é, um acréscimo de 2930,3 kW/ano para um incremento de 2°C.

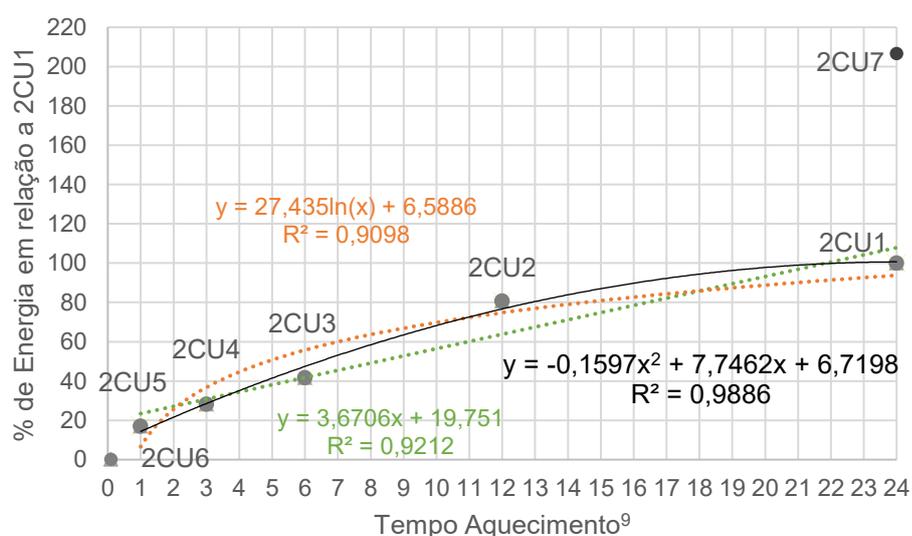


Fig. 5.31 - Impacto de diferentes tempos de aquecimento sobre as necessidades energéticas do caso estudo 2

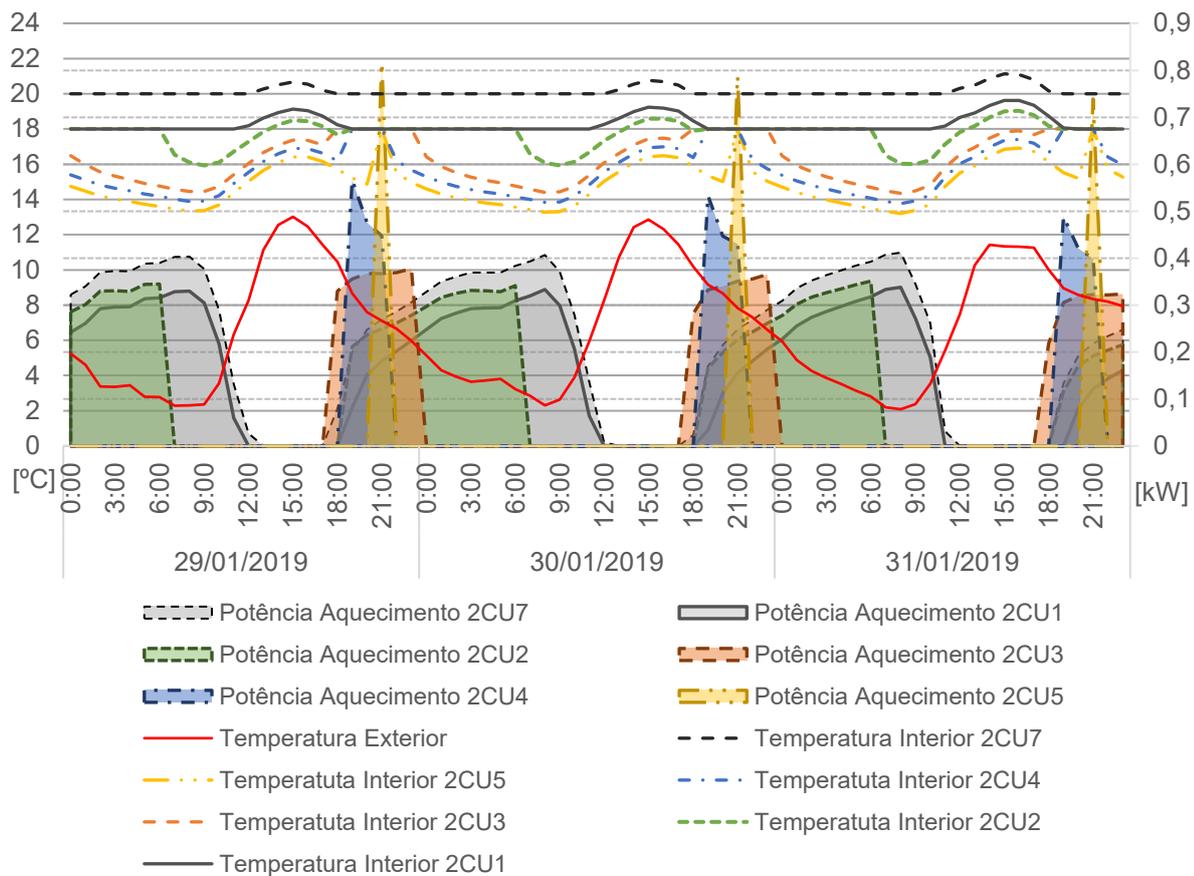


Fig. 5.32 - Variação da potência do sistema de aquecimento para os diferentes tempos de aquecimento, na 2ZS2, do caso estudo 2

#### 5.5.5. SÍNTESE DO SUBCAPÍTULO

No subcapítulo 5.5. foram apresentadas as características do caso estudo 2 e realizado um estudo do comportamento térmico do mesmo, em suma conclui-se que:

- Segundo o modelo de conforto adaptativo da EN 15251, a fração em causa, de verão reage relativamente bem, atingindo as piores categorias (III e IV) apenas quando ocorrem picos de temperatura exterior. Quanto ao período de inverno e com base no aquecimento continuo nos 18°C, a fração apesar de ter variações significativas consoante a zona de simulação (ZS) em causa, encontra-se grande parte do período na categoria III (uma categoria abaixo da estipulada para construções novas);
- Na comparação dos valores obtidos pelo pré-certificado energético com os do programa de simulação dinâmica, a estação de arrefecimento em regime dinâmico apresenta um aumento de cerca de 10% relativamente ao método de cálculo do sistema de certificação energética, para os valores considerados da taxa de renovação do ar (RPH) e da ativação dos sistemas de arrefecimento, uma vez que outros valores levariam a resultados diferentes. Quanto à estação de aquecimento, esta apresenta uma redução do valor das necessidades energéticas no cálculo em regime dinâmico em cerca de 21%;
- Para o caso estudo 2, uma diminuição do tempo de aquecimento não implica um decréscimo na mesma proporção dos custos com a energia, ainda assim é notória a redução

dos custos. Por outro lado, para um aumento da temperatura do ar interior dos 18°C para 20°C é necessário gastar praticamente o dobro da energia;

- Na estação de aquecimento, as perdas ocorrem sobretudo pelos vãos envidraçados e pela ventilação, sendo que as perdas pelos vãos opacos apresentam um valor bastante mais baixo. Na estação de arrefecimento, a principal fonte de ganhos são os vãos envidraçados com uma percentagem muito superior em relação aos ganhos internos e que os ganhos pelas paredes e portas são desprezáveis. Verifica-se que, as janelas devido à sua grande área face aos outros elementos construtivos, apresentam uma agravante nas perdas e um fenómeno de sobreaquecimento pela radiação solar, facto que leva a atingir uma temperatura do ar interior de 25°C nos meses mais frios.

## 5.6. SÍNTESE DO CAPÍTULO

Tendo como objetivo, o presente trabalho, apresentar uma reflexão, para a regulamentação portuguesa, dos pontos essenciais resultantes da transposição da Diretiva (UE) 2018/844, de 30 de maio de 2018. No atual capítulo foi realizado um estudo comparando o modelo de cálculo sazonal do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) com um modelo de cálculo em regime dinâmico, tendo ainda em consideração a influência no conforto térmico e nos gastos de energia.

Para ambos os casos estudo, segundo a EN15251, no verão atingem-se boas categorias de conforto térmico adaptativo sem necessidade de sistemas técnicos, pelo contrário no inverno esse conforto apenas é atingido através de sistemas técnicos de aquecimento.

Assim, durante a estação de aquecimento quanto melhor é a solução construtiva, isto é, uma solução que conduz a menos perdas, menores são as necessidades energéticas, e nesse caso, a redução do tempo de aquecimento não implica uma redução proporcional com os custos da energia. Por outro lado, como é característico do caso estudo 2, cuja área de envidraçado corresponde a 37% da área do pavimento e a área do vãos opacos (tanto da envolvente exterior como da envolvente interior) corresponde a 25% da área do pavimento, e uma vez que, as limitações térmicas pelos vãos envidraçados são menos rígidas, existem mais perdas de calor e um sobreaquecimento pelos ganhos solares que conduz a maiores necessidades energéticas que tem de ser garantidas pelos sistemas técnicos.

Em ambos os casos, na estação de aquecimento existe uma redução das necessidades energéticas em regime dinâmico face ao regime sazonal, considerando aquecimento contínuo em regime dinâmico, as necessidades energéticas são de 8,5 kWh/m<sup>2</sup>·ano e 15,1 kWh/m<sup>2</sup>·ano para o caso estudo 1 e caso estudo 2, respetivamente. Note-se que o caso estudo 1 obteve uma classificação energética de A+ pelo pré-certificado energético e que o caso estudo 2 de A, no entanto a diferença das necessidades energéticas é de quase o dobro.

Quanto à estação de arrefecimento, no caso estudo 1, a redução das necessidades energéticas pelo regime dinâmico é considerável (36%) tomando o valor de 4,5 kWh/m<sup>2</sup>·ano, pelo contrário, no caso estudo 2, existe um aumento de 10% e que corresponde a um valor de 7,7 kWh/m<sup>2</sup>·ano. Note-se que, aumentado a taxa de renovação do ar (RPH) levaria a uma redução das necessidades energéticas no verão.



# 6.

## TRANSPOSIÇÃO DA DIRETIVA (UE) 2018/844 PARA PORTUGAL

### 6.1. ESTRATÉGIA A LONGO PRAZO PARA A RENOVAÇÃO DOS EDIFÍCIOS – CONTRIBUTO ADENE

A Diretiva (UE) 2018/844 prevê a elaboração, pelos Estados-Membros, da Estratégia a Longo Prazo para apoiar a Renovação de Edifícios (ELPRE) com um conjunto de medidas e metas referentes a 2030, 2040 e 2050. A ADENE elaborou um documento (ADENE, 2020) onde é dado o seu parecer, do qual consta o atual estado do parque imobiliário, os níveis de conforto e ainda uma análise económica. As suas intervenções pressupõem os seguintes objetivos:

- **Cumprimento das metas ambientais e energéticas;**
- **Melhoria das condições de vida**, nomeadamente ao nível do conforto térmico e da qualidade do ar interior contribuindo consequentemente para o bem-estar e saúde e redução da pobreza energética;
- **Oportunidade de crescimento económico** com o aumento de produtividade, redução dos custos de saúde e valorização do património.

De modo a prever o impacto das medidas aplicadas, a ADENE recorreu a uma análise do conforto térmico e das necessidades energéticas através de modelos de simulação dinâmica horária. Para tal foi considerado uma amostra de edifícios, com base em 240 650 certificados energéticos, e agrupados em 30 tipologias de edifícios residenciais e 8 tipologias de edifícios não-residenciais.

São propostas 33 medidas de aplicação, agrupadas em 7 planos de ação (Figura 6.1) que constituem os seguintes pacotes de medidas:

- Pacote 1 – Medidas com vista à melhoria de conforto térmico;
- Pacote 2 – Medidas de eficiência energética;
- Pacote 3 – Descarbonização local;
- Pacote 4 – Aumento gradual do conforto.



Fig. 6.1 - Planos de Ação (adaptado ADENE, 2020)

Foi concluído que o setor dos edifícios residenciais é caracterizado por edifícios envelhecidos e com necessidades de renovação, a que corresponde uma totalidade de 3 828 805 alojamentos. Das certificações emitidas até 2019, apenas 10% dos certificados apresenta uma classificação muito eficiente (2% em classe A+ e 8% em classe A).

A simulação numérica permitiu apurar, para edifícios habitacionais com data de construção anterior a 2016, que em mais de 95% do tempo estes edifícios encontram-se na categoria IV de conforto térmico, isto é, a pior classificação que se pode obter, segundo a EN 15251 (subcapítulo 4.4.2.), proporcionando desconforto térmico. Verifica-se que, sem sistemas de aquecimento e arrefecimento e nas zonas climáticas mais severas, as temperaturas interiores mínimas atingem muitas vezes os 10°C e as temperaturas interiores máximas registaram um pico de 31°C. Sendo aplicadas as medidas para a renovação dos edifícios, as temperaturas interiores mínimas rondam os 16°C - 18°C e as temperaturas interiores máximas os 26°C - 28°C.

A nível económico, as melhorias nos edifícios apresentam co-benefícios na saúde dos ocupantes, na produtividade laboral e na valorização patrimonial, traduzidos pela Figura 6.2, onde foram consideradas apenas melhorias na envolvente passiva.



Fig. 6.2 - Monetização dos benefícios referentes à reabilitação (ADENE, 2020)

Sendo definidas metas para 2030, 2040 e 2050, o Quadro 6.1, apresenta de forma resumida, a evolução prevista pela ADENE com a aplicação das medidas referentes aos edifícios residenciais face a 2018. Na sua totalidade é necessário um investimento de cerca de 110 078 milhões de euros, no setor residencial, para que sejam atingidas as metas propostas.

Quadro 6.1 - Metas indicativas para os Edifícios Residenciais face a 2018 (ADENE, 2020)

Edifícios Residenciais	2030	2040	2050
% Poupança Energia Primária	15%	37%	40%
% Energia Renovável Local	10%	35%	73%
% Energia Renovável Total (Local + Fonte)	57%	62%	98%
% Redução Emissões CO <sub>2</sub>	16%	56%	85%
Edifícios Reabilitados (m <sup>2</sup> )	299 524 729	513 059 967	514 265 282
% Edifícios Reabilitados	70%	100%	100%
% Redução Horas desconforto	26%	34%	56%
Investimento (€ <sub>2020</sub> /m <sup>2</sup> )	82	168	259
Poupança (€ <sub>2020</sub> /m <sup>2</sup> )	88	189	277

## 6.2. PONTO SITUAÇÃO DA TRANSPOSIÇÃO DIRETIVA (UE) 2018/844

De acordo com a Diretiva (UE) 2018/844 (2018), de 30 de maio de 2018, a data limite para a sua transposição é até ao dia 10 de março de 2020. A esta data, os Estados-Membros que tinham comunicado as medidas nacionais de transposição ao Parlamento Europeu e Conselho são os seguintes (Diretiva(UE)2018/844, 2020):

- Bélgica;
- Dinamarca;
- Alemanha;
- França;
- Croácia;
- Letónia;
- Lituânia;
- Malta;
- Países Baixos;
- Áustria;
- Eslováquia;
- Finlândia;
- Suécia;
- Reino Unido<sup>12</sup>.

Assim, como se pode constatar, Portugal é um dos Estados-Membros que ainda não comunicou as medidas de transposição ao Parlamento Europeu e Conselho. Através do acesso a uma versão de rascunho de uma nova proposta regulamentar (Decreto-Lei A – Versão draft.v3, 2020) é possível averiguar um esforço de uniformização dos diversos documentos legislativos. Da consulta a este documento conclui-se ainda que alguns requisitos da Diretiva já estão definidos, como é o caso das infraestruturas de carregamento para veículos elétricos, que alguns valores de coeficientes de transmissão térmica estão em aberto, no entanto não há referência a uma eventual alteração ao modelo de cálculo da certificação energética dos edifícios.

## 6.3. REGIME DINÂMICO - PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO DINÂMICA

Existem diversos softwares disponíveis, por exemplo, WUFI®, ESBO, EnergyPlus. Para o caso concreto do WUFI® Plus, este utiliza um método iterativo para a simulação, considerando os dados introduzidos, como está ilustrado na Figura 6.3. Com base no conhecimento adquirido na elaboração do presente trabalho, de seguida será apresentada uma lista com as suas potencialidades e também com algumas das suas limitações.

---

<sup>12</sup> Estado-Membro até 31/01/2020

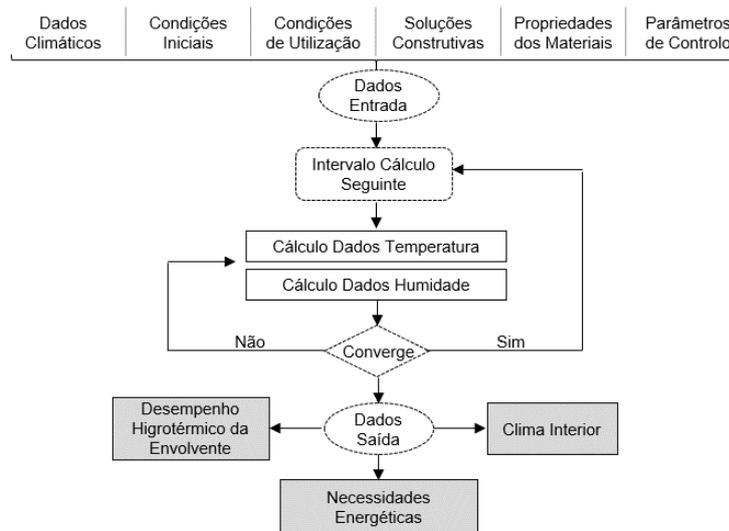


Fig. 6.3 – Fluxograma modelo WUFI® Plus (adaptado IBP, 2009)

### 6.3.1. POTENCIALIDADES

Atendendo que recorre a modelos complexos, são enumerados de seguida, algumas das potencialidades (IBP, 2019):

- Introdução de dados no modelo geométrico intuitivo para geometrias simples, necessitando de menos capacidades computacionais;
- Bases de dados de ficheiros climáticos exteriores, com medição de temperatura, precipitação, radiação, etc.;
- Perfis de ficheiros climáticos interiores;
- Possibilidade de introduzir ficheiros climáticos externos;
- Bases de dados de materiais e componentes;
- Possibilidade de inserir novos materiais e componentes e criar bases de dados de soluções construtivas;
- Introdução de perfis de utilização, nomeadamente ocupação, ventilação, ativação das proteções solares, etc.;
- Possibilidade de inserir uma diversidade de equipamentos de HVAC;
- Modelo de cálculo utilizando o método dos elementos finitos em intervalos de tempo definidos pelo utilizador;
- Análise multizona;
- Análise de pontes térmicas (dependendo da versão);
- Análise 3D de componentes modelados;
- Apresentação dos dados de saída de vários tipos, como tabelas e gráfico, predefinidos e criados pelo utilizador;
- Possibilidade de exportação dos dados de saída.

### 6.3.2. LIMITAÇÕES

No decorrer do presente trabalho, foram evidenciadas várias limitações do software WUFI® Plus, das quais se destacam:

- Grande complexidade e tempo despendido para a introdução de modelos geométricos mais complexos;
- Limitação a um máximo de 10 zonas de simulação;
- Introdução de parâmetros para caracterização dos materiais, apenas disponíveis em tabelas técnicas com um nível de detalhe elevado ou por resultados experimentais em laboratório;
- Impossibilidade de introdução do tipo de energia utilizados pelos sistemas técnicos definidos pelo utilizador, bem como os seus rendimentos;
- Impossibilidade de introduzir proteções solares verticais nos vãos envidraçados;
- Dificuldade de interpretação dos dados de saída predefinidos, à luz das definições dos REH, na interface do programa.

### 6.4. CONSIDERAÇÕES PARA A TRANSPOSIÇÃO DIRETIVA (UE) 2018/844

Atendendo aos impactos devido à pandemia Covid-19, nomeadamente a nível económico e financeiro (Expresso, 2020), importa ainda mais avaliar a viabilidade do investimento de cerca de 110 078 milhões de euros, apenas no setor residencial, para atingir a metas propostas. Atendendo à retração dos mercados a nível mundial, e nomeadamente em Portugal, o documento elaborado pela ADENE (Estratégia a Longo Prazo para a Renovação dos Edifícios – ELPRE) e as suas perspetivas carecem de uma revisão.

Quanto à proposta da nova regulamentação que está a ser elaborada, os autores Vasco Freitas e Sara Freitas (2020), fizeram recomendações sobre os pontos essenciais que devem ser abordados e estão a seguir citados:

- “Profundas modificações da metodologia atual de cálculo não são recomendáveis, sobretudo, tendo em atenção a alteração permanente da legislação no passado recente;
- Deve ser feito um esforço visando a compactação e compatibilização dos textos regulamentares;
- É crucial ter em atenção o consumo efetivo de energia das famílias para aquecimento e arrefecimento e não seguir uma abordagem teórica não realista;
- A especificidade da reabilitação tem de ser tida em consideração. Caso contrário, não se estará a preservar edifícios ou conjuntos com valor patrimonial ou com interesse construtivo;
- Uma abordagem que implique transformar os edifícios residenciais em complexos mecanismos, de difícil manutenção, não é aceitável quando na prática essa abordagem não conduz nem à redução do consumo de energia nem à minimização do desconforto;
- A abordagem dos nZEB não deve ser pautada pelo consumo teórico de energia, mas sim pelo consumo real (possível) das famílias portuguesas;
- Todo o conhecimento disponível, quer na academia, quer na prática profissional, deve ser utilizado e a pressa seguramente não permitirá incorporar esse conhecimento;
- Não pode (não deve) ser publicada nova regulamentação sem uma completa validação do modelo e exigências propostas.”

Dada a abordagem da presente dissertação, com especial incidência na envolvente passiva, na comparação da metodologia de cálculo em relação a construções novas e no efeito que considerações de tempos de aquecimento diferentes tem sobre as necessidades energéticas e no conforto, como recomendações destacam-se:

- A metodologia para a estação de arrefecimento deve ser revista, se possível, aplicar um método de cálculo similar ao da estação de inverno, ou seja, definir uma temperatura para a obtenção dos graus dias (GD) em vez de considerar um tempo fixo de arrefecimento, que no caso é de 4 meses. Uma abordagem mais simplista passaria por variar a duração da estação pelas zonas climáticas;
- Edifícios com grandes áreas de envidraçado deveriam ser afetos de um fator de aumento das necessidades energéticas, na estação de arrefecimento, onde o impacto dos ganhos solares é maior;
- Para edifícios com uma geometria simples, não são visíveis vantagens significativas do modelo de regime dinâmico em relação ao modelo do REH. Por outro lado, edifícios com maiores áreas, geometrias e condições fronteira mais complexas, deve ser considerado um modelo em regime dinâmico dada a possibilidade de compreender o comportamento térmico de diferentes zonas do edifício, uma vez que existe uma maior disparidade entre as mesmas. Note-se que, uma metodologia em regime dinâmico introduz mais complexidade no processo de cálculo e consequentemente um maior tempo para o realizar;
- O cálculo das necessidades energéticas deveria refletir o aquecimento intermitente, quando justificável. Acompanhado esta alteração, deveria ser introduzido também uma classificação de conforto térmico.

## **6.5. SÍNTESE DO CAPÍTULO**

Numa primeira abordagem, o presente capítulo apresenta um plano estratégico a longo prazo para a renovação do parque edificado. Nesse plano estratégico constata-se que Portugal é caracterizado por edifícios envelhecidos e, portanto, com grandes necessidades de renovação. São apresentadas as diretrizes com 33 medidas de aplicação, agrupadas em 7 planos de ação, são detalhados os investimentos necessários para que ocorra a renovação à taxa estabelecida e ainda os benefícios das medidas. Com tudo, é deixada uma recomendação para que todos os valores sejam revistos devido à alteração das previsões causada pela pandemia COVID-19.

Numa segunda abordagem, são apresentadas algumas potencialidades e limitações que um regime dinâmico estabelece. Conclui-se que, é benéfico a sua utilização apenas para situações com alguma complexidade, uma vez que carece de um trabalho mais moroso e com maior grau de detalhe.

Por último, mas não menos importante, são apresentadas algumas recomendações para a elaboração de um novo regulamento de térmica pela Diretiva (UE) 2018/844 (já transposta em alguns países) quer resultado de pesquisa bibliográfica, quer resultado da análise dos casos estudo da presente dissertação. Entre as várias recomendações destaca-se que não devem ser consideradas alterações profundas, que deve apresentar um texto mais compacto e que a metodologia da estação de arrefecimento de ser revista.

# 7.

## CONCLUSÕES

### 7.1. PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Com base na pesquisa bibliográfica obtiveram-se as seguintes conclusões:

- A nível europeu, em 2002 surgiu a primeira diretiva EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*), revista em 2010 com maiores limitações nos parâmetros. Em 2018, a Diretiva (UE) 2018/844 veio rever tanto a EPBD 2010, como a diretiva EED 2012 (*Energy Efficiency Directive*), introduzindo características nos edifícios tendo em consideração a evolução tecnológica e uma perspetiva da sua contribuição no futuro e ainda a implementação de medidas com vista à recolha de dados para revisões futuras;
- A Diretiva (UE) 2018/844 define novas metas no que diz respeito à eficiência energética em edifícios, metas essas que estão escaladas em curto (2030), médio (2040) e longo prazo (2050) procurando reduzir gradualmente o consumo energético e consequentemente a emissão de gases com efeito de estufa. Para cumprir as metas foram impostas renovações do edificado envelhecido e imposições no balanço energético, obrigando os edifícios a serem praticamente autossustentáveis;
- O cumprimento das metas definidas pela União Europeia (UE) pode estar em causa dado que é necessário grande investimento tanto público como privado e que a pandemia COVID-19 (posterior ao traçado das metas) veio introduzir não só uma crise na saúde pública, mas uma consequente crise económica e financeira;
- Em Portugal as primeiras preocupações na área da térmica de edifícios são implementadas legislativamente em 1990, sendo alteradas em 1998. Com o surgimento da EPBD 2002, em 2006 é aprovado uma alteração ao regulamento da térmica que contempla as diretrizes europeias e com a revisão pela EPBD 2010, em 2013 o regulamento é mais uma vez alterado estando ainda hoje em vigor pelo Decreto-Lei n.º 118/2013;
- Sendo Portugal um país com um clima moderado, distinto de uma grande parte dos restantes países da União Europeia (UE) com climas tipicamente mais frios, a regulamentação portuguesa deveria de aplicar as diretrizes europeias de uma forma mais ajustada à realidade do país, dado que é permitida essa flexibilidade aos Estados-Membros;
- A metodologia do regulamento de térmica português, de uma forma muito resumida, consiste na divisão climática do território por zonas, às quais estão associados diferentes limites para os parâmetros térmicos. São calculadas as necessidades energéticas para a estação de aquecimento e arrefecimento características das soluções construtivas e calculadas as necessidades para uma solução de referência, o quociente entre os valores

de cálculo e os valores regulamentares indicam a classe energética do edifício de habitação;

- Portugal consome menos energia (percentualmente) no setor doméstico em comparação com a média europeia. Na energia dedicada ao conforto térmico, na estação de arrefecimento o consumo de energia é residual, o que não acontece na estação de aquecimento, no entanto apenas 4% da energia total é dedicada a aquecimento ambiente;
- Os países do sul da Europa são dos pertencentes à União Europeia (UE) com maior pobreza energética. No caso particular de Portugal, baixos rendimentos associados a custos elevados da energia exigem um acrescido esforço da população para aquecer as habitações e mesmo quando existe algum aquecimento, este não é contínuo, o que leva a baixos níveis de conforto térmico e por conseguinte a problemas de saúde.

Com vista na elaboração de um novo regulamento térmico, é recomendado que não sejam efetuadas profundas alterações e as que se venham a verificar devam ser validadas. Com base no estudo de sensibilidade tiram-se as seguintes conclusões:

- Comparando a metodologia do regulamento de térmica (regime sazonal) com a metodologia em regime dinâmico (programa de simulação dinâmica WUFI® Plus) conclui-se que, as maiores diferenças ocorrem sobretudo na estação de arrefecimento e que, neste caso, a área dos vãos envidraçados têm uma grande influência nas necessidades energéticas;
- Sendo a metodologia em regime dinâmico mais complexa, deve ser aplicada apenas em casos cuja dimensão e complexidade do projeto assim o justifique;
- Edifícios com soluções construtivas termicamente otimizadas levam a que uma redução do tempo de aquecimento não se traduza numa redução proporcional da energia necessária, no entanto este tipo de solução garante menores necessidades energéticas e menor desconforto térmico mesmo sem sistemas mecânicos de aquecimento;
- As características do clima português garantem boas condições de conforto térmico adaptativo no verão, desde que as soluções construtivas não levem a soluções típicas de sobreaquecimento. No inverno, é inquestionável a necessidade de aquecer para garantir os padrões de conforto térmico.

## 7.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Dado que a transposição da Diretiva (UE) 2018/844 ao regulamento de térmica nacional deveria ocorrer, no limite, até 10 de março de 2020 e que há data do presente trabalho ainda não se encontra aprovado, para desenvolvimentos futuros sugere-se:

- Reflexão sobre ajustes ao modelo do REH;
- Desenvolvimento de um modelo em regime dinâmico com recurso a software;
- Aplicação e validação do modelo dinâmico desenvolvido.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (2017a) - Memória Descritiva e Justificativa.
- (2017b) - Pré-Certificado Energético.
- (2020) - Decreto-Lei A – Versão draft.v3.
- ADENE (2017) - Estudo de mercado no âmbito das campanhas de sensibilização e de promoção da eficiência energética na Habitação Particular. Consult. em 14/02/2020. Disponível em WWW: <[https://www.adene.pt/wp-content/uploads/2019/08/ADENE\\_vaga-1\\_Relat%C3%B3rioHABPART.pdf](https://www.adene.pt/wp-content/uploads/2019/08/ADENE_vaga-1_Relat%C3%B3rioHABPART.pdf)>.
- (2018) - Energy Efficiency trends and policies in Portugal. Consult. em 09/03/2020. Disponível em WWW: <<https://www.odyssee-mure.eu/publications/national-reports/energy-efficiency-portugal.pdf>>.
- (2019a) - Certificação Energética de Edifícios [Em linha]. [Consult. 03/03/2020]. Disponível em WWW: <URL: <https://www.sce.pt/certificacao-energetica-de-edificios-3/consumidores/>>.
- (2019b) - Legislação em vigor na área dos edifícios no âmbito do SCE, REH e RECS [Em linha]. [Consult. 02/03/2020]. Disponível em WWW: <URL: <https://www.sce.pt/legislacao/>>.
- (2020) - ESTRATÉGIA a LONGO PRAZO para a RENOVACÃO dos EDIFÍCIOS (Versão Draft). [Consult. 2020].
- ALMEIDA, Manuela; FERREIRA, Marco (2015) - IEA EBC Annex56 Vision for Cost Effective Energy and Carbon Emissions Optimization in Building Renovation. Energy Procedia [Em linha]. 78: 2409-2414. Disponível em WWW: <URL: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.206>>. ISSN 18766102.
- ASHRAE (2017) - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Consult. em 16/03/2020. 041-2336
- BARBOSA, Sílvia Alexandra de Magalhães (2020) - COMPARAÇÃO DO ÍNDICE DE DESCONFORTO PASSIVO COM A CLASSE ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO REABILITADOS DO SUL DA EUROPA. Porto: FEUP.
- BOARDMAN, Brenda (1991) - Fuel poverty: from cold homes to affordable warmth. Belhaven Press, London.
- BOUZAROVSKI, Stefan (2011) - Energy Poverty in the EU: A Review of the Evidence. 2011. Citeser.
- (2014) - Energy poverty in the European Union: landscapes of vulnerability. Consult. em 21/03/2020. 20418396
- BPIE (2017) - 97% OF BUILDINGS IN THE EU NEED TO BE UPGRADED. Disponível em WWW: <<http://bpie.eu/publication/97-of-buildings-in-the-eu-need-to-be-upgraded/>>.
- CURADO, António José Candeias (2014) - CONFORTO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO SOCIAL REABILITADOS. Porto: FEUP. Disponível em WWW: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/72898/2/26374.pdf>>.
- DESPACHO N.º15793-E/2013 (2013) - D.R. II Série 234. Disponível em WWW: <<https://dre.pt/application/file/a/2975277>>.
- DESPACHO N.º15793-F/2013 (2013) - D.R. II Série 234. Disponível em WWW: <<https://dre.pt/application/file/a/2975278>>.
- DESPACHO N.º15793-H/2013 (2013) - D.R. II Série 234. Disponível em WWW: <<https://dre.pt/application/file/a/2975280>>.
- DESPACHO N.º15793-I/2013 (2013) - D.R. II Série 234. Disponível em WWW: <<https://dre.pt/application/file/a/2975281>>.
- DESPACHO N.º15793-J/2013 (2013) - D.R. II Série 234. Disponível em WWW: <<https://dre.pt/application/file/a/2975282>>.
- DESPACHO N.º15793-K/2013 (2013) - D.R. II Série 234. Disponível em WWW: <<https://dre.pt/application/file/a/2975283>>.
- DIRETIVA 2010/31/UE (2010) - OJ L 153, 18.6.2010. Consult. em 24/02/2020. Disponível em WWW: <<http://data.europa.eu/eli/dir/2010/31/oj>>.
- DIRETIVA 2002/91/CE (2002) - OJ L 1, 4.1.2003. Consult. em 22/02/2020. Disponível em WWW: <<http://data.europa.eu/eli/dir/2002/91/oj>>.

- DIRETIVA 2012/27/UE (2012) - OJ L 315, 14.11.2012. Consult. em 25/02/2020. Disponível em WWW: <<http://data.europa.eu/eli/dir/2012/27/oj>>.
- DIRETIVA (UE) 2018/844 (2018) - OJ L 156, 19.6.2018. Disponível em WWW: <<http://data.europa.eu/eli/dir/2018/844/oj>>.
- (2020) - National transposition measures communicated by the Member States concerning: Diretiva (UE) 2018/844 [Em linha]. [Consult. Disponível em WWW: <URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/NIM/?uri=CELEX:32018L0844>>.
- EC, European Commission (2016) - RELATÓRIO DA COMISSÃO AO PARLAMENTO EUROPEU E AO CONSELHO Progressos alcançados pelos Estados-Membros para atingir níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético. Bruxelas: Consult. em 25/02/2020. Disponível em WWW: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52016DC0464>>.
- EN15251 (2007) - Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. Brussels: Consult. em 17/03/2020.
- EUROSTAT (2018a) - Electricity prices by type of user. Disponível em WWW: <<https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=ten00117>>.
- (2018b) - Gas prices by type of user. Disponível em WWW: <<https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=ten00118>>.
- (2019) - Energy statistics - an overview [Em linha]. [Consult. 12/03/2020]. Disponível em WWW: <URL: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy\\_statistics\\_-\\_an\\_overview#Final\\_energy\\_consumption](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_statistics_-_an_overview#Final_energy_consumption)>.
- (2020a) - Monthly minimum wages - bi-annual data. Consult. em 23/03/2020. Disponível em WWW: <[https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=earn\\_mw\\_cur&lang=en](https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=earn_mw_cur&lang=en)>.
- (2020b) - People at risk of poverty or social exclusion by age and sex [Em linha]. [Consult. 20/02/2020]. Disponível em WWW: <URL: <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>>.
- EXPRESSO (2020) - Impacto “significativo” da covid-19 em Portugal: Fitch prevê contração de 3,9% na economia e défice de 4%. Expresso [Em linha]. Disponível em WWW: <URL: <https://expresso.pt/coronavirus/2020-04-17-Impacto-significativo-da-covid-19-em-Portugal-Fitch-preve-contracao-de-39-na-economia-e-defice-de-4>>.
- FREITAS, Vasco Peixoto de (2014) - Aula nº5.
- FREITAS, Vasco Peixoto de; FREITAS, Sara Stingl de (2020) - Transposição da nova Diretiva comunitária para a regulamentação térmica em Portugal.
- HILLS, John (2011) - Fuel poverty: the problem and its measurement. Consult. em 21/03/2020. 1465-3001
- IBP, Fraunhofer Institute for Building Physics (2009) - Computer Simulation with the WUFI Model [Em linha]. [Consult. Disponível em WWW: <URL: <https://www.wufi-wiki.com/mediawiki/index.php/Details:Physics>>.
- (2017) - WUFI® Plus 3.1 Manual. Disponível em WWW: <[https://wufi.de/de/wp-content/uploads/sites/9/2017.07\\_WUFI-Plus-Manual\\_en.pdf](https://wufi.de/de/wp-content/uploads/sites/9/2017.07_WUFI-Plus-Manual_en.pdf)>.
- (2019) - WUFI® Plus [Em linha]. [Consult. Disponível em WWW: <URL: <https://wufi.de/en/software/wufi-plus/>>.
- INE/DGEG (2011) - Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010. Consult. em 13/03/2020. Disponível em WWW: <[https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_publicacoes&PUBLICACOESpub\\_boui=127226704&PUBLICACOESmodo=2](https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_boui=127226704&PUBLICACOESmodo=2)>. 2182-0139
- INFOPÉDIA (2003-2020) - Adesão de Portugal à CEE. Porto: Porto Editora. Consult. em 21/02/2020. Disponível em WWW: <[https://www.infopedia.pt/\\$adesao-de-portugal-a-cee](https://www.infopedia.pt/$adesao-de-portugal-a-cee)>.

- MATIAS, Luis Manuel Cordeiro (2010) - Desenvolvimento de um modelo adaptativo para definição das condições de conforto térmico em Portugal. Universidade Técnica de Lisboa. 978-972-49-2207-2
- MOREIRA, Ana Rita Rodrigues Garcez (2018) - Pobreza Energética em Portugal. Porto: FEUP. Consult. em 11/03/2020. Disponível em WWW: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/113953/2/277438.pdf>>.
- PORTARIAN.º349-B/2013 (2013) - D.R. I Série 232. Disponível em WWW: <<https://dre.pt/application/file/a/647194>>.
- SAINT-GOBAIN (2018) - WHAT IS THERMAL COMFORT? [Em linha]. [Consult. Disponível em WWW: <URL: <https://multicomfort.saint-gobain.com/comforts-and-solutions/thermal-comfort>>].
- SANTOS, Carlos Pina dos; FREITAS, Vasco Peixoto de (2018) - Reabilitar como Regra | Relatório de Diagnóstico | Parte B - Comportamento térmico e eficiência energética (Versão Draft).
- SANTOS, Diogo Manuel Pereira Dos (2018) - CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE CRÍTICA DO PERFIL DE CONSUMOS DE ENERGIA PARA AQUECIMENTO. Porto: FEUP. Disponível em WWW: <[https://sigarra.up.pt/fep/en/pub\\_geral.show\\_file?pi\\_doc\\_id=172581](https://sigarra.up.pt/fep/en/pub_geral.show_file?pi_doc_id=172581)>.
- WUFI@PLUSV3.0.3.0 (2020) - WUFI@PlusV3.0.3.0.







**ANEXO A1.**  
**LEGISLAÇÃO EM VIGOR E SUAS ATUALIZAÇÕES E**  
**RETIFICAÇÕES**

Quadro A1.1 - Legislação em vigor e suas atualizações e retificações (ADENE, 2019b)

Referência do documento legislativo	Aplicação	Observações
Lei n.º 58/2013. D.R. n.º 159, Série I de 2013-08-20	Requisitos Peritos Qualificados	
Decreto-Lei n.º 40/90. D.R. n.º 31, Série I de 1990-02-06	Regulamento das Características de Comportamento Térmico do Edifícios (RCCTE)	Revogado pelo DL n.º 80/2006
Decreto-Lei n.º 118/98. D.R. n.º 105, Série I-A de 1998-05-07	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE)	Revogado pelo DL n.º 79/2006
Decreto-Lei n.º 78/2006. D.R. n.º 67, Série I-A de 2006-04-04	Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar (SCE)	Revogado pelo DL n.º 118/2013
Decreto-Lei n.º 79/2006. D.R. n.º 67, Série I-A de 2006-04-04	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE)	Revogado pelo DL n.º 118/2013
Decreto-Lei n.º 80/2006. D.R. n.º 67, Série I-A de 2006-04-04	Regulamento das Características de Comportamento Térmico do Edifícios (RCCTE)	Revogado pelo DL n.º 118/2013
Decreto-Lei n.º 118/2013. D.R. n.º159, Série I de 2013-08-20	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 Serviços (RECS)	
Decreto-Lei n.º 68-A/2015. D.R. n.º84, Série I de 2015-04-30		1ª alteração ao DL n.º 118/2013
Decreto-Lei n.º 194/2015. D.R. n.º179, Série I de 2015-09-14		2ª alteração ao DL n.º 118/2013
Decreto-Lei n.º 251/2015. D.R. n.º231, Série I de 2015-11-25		3ª alteração ao DL n.º 118/2013
Decreto-Lei n.º 28/2016. D.R. n.º119, Série I de 2016-06-23		4ª alteração ao DL n.º 118/2013

Quadro A1.1 - Legislação em vigor e suas atualizações e retificações (ADENE, 2019b) (continuação)

Decreto-Lei n.º 52/2018. D.R. n.º159, Série I de 2018-08-20	5º alteração ao DL nº 118/2013
Decreto-Lei n.º 95/2019. D.R. n.º136, Série I de 2019-07-18	6º alteração ao DL nº 118/2013
Decreto Legislativo Regional n.º 1/2016/M, D.R. n.º 9, Série I de 2016- 01-14	Decreto-Lei Regional Madeira
Decreto Legislativo Regional n.º 4/2016/A, D.R. n.º 22, Série I de 2016- 02-02	Decreto-Lei Regional Açores
<u>Portaria n.º 349-A/2013</u> . D.R. n.º232, Suplemento, Série I de 2013-11-29	Gestão do SCE
<u>Portaria n.º 115/2015</u> . D.R. n.º80, Série I de 2015-04-24	1ª alteração à Portaria nº 349- A/2013
<u>Portaria n.º 39/2016</u> , D.R. n.º46, Série I de 2016-03-07	2ª alteração à Portaria nº 349- A/2014
<u>Portaria n.º 349-B/2013</u> . D.R. n.º232, Suplemento, Série I de 2013-11-29	Requisitos REH
<u>Portaria n.º 379-A/2015</u> . D.R. n.º207, Série I de 2015-10-22	1ª alteração à Portaria nº 349- B/2013
<u>Portaria n.º 319/2016</u> D.R. n.º239, Série I DE 2016-12-15	2ª alteração à Portaria nº 349- B/2013
<u>Portaria n.º 98</u> D.R. n.º65, Série I de 2019-04-02	3ª alteração à Portaria nº 349- B/2013
<u>Portaria n.º 297/2019</u> D.R. n.º172, Série I de 2019-09-09	4ª alteração à Portaria nº 349- B/2013

Quadro A1.1 - Legislação em vigor e suas atualizações e retificações (ADENE, 2019b) (continuação)

<u>Portaria n.º 349-C/2013. D.R. n.º233, 2.º Suplemento, Série I de 2013-12-02</u>	Procedimentos de Licenciamento	
<u>Declaração de Retificação n.º4/2014. D.R. n.º 22, Série I de 2014-01-31</u>		Declaração de retificação
<u>Portaria n.º 405/2015. D.R. n.º228, Série I de 2015-11-20</u>		1ª alteração à Portaria n.º 349-C/2013
<u>Portaria n.º 349-D/2013. D.R. n.º233, 2.º Suplemento, Série I de 2013-12-02</u>	Requisitos RECS	
<u>Declaração de Retificação n.º3/2014. D.R. n.º 22, Série I de 2014-01-31</u>		Declaração de retificação
<u>Portaria n.º 17-A/2016, D.R. n.º24, Série I de 2016-02-04</u>		1ª alteração à Portaria n.º 349-D/2013
<u>Portaria n.º 42/2019, D.R. n.º21, Série I de 2019-01-30</u>		2ª alteração à Portaria n.º 349-D/2013
<u>Portaria n.º 353-A/2013. D.R. n.º235, Suplemento, Série I de 2013-12-04</u>	Requisitos Qualidade Ar Interior (QAI)	
<u>Declaração de Retificação n.º2/2014. D.R. n.º 22, Série I de 2014-01-31</u>		Declaração de retificação
<u>Portaria n.º 66/2014. D.R. n.º50, Série I de 2014-03-12</u>	Define o sistema de avaliação dos técnicos do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE)	
<u>Despacho (extrato) n.º 15793-C/2013. D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03</u>	Modelos Certificação Energética	
<u>Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013. D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03</u>	Fatores de Conversão de Energia	

Quadro A1.1 - Legislação em vigor e suas atualizações e retificações (ADENE, 2019b) (continuação)

<u>Despacho (extrato) n.º 15793-E/2013.</u> <u>D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II</u> <u>de 2013-12-03</u>	Simplificação Edifícios Existentes	
<u>Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013.</u> <u>D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II</u> <u>de 2013-12-03</u>	Zonamento Climático	
<u>Despacho (extrato) n.º 15793-G/2013.</u> <u>D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II</u> <u>de 2013-12-03</u>	Procedimento de Ensaio / Plano de Manutenção	
<u>Despacho (extrato) n.º 15793-H/2013.</u> <u>D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II</u> <u>de 2013-12-03</u>	Contribuição Energias Renováveis	
<u>Despacho n.º 3156/2016, D.R. n.º 42,</u> <u>Série II de 2016-03-01</u>		1ª alteração ao Despacho n.º 15793-H/2013
<u>Despacho n.º 10346/2018, D.R. n.º</u> <u>215, Série II de 2018-11-08</u>		2ª alteração ao Despacho n.º 15793-H/2013
<u>Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013.</u> <u>D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II</u> <u>de 2013-12-03</u>	Cálculo das Necessidades Energéticas	
<u>Despacho n.º 3777/2017 D.R. n.º 87,</u> <u>SÉRIE II DE 2017-05-05</u>		1ª alteração ao Despacho n.º 15793-I/2013
<u>Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013.</u> <u>D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II</u> <u>de 2013-12-03</u>	Classe Energética	
<u>Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013.</u> <u>D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II</u> <u>de 2013-12-03</u>	Parâmetros Térmicos	
<u>Declaração de Retificação n.º</u> <u>127/2014. D.R. n.º 29, Série II de 2014-</u> <u>02-11</u>		Declaração de retificação
<u>Despacho (extrato) n.º 15793-L/2013.</u> <u>D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II</u> <u>de 2013-12-03</u>	Viabilidade Económica	

Quadro A1.1 - Legislação em vigor e suas atualizações e retificações (ADENE, 2019b) (continuação)

---

<u>Despacho n.º 7113/2015. D.R. n.º 124, Série II de 2015-06-29</u>	Verificação da qualidade dos processos e metodologias de verificação da certificação	
<u>Declaração de Retificação n.º 769/2015. D.R. n.º 174, Série II de 2015-09-07</u>		Declaração de retificação
<u>Despacho n.º 8892/2015. D.R. n.º 155, Série II de 2015-08-11</u>	Define a metodologia de classificação a adotar para os ascensores, tapetes rolantes e escadas mecânicas a instalar em edifícios de comércio e serviços por forma a aferir o cumprimento dos requisitos mínimos de eficiência energética.	
<u>Despacho n.º 14985/2015. D.R. n.º 246, Série II de 2015-12-17</u>	Procede à publicação da metodologia a usar para determinar os valores (Qusable) e do Seasonal Performance Factor (SPF) utilizados na metodologia de cálculo da contribuição da energia renovável obtida a partir de bombas de calor.	
<u>Despacho (extrato) n.º 6469/2016. D.R. n.º 95, Série II de 2016-05-17</u>	Aferição da evolução do desempenho energético dos edifícios dos modelos associados aos diferentes tipos de pré-certificados (PCE) e certificados (CE) do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE).	
<u>Despacho (extrato) n.º 6470/2016. D.R. n.º 95, Série II de 2016-05-17</u>	Definição dos requisitos associados à elaboração dos planos de racionalização energética.	
<u>Despacho (extrato) n.º 4343/2019 D.R. n.º 81, Série II de 2019-04-26</u>	Define o fator de conversão para redes urbanas de frio e calor alimentadas por sistemas de cogeração ou de trigerção.	
<u>Portaria n.º 303/2019 D.R. n.º 175, Série I de 2019-09-12</u>	Fixa os custos-padrão, definidos por tecnologia, sistema, ou elemento construtivo que permitem quantificar o custo das intervenções para operações de reabilitação.	

---

**ANEXO A2.**

**CARACTERIZAÇÃO DETALHADA DAS PROPRIEDADES DOS  
MATERIAIS UTILIZADO NOS CASO ESTUDO**

Quadro A2.1 - Caracterização detalhada das paredes do caso estudo 1 (desenhos à escala 1:5)

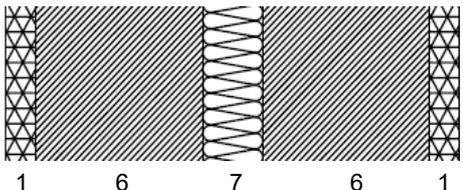
<b>1PDE - Fachada</b>						
1ZS: 1 / 2 / 3 / 4 / 5	esp. [m]	$\lambda$ [W/m·°C]	R [m <sup>2</sup> ·°C/W]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	C [J/kg]	
1) cerâmica vidrada	0,02	1,300	0,015	2300	815	
2) tijolo de 22cm	0,22		0,520	630	800	
3) isolamento térmico EPS	0,06	0,037	1,622	30	1500	
4) reboco	0,005	1,300	0,004	2000	850	
exterior	$\Sigma$		0,305			
Rse (exterior)	0,04					
Rsi (interior horizontal)	0,13					
	$\Sigma R$		2,331			
coeficiente de absorção ( $\alpha$ )	0,8					
<b>U [W/m<sup>2</sup>·°C]</b>		<b>0,43</b>				

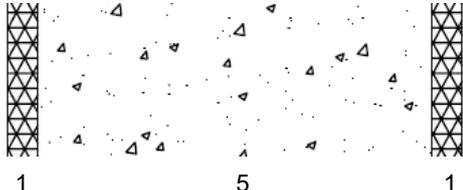
<b>1PTP – fachada</b>						
1ZS: 1 / 2 / 3 / 4 / 5	esp. [m]	$\lambda$ [W/m·°C]	R [m <sup>2</sup> ·°C/W]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	C [J/kg]	
1) cerâmica vidrada	0,02	1,300	0,015	2300	815	
5) betão armado	0,22	2,000	0,110	2500	850	
3) isolamento térmico EPS	0,06	0,037	1,622	30	1500	
4) reboco	0,005	1,300	0,004	2000	850	
exterior	$\Sigma$		0,305			
Rse (exterior)	0,04					
Rsi (interior horizontal)	0,13					
	$\Sigma R$		1,921			
coeficiente de absorção ( $\alpha$ )	0,8					
<b>U [W/m<sup>2</sup>·°C]</b>		<b>0,52</b>				

Quadro A2.1 - Caracterização detalhada das paredes do caso estudo 1 (desenhos à escala 1:5) (continuação)

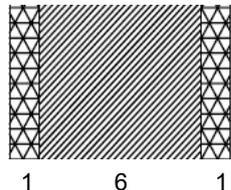
<b>1PSR1 – parede sem requisitos</b>		esp.	$\lambda$	R	$\rho$	C
1ZS: 1 / 2 / 5		[m]	[W/m·°C]	[m <sup>2</sup> ·°C/W]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[J/kg]
1)	cerâmica vidrada	0,02	1,300	0,015	2300	815
6)	tijolo de 11cm	0,11		0,270	630	800
7)	lã de rocha	0,04	0,045	0,889	35	850
6)	tijolo de 11cm	0,11		0,270	630	800
1)	cerâmica vidrada	0,02	1,300	0,015	2300	815
fração adjacente		$\Sigma$ 0,300				
Rse	(interior horizontal)	0,13				
Rsi	(interior horizontal)	0,13				
$\Sigma R$		1,720				
<b>U [W/m<sup>2</sup>·°C]</b>		<b>0,58</b>				



<b>1PSR2 – parede sem requisitos</b>		esp.	$\lambda$	R	$\rho$	C
1ZS: 1 / 5		[m]	[W/m·°C]	[m <sup>2</sup> ·°C/W]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[J/kg]
1)	cerâmica vidrada	0,02	1,300	0,015	2300	815
5)	betão armado	0,26	2,000	0,130	2500	850
1)	cerâmica vidrada	0,02	1,300	0,015	2300	815
fração adjacente		$\Sigma$ 0,300				
Rse	(interior horizontal)	0,13				
Rsi	(interior horizontal)	0,13				
$\Sigma R$		0,421				
<b>U [W/m<sup>2</sup>·°C]</b>		<b>2,38</b>				



<b>1PD – parede divisória</b>		esp.	$\lambda$	R	$\rho$	C
1ZS: 1 / 2 / 3 / 4 / 5		[m]	[W/m·°C]	[m <sup>2</sup> ·°C/W]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[J/kg]
1)	cerâmica vidrada	0,02	1,300	0,015	2300	815
6)	tijolo de 11cm	0,11		0,270	630	800
1)	cerâmica vidrada	0,02	1,300	0,015	2300	815
1ZS: 1 / 2 / 3 / 4 / 5		$\Sigma$ 0,150				
Rse	(interior horizontal)	0,13				
Rsi	(interior horizontal)	0,13				
$\Sigma R$		0,561				
<b>U [W/m<sup>2</sup>·°C]</b>		<b>1,78</b>				



Quadro A2.2 - Caracterização detalhada dos pavimentos do caso estudo 1 (desenhos à escala 1:5)

<b>1PVI – pavimento inferior sem requisitos</b>		esp.	$\lambda$	R	$\rho$	C
		[m]	[W/m·°C]	[m <sup>2</sup> ·°C/W]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[J/kg]
1ZS: 1 / 2 / 3 / 4 / 5						
1)	cerâmica vidrada	0,02	1,300	0,015	2300	815
8)	betão de regularização	0,04	1,350	0,030	1900	776
9)	betão leve	0,09	0,280	0,321	800	850
10)	laje aligeirada	0,24		0,310	1650	815
11)	gesso projetado	0,02	0,430	0,047	1520	850
fração adjacente		$\Sigma$ 0,410				

Rse	(interior descendente)	0,17
Rsi	(interior descendente)	0,17
$\Sigma R$		1,063
<b>U [W/m<sup>2</sup>·°C]</b>		<b>0,94</b>

Quadro A2.2 - Caracterização detalhada dos pavimentos do caso estudo 1 (desenhos à escala 1:5)(continuação)

<b>1PVS – pavimento superior sem requisitos</b>	esp.	$\lambda$	R	$\rho$	C
1ZS: 1 / 2 / 3 / 4 / 5	[m]	[W/m·°C]	[m <sup>2</sup> ·°C/W]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[J/kg]
11) gesso projetado	0,02	0,430	0,047	1520	850
10) laje aligeirada	0,24		0,310	1650	815
9) betão leve	0,09	0,280	0,321	800	850
8) betão de regularização	0,04	1,350	0,030	1900	776
1) cerâmica vidrada	0,02	1,300	0,015	2300	815
fração adjacente	$\Sigma$ 0,410				

Rse (interior ascendente)	0,10
Rsi (interior ascendente)	0,10
$\Sigma R$	0,923
<b>U [W/m<sup>2</sup>·°C]</b>	<b>1,08</b>

Quadro A2.3 - Caracterização detalhada das portas do caso estudo 1

<b>1POE – Porta de entrada</b>	esp.	$\lambda$	R	$\rho$	C
1ZS: 1 / 2 / 3 / 4 / 5	[m]	[W/m·°C]	[m <sup>2</sup> ·°C/W]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[J/kg]
Madeira	0,06	0,132	0,455	500	1500
Exterior					
Rse (exterior)	0,04				
Rsi (interior horizontal)	0,13				
$\Sigma R$	0,625				
coeficiente de absorção ( $\alpha$ )	0,8				
<b>U [W/m<sup>2</sup>·°C]</b>	<b>1,60</b>				

<b>1POD – Porta de separação de divisões</b>	esp.	$\lambda$	R	$\rho$	C
1ZS: 1 / 2 / 3 / 4 / 5	[m]	[W/m·°C]	[m <sup>2</sup> ·°C/W]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[J/kg]
Madeira	0,06	0,132	0,27	500	1500
1ZS: 1 / 2 / 3 / 4 / 5					
Rse (interior horizontal)	0,13				
Rsi (interior horizontal)	0,13				
$\Sigma R$	0,487				
<b>U [W/m<sup>2</sup>·°C]</b>	<b>2,05</b>				

Quadro A2.4 - Caracterização detalhada dos vãos envidraçados do caso estudo 1

vão envidraçado	1VE1	1VE2
<b>Uw [W/m2.°C]</b>	<b>1,98</b>	<b>1,81</b>
fração envidraçada (Fg)	0,7 <sup>13</sup>	
SHGC (radiação solar direta)	0,85	
SHGC (radiação solar difusa)	0,85	
emissividade (radiação onda longa)	0,80	

Quadro A2.5 - Caracterização detalhada das paredes do caso estudo 2 (desenhos à escala 1:5)

<b>2PDE - fachada ventilada</b>		esp.	$\lambda$	R	$\rho$	C
2ZS: 1 / 2 / 4		[m]	[W/m.°C]	[m <sup>2</sup> .°C/W]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[J/kg]
11)	gesso projetado	0,015	0,430	0,035	900	850
14)	bloco de betão de 20cm	0,20		0,300	1150	800
4)	reboco	0,015	1,300	0,012	1800	850
7)	lã de rocha	0,08	0,042	1,900	35	850
13)	caixa de ar ventilada	0,03			1,3	1000
12)	granito	0,03			83333	702
2ZNA: 2		$\Sigma$	0,37			
Rse	(interior horizontal)	0,13				
Rsi	(interior horizontal)	0,13				
$\Sigma R$		2,507				
<b>U [W/m2.°C]</b>		<b>0,40</b>				

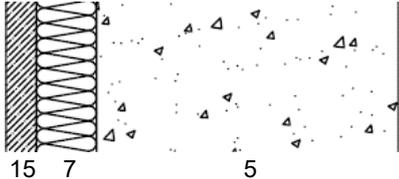
<b>2PTP - fachada ventilada</b>		esp.	$\lambda$	R	$\rho$	C
2ZS: 2		[m]	[W/m.°C]	[m <sup>2</sup> .°C/W]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[J/kg]
11)	gesso projetado	0,015	0,430	0,035	900	850
5)	betão armado	0,24	2,000	0,120	2300	850
7)	lã de rocha	0,08	0,042	1,900	35	850
13)	caixa de ar ventilada	0,03			1,3	1000
12)	granito	0,03			83333	702
2ZNA: 2		$\Sigma$	0,395			
Rse	(interior horizontal)	0,13				
Rsi	(interior horizontal)	0,13				
$\Sigma R$		2,315				
<b>U [W/m2.°C]</b>		<b>0,43</b>				

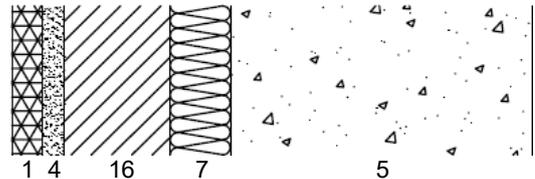
<sup>13</sup> Valor consultado no cálculo do pré-certificado energético (2017b)

Quadro A2.5 - Caracterização detalhada das paredes do caso estudo 2 (desenhos à escala 1:5) (continuação)

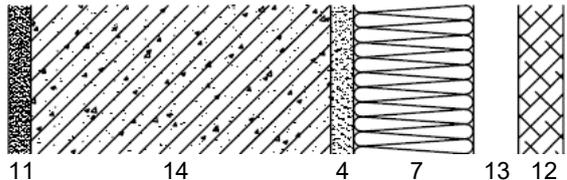
<b>2PDI1 - parede interior</b>		esp.	$\lambda$	R	$\rho$	C
2ZS: 6 / 7		[m]	[W/m·°C]	[m <sup>2</sup> ·°C/W]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[J/kg]
15)	painel de madeira	0,02	0,230	0,087	850	1500
7)	lã de rocha	0,04	0,042	0,950	35	850
5)	betão armado	0,20	2,000	0,100	2300	850
2ZNA: 3		$\Sigma$	0,26			
Rse	(interior horizontal)	0,13				
Rsi	(interior horizontal)	0,13				
$\Sigma R$		1,397				
<b>U [W/m<sup>2</sup>·°C]</b>		<b>0,72</b>				

<b>2PDI2 - parede interior</b>		esp.	$\lambda$	R	$\rho$	C
2ZS: 4		[m]	[W/m·°C]	[m <sup>2</sup> ·°C/W]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[J/kg]
1)	cerâmica vidrada	0,02	1,3	0,015	2300	815
4)	reboco	0,015	1,300	0,012	1800	850
16)	tijolo de 7cm	0,07		0,190		
7)	lã de rocha	0,04	0,042	0,950	35	850
5)	betão armado	0,20	2,000	0,100	2300	850
2ZNA: 3		$\Sigma$	0,345			
Rse	(interior horizontal)	0,13				
Rsi	(interior horizontal)	0,13				
$\Sigma R$		1,527				
<b>U [W/m<sup>2</sup>·°C]</b>		<b>0,65</b>				

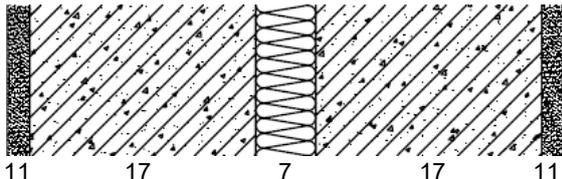

  

<b>2PDI3 - parede interior</b>		esp.	$\lambda$	R	$\rho$	C
2ZS: 4 / 8		[m]	[W/m·°C]	[m <sup>2</sup> ·°C/W]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[J/kg]
11)	gesso projetado	0,015	0,430	0,035	900	850
14)	bloco de betão de 20cm	0,20		0,300	1150	800
4)	reboco	0,015	1,300	0,012	1800	850
7)	lã de rocha	0,08	0,042	1,900	35	850
13)	caixa de ar ventilada	0,03			1,3	1000
12)	granito	0,03			83333	702
2ZNA: 4		$\Sigma$	0,37			
Rse	(interior horizontal)	0,13				
Rsi	(interior horizontal)	0,13				
$\Sigma R$		2,507				
<b>U [W/m<sup>2</sup>·°C]</b>		<b>0,40</b>				

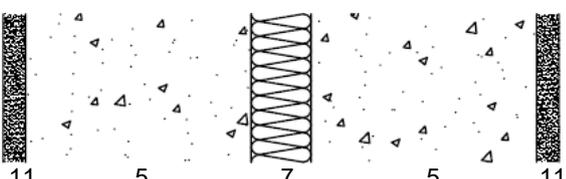


Quadro A2.5 - Caracterização detalhada das paredes do caso estudo 2 (desenhos à escala 1:5) (continuação)

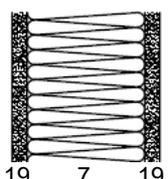
<b>2PSR1 - parede sem requisitos</b>		esp.	$\lambda$	R	$\rho$	C
2ZS: 1 / 3 / 4 / 7 / 8		[m]	[W/m·°C]	[m <sup>2</sup> ·°C/W]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[J/kg]
11)	gesso projetado	0,015	0,430	0,035	900	850
17)	bloco de betão de 15cm	0,15		0,200	1266,7	800
7)	lã de rocha	0,04	0,042	0,950	35	850
17)	bloco de betão de 15cm	0,15		0,200	1266,7	800
11)	gesso projetado	0,015	0,430	0,035	900	850
fração adjacente		$\Sigma$	0,37			
R <sub>se</sub>	(interior horizontal)		0,13			
R <sub>si</sub>	(interior horizontal)		0,13			
$\Sigma R$			1,680			
<b>U [W/m<sup>2</sup>·°C]</b>			<b>0,60</b>			

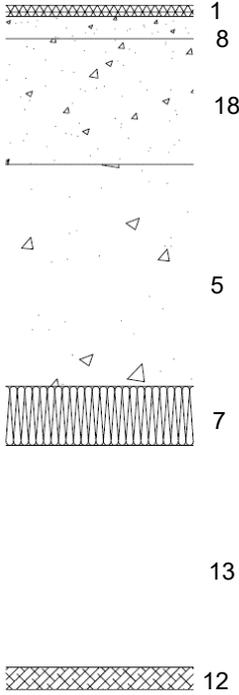
<b>2PSR2 - parede sem requisitos</b>		esp.	$\lambda$	R	$\rho$	C
2ZS: 1 / 3 / 4 / 7 / 8		[m]	[W/m·°C]	[m <sup>2</sup> ·°C/W]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[J/kg]
11)	gesso projetado	0,015	0,430	0,035	900	850
5)	betão armado	0,15	2,000	0,075	2300	850
7)	lã de rocha	0,04	0,042	0,950	35	850
5)	betão armado	0,15	2,000	0,075	2300	850
11)	gesso projetado	0,015	0,430	0,035	900	850
fração adjacente		$\Sigma$	0,37			
R <sub>se</sub>	(interior horizontal)		0,13			
R <sub>si</sub>	(interior horizontal)		0,13			
$\Sigma R$			1,430			
<b>U [W/m<sup>2</sup>·°C]</b>			<b>0,70</b>			

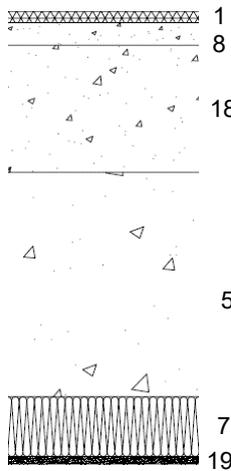
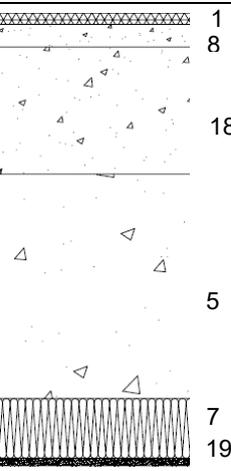
<b>2PD - parede divisória</b>		esp.	$\lambda$	R	$\rho$	C
2ZS: 1 / 2 / 3 / 4 / 5 / 6 / 7 / 8		[m]	[W/m·°C]	[m <sup>2</sup> ·°C/W]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[J/kg]
19)	gesso cartonado em placa	0,01	0,250	0,040	800	850
7)	lã de rocha	0,08	0,042	1,900	35	850
19)	gesso cartonado em placa	0,01	0,250	0,040	800	850
2ZS: 1 / 2 / 3 / 4 / 5 / 6 / 7 / 8		$\Sigma$	0,10			
R <sub>se</sub>	(interior horizontal)		0,13			
R <sub>si</sub>	(interior horizontal)		0,13			
$\Sigma R$			2,240			
<b>U [W/m<sup>2</sup>·°C]</b>			<b>0,45</b>			



Quadro A2.6 - Caracterização detalhada dos pavimentos do caso estudo 2 (desenhos à escala 1:10)

<b>2PVE – pavimento inferior exterior</b>		esp.	$\lambda$	R	$\rho$	C
2ZS: 3 / 7		[m]	[W/m·°C]	[m <sup>2</sup> ·°C/W]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[J/kg]
1)	cerâmica vidrada	0,015	1,3	0,012	2300	815
8)	betão de regularização	0,03	1,35	0,022	1900	776
18)	betão leve de enchimento	0,17	0,330	0,515	900	850
5)	betão armado	0,30	2,000	0,150	2300	850
7)	lã de rocha	0,08	0,042	1,900	35	850
13)	caixa de ar ventilada	0,30			1,3	1000
12)	granito	0,03			83333	702
Exterior		$\Sigma$ 0,925				
						
Rse	(interior descendente)	0,17				
Rsi	(interior descendente)	0,17				13
	$\Sigma$ R	2,939				
	<b>U [W/m<sup>2</sup>·°C]</b>	<b>0,34</b>				

Quadro A2.6-*Caracterização detalhada dos pavimentos do caso estudo 2 (desenhos à escala 1:10)(continuação)*

<b>2PVI – pavimento inferior interior</b>					
	esp.	$\lambda$	R	$\rho$	C
ZZS: 1/2/4/5/6/7/8	[m]	[W/m.°C]	[m <sup>2</sup> .°C/W]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[J/kg]
1) cerâmica vidrada	0,015	1,300	0,012	2300	815
8) betão de regularização	0,03	1,35	0,022	1900	776
18) betão leve de enchimento	0,17	0,330	0,515	900	850
5) betão armado	0,30	2,000	0,150	2300	850
7) lã de rocha	0,08	0,042	1,900	35	850
19) gesso cartonado em placa	0,01	0,250	0,040	800	850
2ZNA: 1	$\Sigma$ 0,605				
					
Rse (interior descendente)	0,17				
Rsi (interior descendente)	0,17				
$\Sigma R$	2,979				
<b>U [W/m<sup>2</sup>.°C]</b>	<b>0,34</b>				
<b>2PVS – pavimento superior sem requisitos</b>					
	esp.	$\lambda$	R	$\rho$	C
ZZS: 1/2/3/4/5/6/7/8	[m]	[W/m.°C]	[m <sup>2</sup> .°C/W]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[J/kg]
19) gesso cartonado em placa	0,01	0,250	0,040	800	850
7) lã de rocha	0,08	0,042	1,900	35	850
5) betão armado	0,30	2,000	0,150	2300	850
18) betão leve de enchimento	0,17	0,330	0,515	900	850
8) betão de regularização	0,03	1,35	0,022	1900	776
1) cerâmica vidrada	0,015	1,300	0,012	2300	815
fração adjacente	$\Sigma$ 0,605				
					
Rse (interior ascendente)	0,10				
Rsi (interior ascendente)	0,10				
$\Sigma R$	2,839				
<b>U [W/m<sup>2</sup>.°C]</b>	<b>0,35</b>				

Quadro A2.7 - Caracterização detalhada das portas do caso estudo 2

<b>2POE1 – Porta de entrada</b>					
	esp.	$\lambda$	R	$\rho$	C
	[m]	[W/m·°C]	[m <sup>2</sup> ·°C/W]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[J/kg]
2ZS: 5					
madeira	0,042		0,303	500	1500
2ZNA: 2					
	Rse	(interior horizontal)	0,13		
	Rsi	(interior horizontal)	0,13		
		$\Sigma R$	0,563		
<b>U [W/m<sup>2</sup>·°C] 1,78</b>					
<b>2POE2 – Porta de entrada elevadores</b>					
	esp.	$\lambda$	R	$\rho$	C
	[m]	[W/m·°C]	[m <sup>2</sup> ·°C/W]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[J/kg]
2ZS: 5 / 7					
madeira	0,047		0,394	500	1500
2ZNA: 3					
	Rse	(interior horizontal)	0,13		
	Rsi	(interior horizontal)	0,13		
		$\Sigma R$	0,654		
<b>U [W/m<sup>2</sup>·°C] 1,53</b>					
<b>2POD – Porta de separação de divisões</b>					
	esp.	$\lambda$	R	$\rho$	C
	[m]	[W/m·°C]	[m <sup>2</sup> ·°C/W]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[J/kg]
2ZS: 1 / 2 / 3 / 4 / 5					
madeira	0,04		0,480	500	1500
2ZS: 1 / 2 / 3 / 4 / 5					
	Rse	(interior horizontal)	0,13		
	Rsi	(interior horizontal)	0,13		
		$\Sigma R$	0,740		
<b>U [W/m<sup>2</sup>·°C] 1,35</b>					

Quadro A2.8 - Caracterização detalhada dos vãos envidraçados do caso estudo 2

vão envidraçado	2VE1	2VE2	2VE3	2VE4	2VE5	2VE6	2VI
<b>Uw [W/m<sup>2</sup>·°C]</b>	<b>1,66</b>	<b>1,68</b>	<b>1,49</b>	<b>1,57</b>	<b>1,49</b>	<b>1,61</b>	<b>1,48</b>
fração envidraçada (Fg)				0,9			
SHGC (radiação solar direta)				0,85			
SHGC (radiação solar difusa)				0,85			
emissividade (radiação onda longa)				0,80			



**ANEXO A3.**

**GRÁFICOS DA APLICAÇÃO DO MODELO DE CONFORTO  
TÉRMICO ADAPTATIVO DA EN 15251**

a) Caso Estudo 1: 1CU1

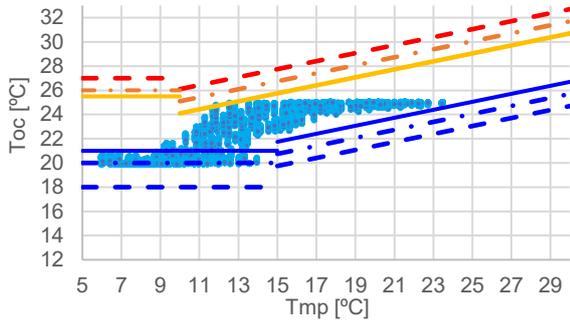


Fig. A3.1 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS1 do caso estudo 1 (1CU1)

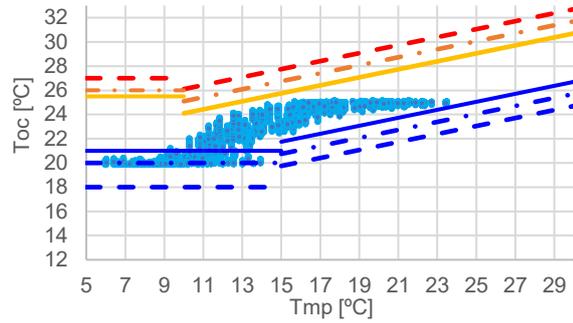


Fig. A3.2 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS2 do caso estudo 1 (1CU1)

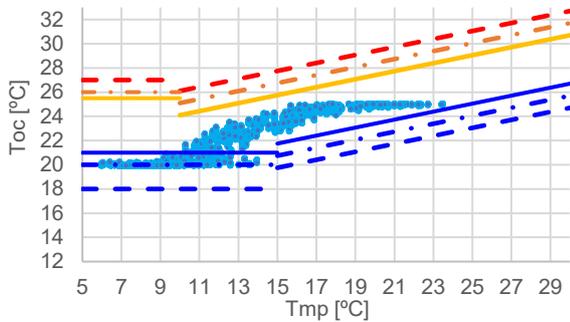


Fig. A3.3 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS3 do caso estudo 1 (1CU1)

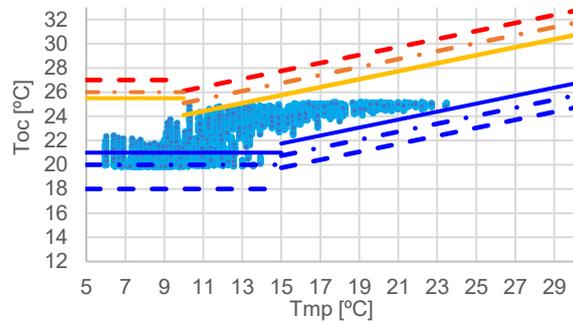


Fig. A3.4 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS4 do caso estudo 1 (1CU1)

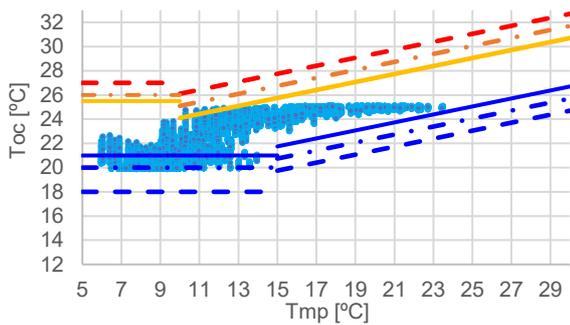


Fig. A3.5 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS5 do caso estudo 1 (1CU1)

**b) Caso Estudo 1: 1CU2**

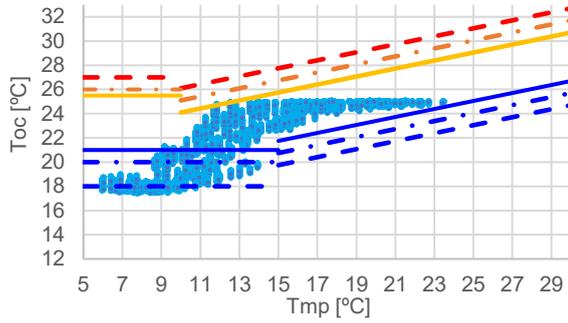


Fig. A3.6 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS1 do caso estudo 1 (1CU2)

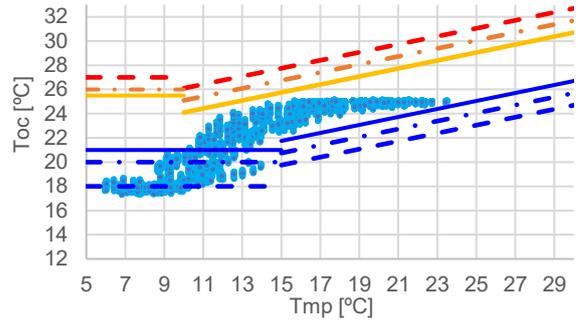


Fig. A3.7 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS2 do caso estudo 1 (1CU2)

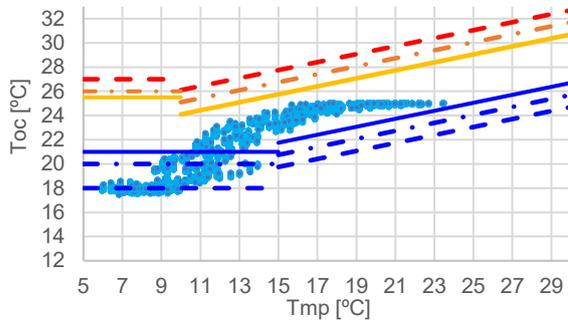


Fig. A3.8 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS3 do caso estudo 1 (1CU2)

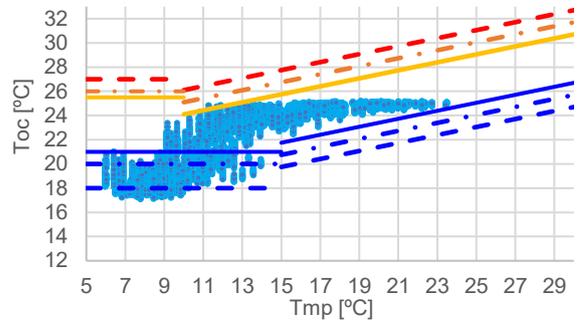


Fig. A3.9 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS4 do caso estudo 1 (1CU2)

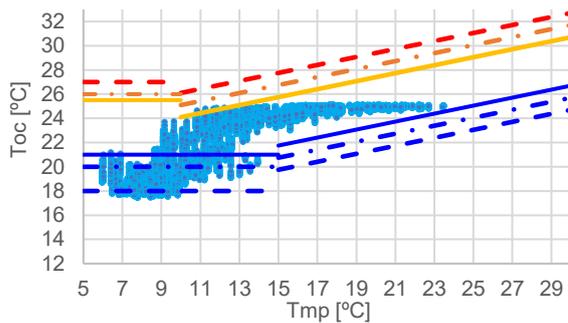


Fig. A3.10 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS5 do caso estudo 1 (1CU2)

c) Caso Estudo 1: 1CU3

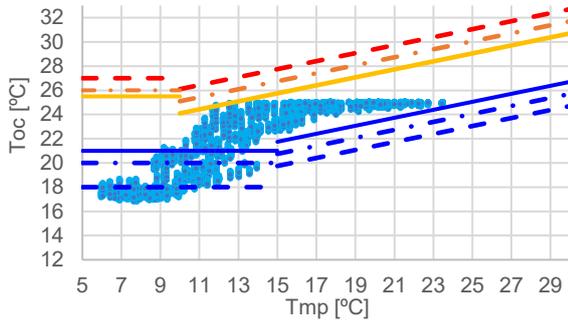


Fig. A3.11 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS1 do caso estudo 1 (1CU3)

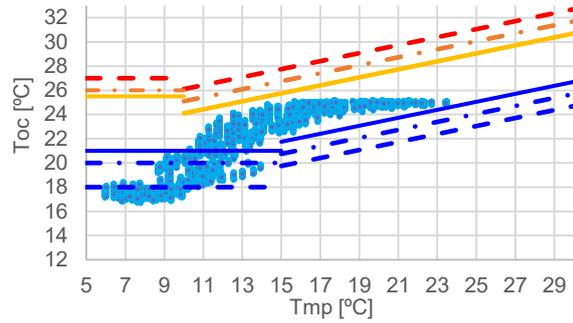


Fig. A3.12 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS2 do caso estudo 1 (1CU3)

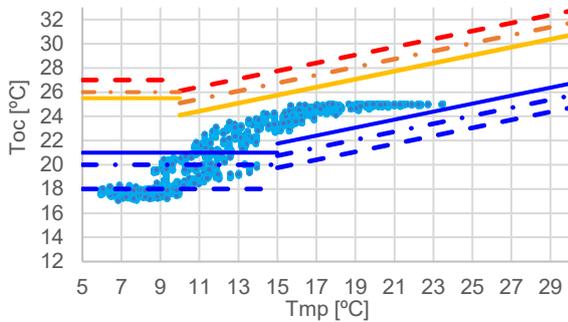


Fig. A3.13 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS3 do caso estudo 1 (1CU3)

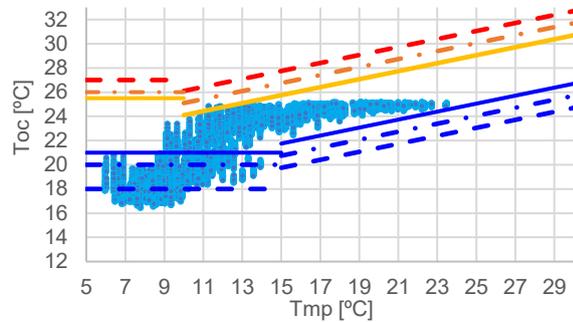


Fig. A3.14 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS4 do caso estudo 1 (1CU3)

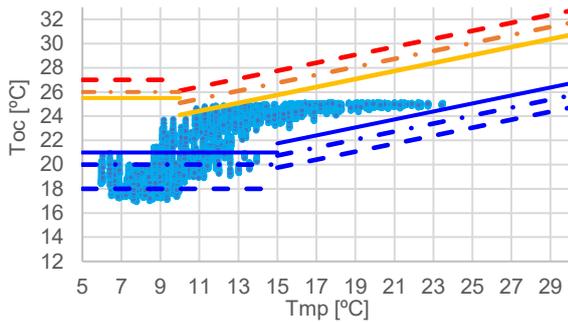


Fig. A3.15 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS5 do caso estudo 1 (1CU3)

**d) Caso Estudo 1: 1CU4**

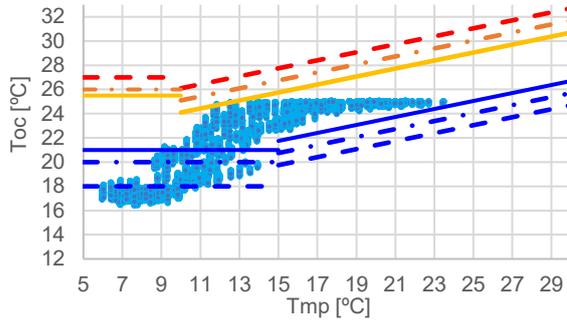


Fig. A3.16 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS1 do caso estudo 1 (1CU4)

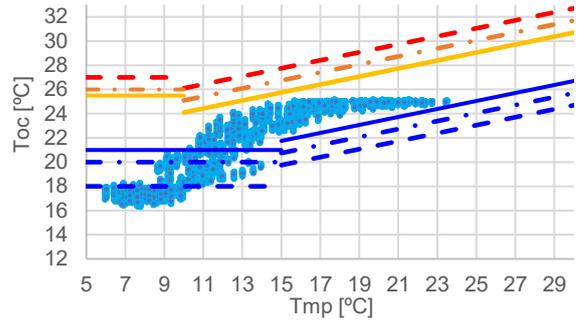


Fig. A3.17 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS2 do caso estudo 1 (1CU4)

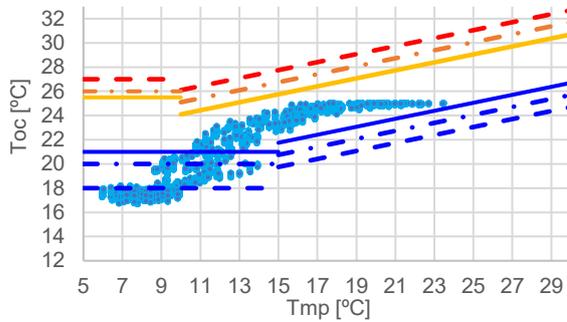


Fig. A3.18 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS3 do caso estudo 1 (1CU4)

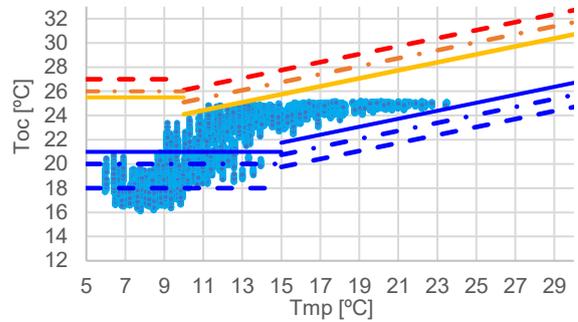


Fig. A3.19 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS4 do caso estudo 1 (1CU4)

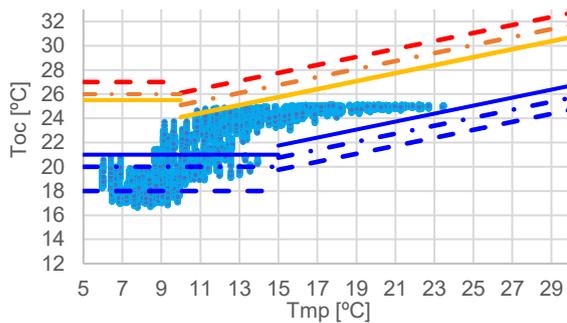


Fig. A3.20 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS5 do caso estudo 1 (1CU4)

e) Caso Estudo 1: 1CU5

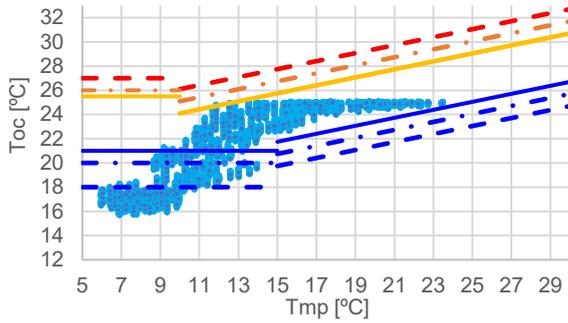


Fig. A3.21 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS1 do caso estudo 1 (1CU5)

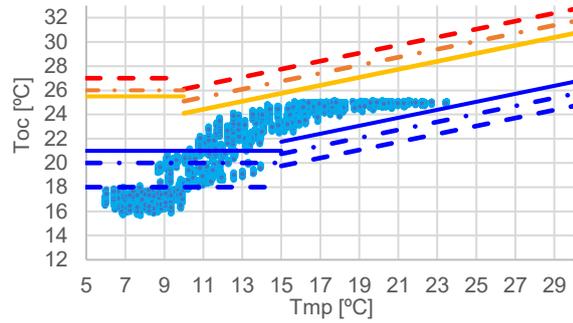


Fig. A3.22 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS2 do caso estudo 1 (1CU5)

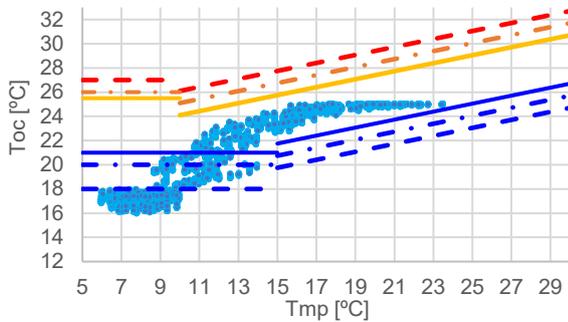


Fig. A3.23 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS3 do caso estudo 1 (1CU5)

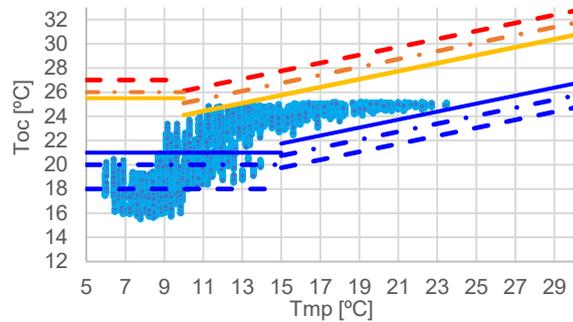


Fig. A3.24 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS4 do caso estudo 1 (1CU5)

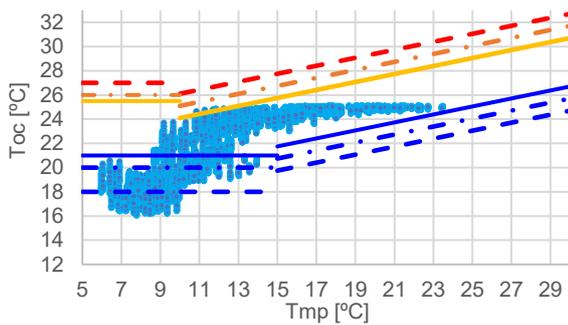


Fig. A3.25 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS5 do caso estudo 1 (1CU5)

**f) Caso Estudo 1: 1CU6**

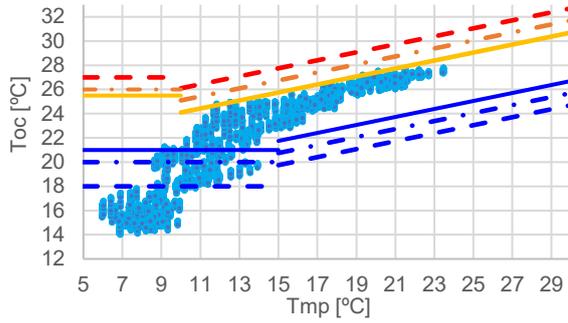


Fig. A3.26 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS1 do caso estudo 1 (1CU6)

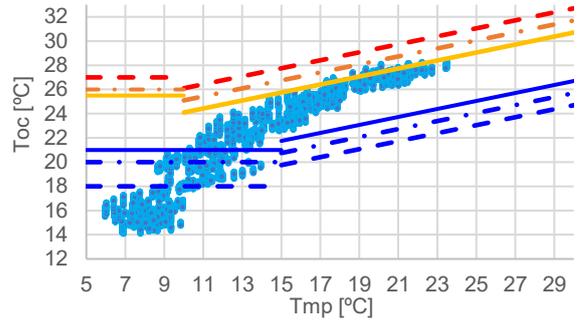


Fig. A3.27 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS2 do caso estudo 1 (1CU6)

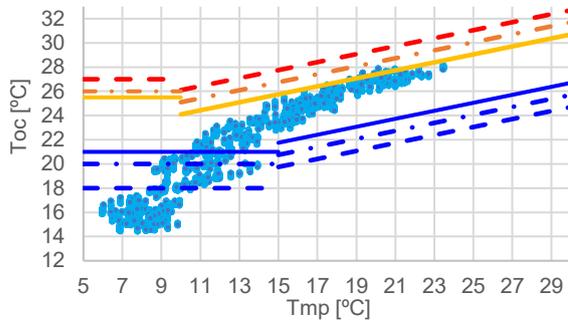


Fig. A3.28 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS3 do caso estudo 1 (1CU6)

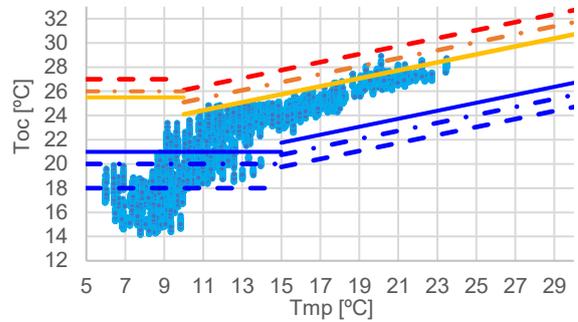


Fig. A3.29 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS4 do caso estudo 1 (1CU6)

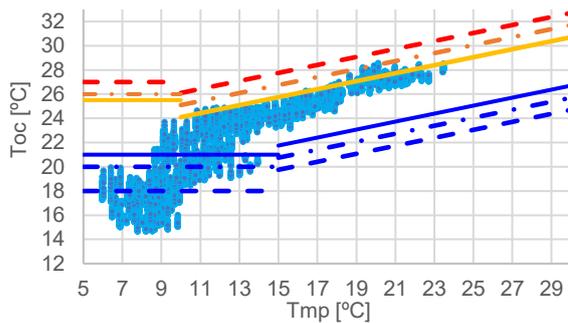


Fig. A3.30 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 1ZS5 do caso estudo 1 (1CU6)

**g) Caso Estudo 2: 2CU1**

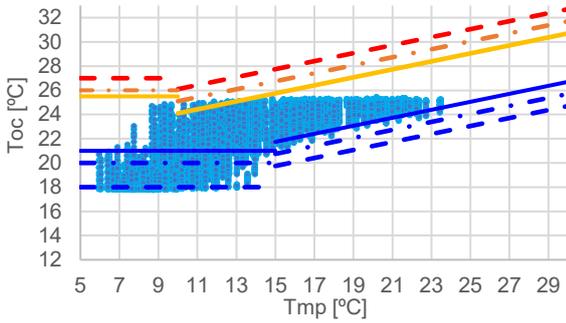


Fig. A3.31 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS1 do caso estudo 2 (2CU1)

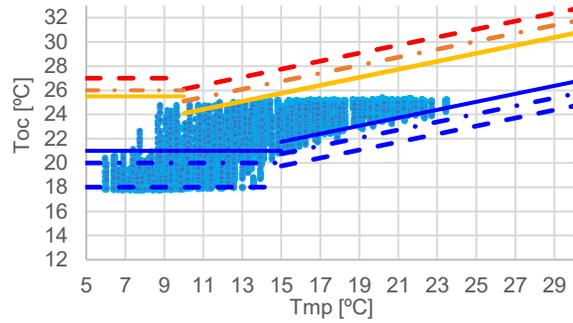


Fig. A3.32 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS2 do caso estudo 2 (2CU1)

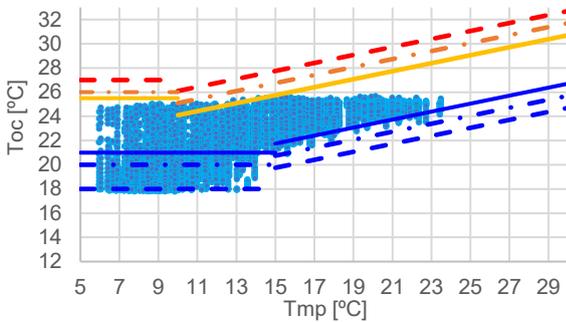


Fig. A3.33 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS3 do caso estudo 2 (2CU1)

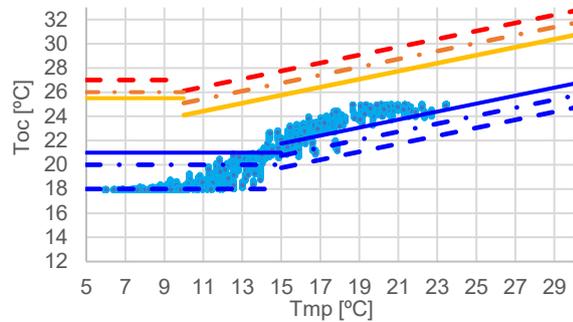


Fig. A3.34 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS4 do caso estudo 2 (2CU1)

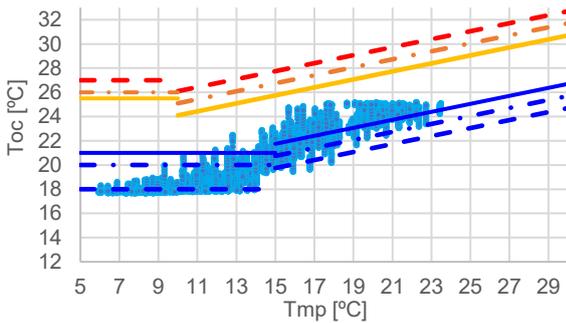


Fig. A3.35 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS5 do caso estudo 2 (2CU1)

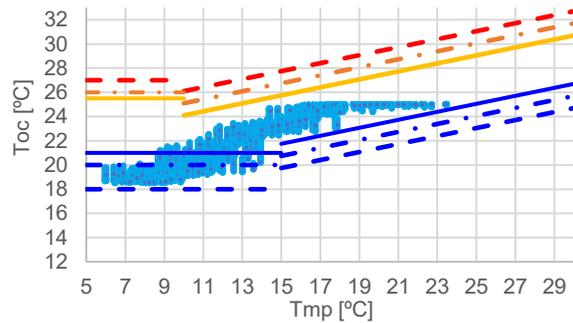


Fig. A3.36 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS6 do caso estudo 2 (2CU1)

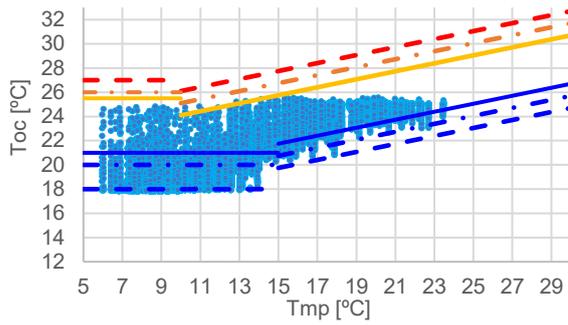


Fig. A3.37 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS7 do caso estudo 2 (2CU1)

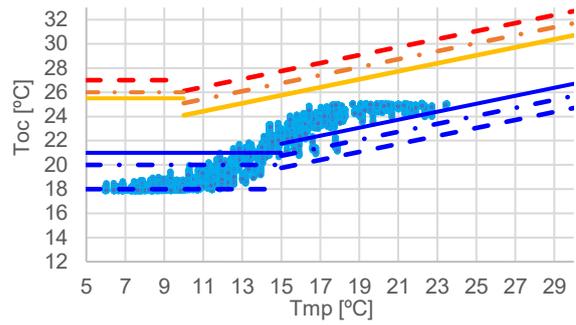


Fig. A3.38 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS8 do caso estudo 2 (2CU1)

**h) Caso Estudo 2: 2CU2**

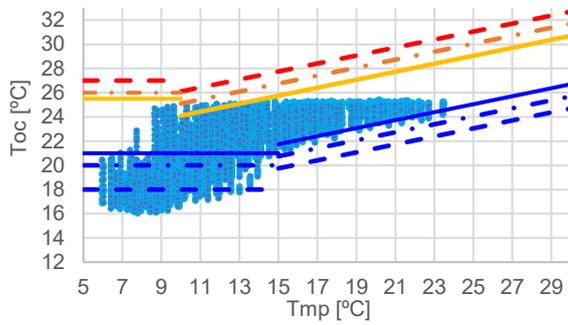


Fig. A3.39 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS1 do caso estudo 2 (2CU2)

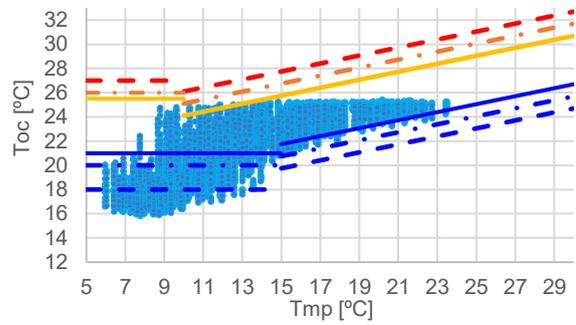


Fig. A3.40 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS2 do caso estudo 2 (2CU2)

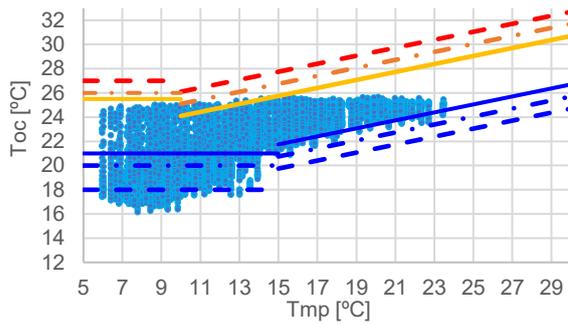


Fig. A3.41 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS3 do caso estudo 2 (2CU2)

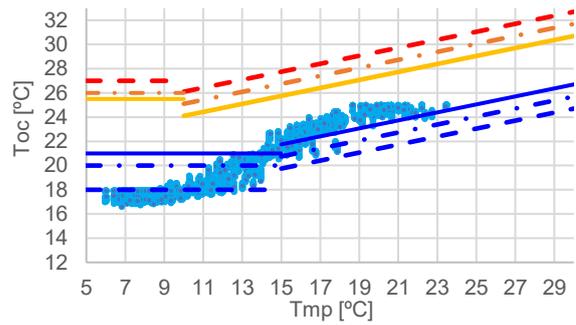


Fig. A3.42 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS4 do caso estudo 2 (2CU2)

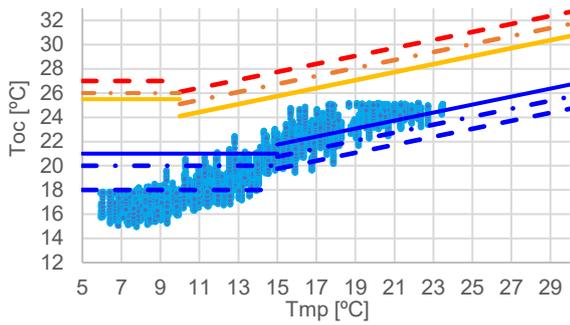


Fig. A3.43 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS5 do caso estudo 2 (2CU2)

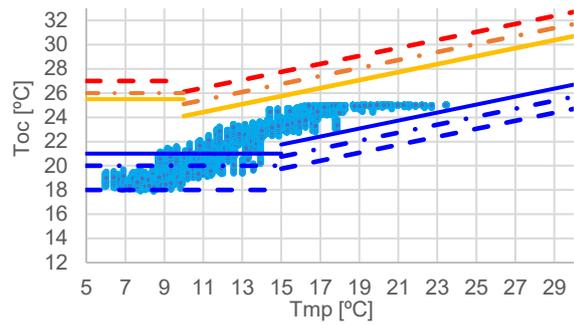


Fig. A3.44 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS6 do caso estudo 2 (2CU2)

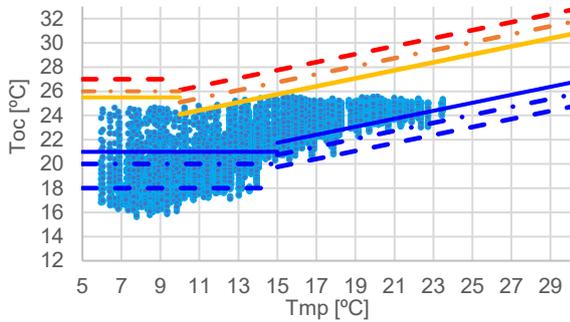


Fig. A3.45 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS7 do caso estudo 2 (2CU2)

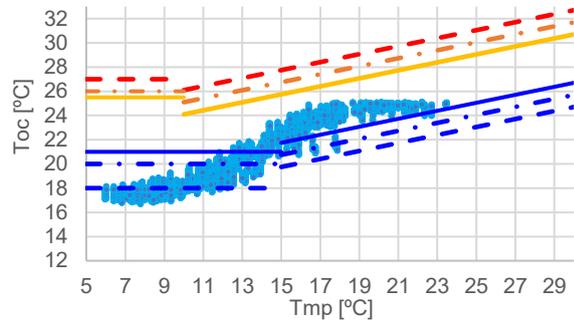


Fig. A3.46 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS8 do caso estudo 2 (2CU2)

**i) Caso Estudo 2: 2CU3**

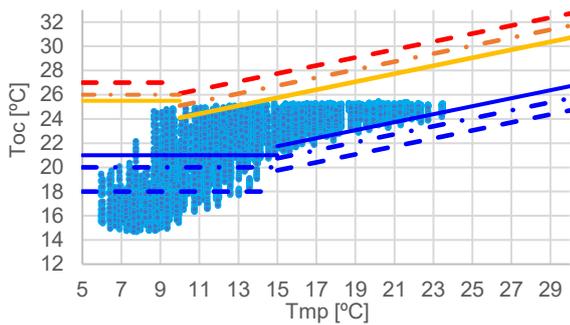


Fig. A3.47 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS1 do caso estudo 2 (2CU3)

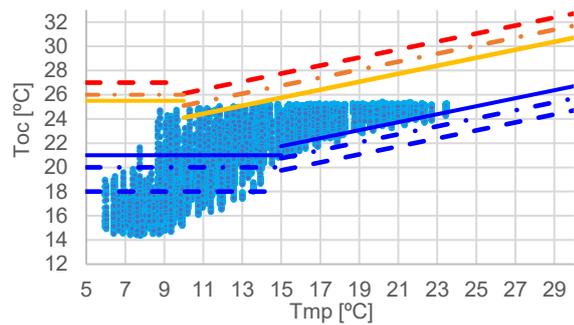


Fig. A3.48 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS2 do caso estudo 2 (2CU3)

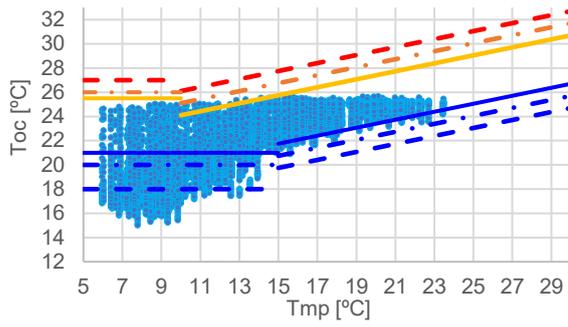


Fig. A3.49 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS3 do caso estudo 2 (2CU3)

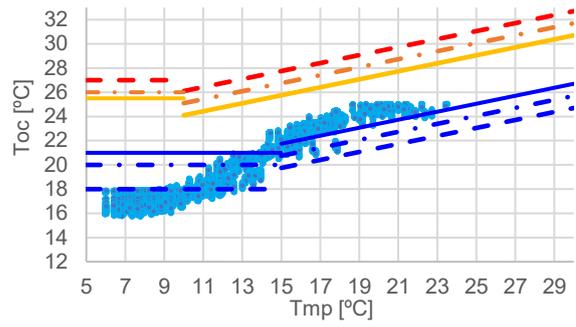


Fig. A3.50 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS4 do caso estudo 2 (2CU3)

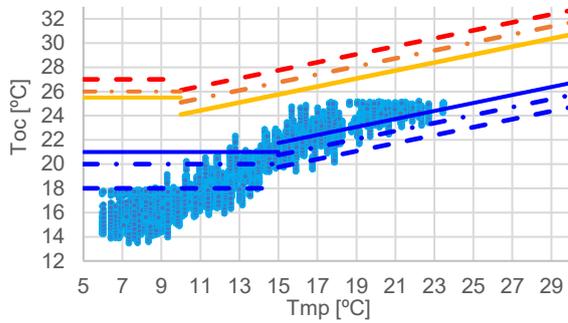


Fig. A3.51 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS5 do caso estudo 2 (2CU3)

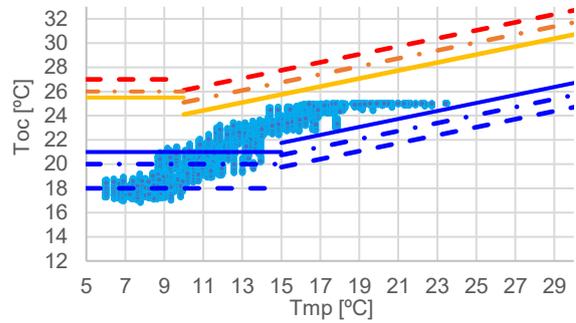


Fig. A3.52 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS6 do caso estudo 2 (2CU3)

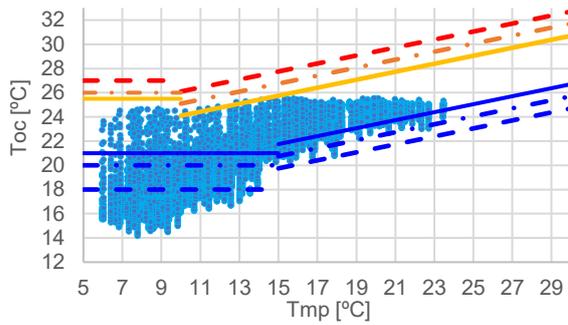


Fig. A3.53 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS7 do caso estudo 2 (2CU3)

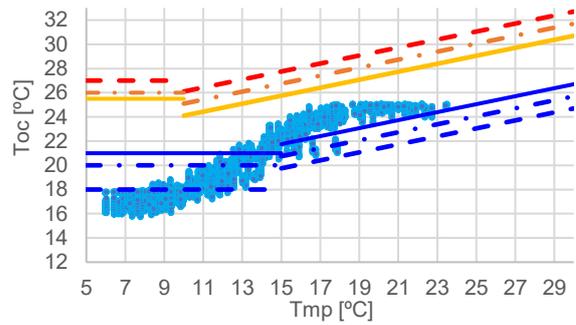


Fig. A3.54 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS8 do caso estudo 2 (2CU3)

**j) Caso Estudo 2: 2CU4**

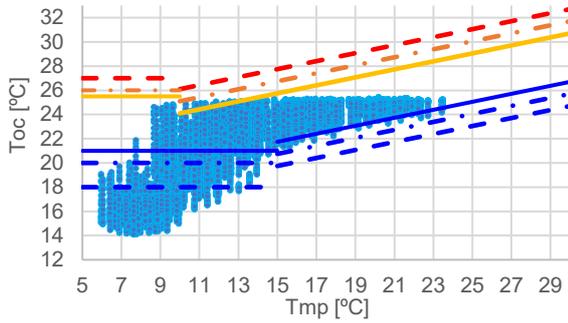


Fig. A3.55 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS1 do caso estudo 2 (2CU4)

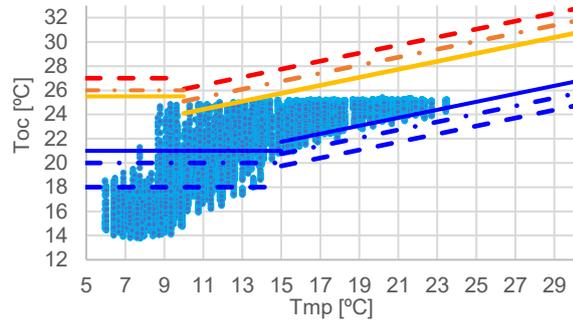


Fig. A3.56 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS2 do caso estudo 2 (2CU4)

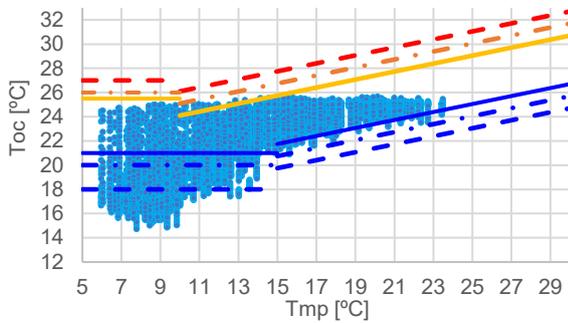


Fig. A3.57 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS3 do caso estudo 2 (2CU4)

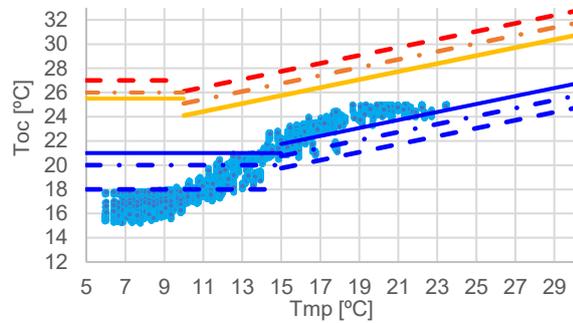


Fig. A3.58 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS4 do caso estudo 2 (2CU4)

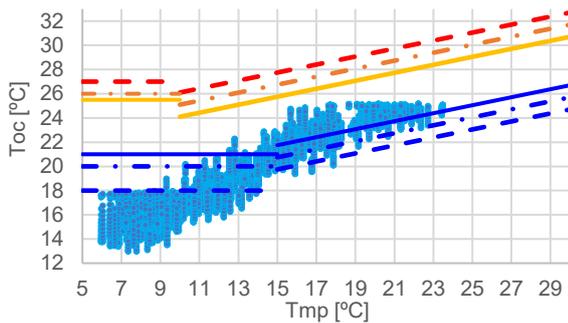


Fig. A3.59 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS5 do caso estudo 2 (2CU4)

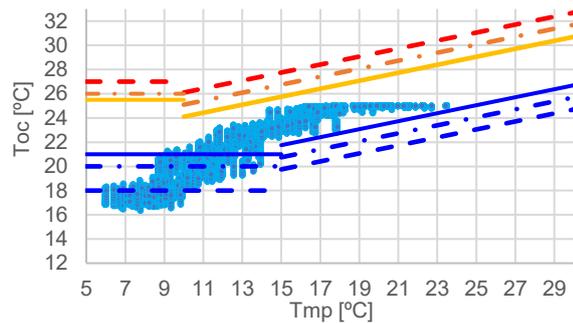


Fig. A3.60 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS6 do caso estudo 2 (2CU4)

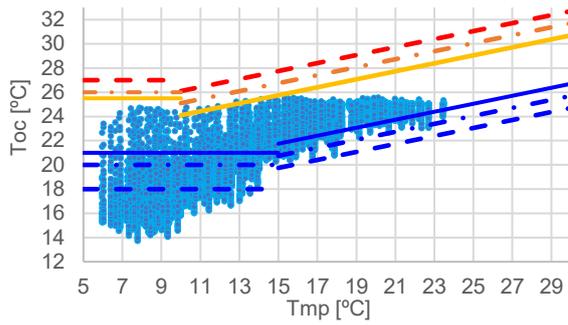


Fig. A3.61 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS7 do caso estudo 2 (2CU4)

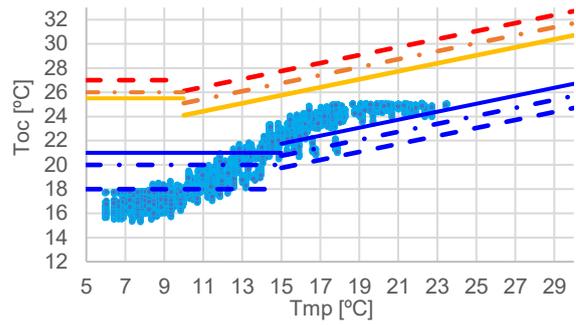


Fig. A3.62 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS8 do caso estudo 2 (2CU4)

**k) Caso Estudo 2: 2CU5**

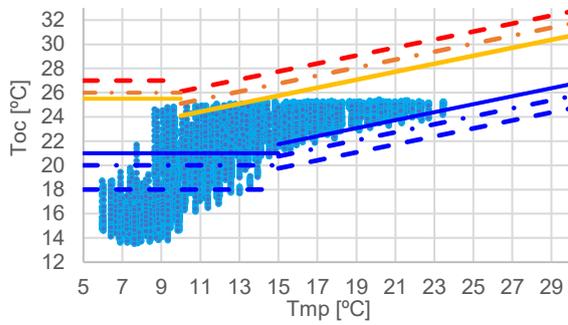


Fig. A3.63 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS1 do caso estudo 2 (2CU5)

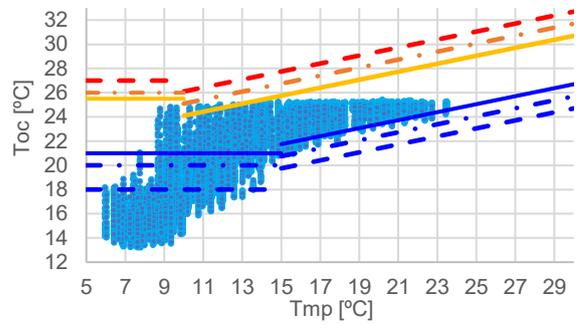


Fig. A3.64 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS2 do caso estudo 2 (2CU5)

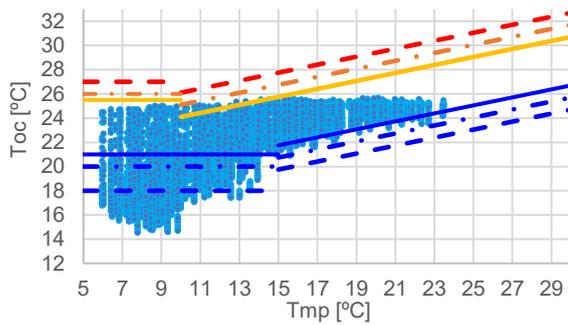


Fig. A3.65 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS3 do caso estudo 2 (2CU5)

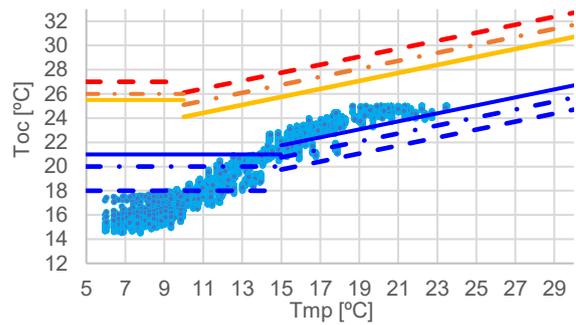


Fig. A3.66 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS4 do caso estudo 2 (2CU5)

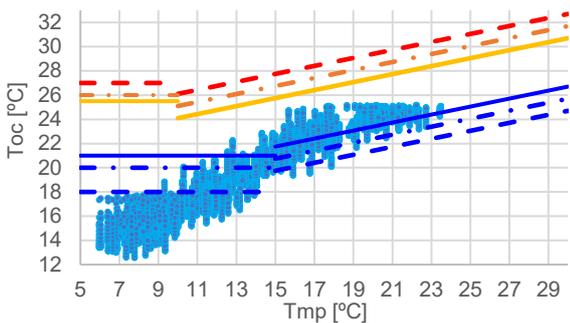


Fig. A3.67 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS5 do caso estudo 2 (2CU5)

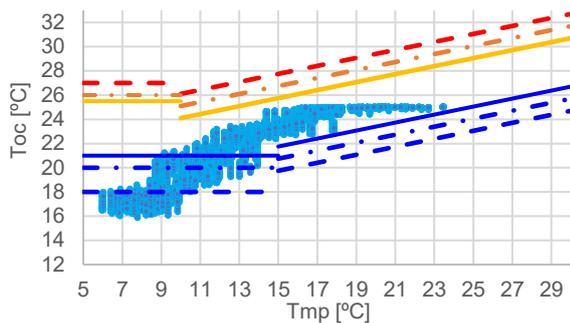


Fig. A3.68 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS6 do caso estudo 2 (2CU5)

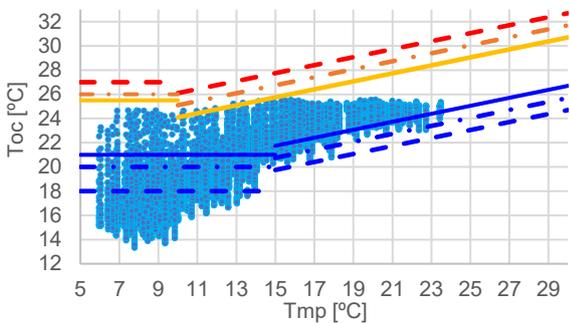


Fig. A3.69 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS7 do caso estudo 2 (2CU5)

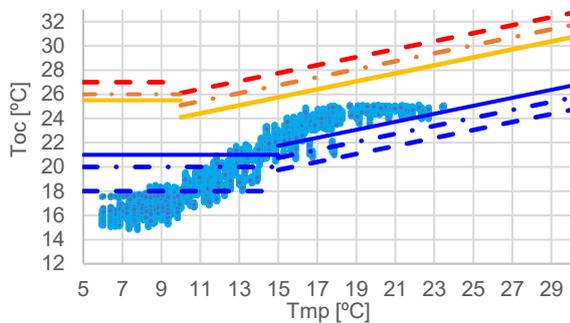


Fig. A3.70 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS8 do caso estudo 2 (2CU5)

**I) Caso Estudo 2: 2CU6**

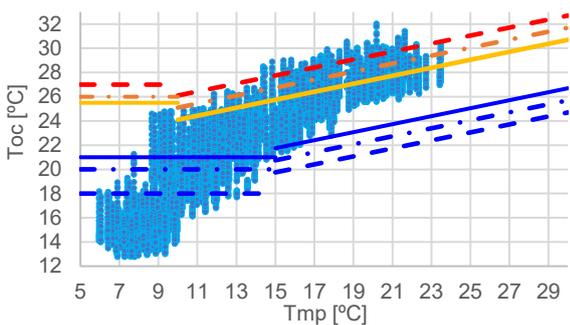


Fig. A3.71 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS1 do caso estudo 2 (2CU6)

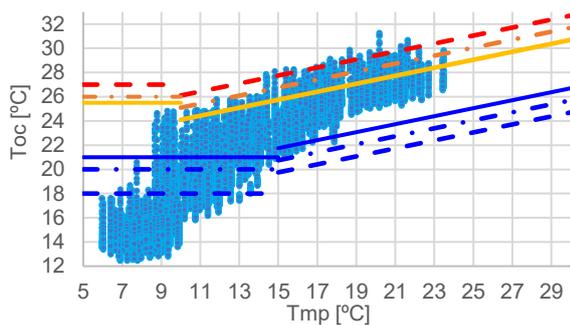


Fig. A3.72 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS2 do caso estudo 2 (2CU6)

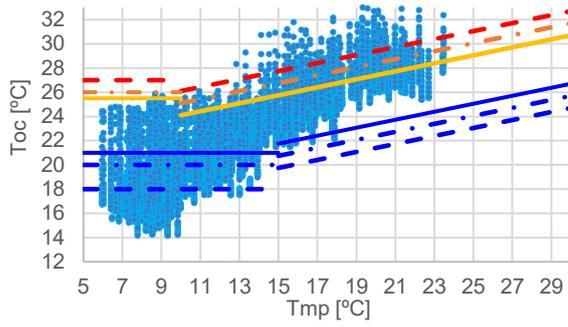


Fig. A3.73 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS3 do caso estudo 2 (2CU6)

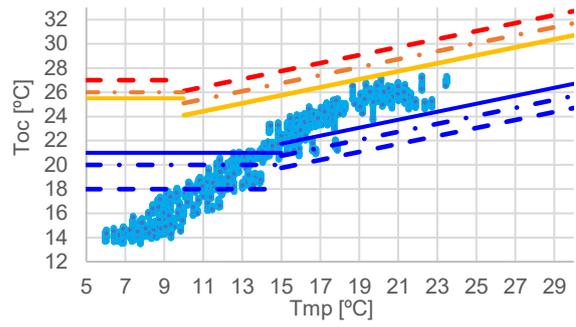


Fig. A3.74 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS4 do caso estudo 2 (2CU6)

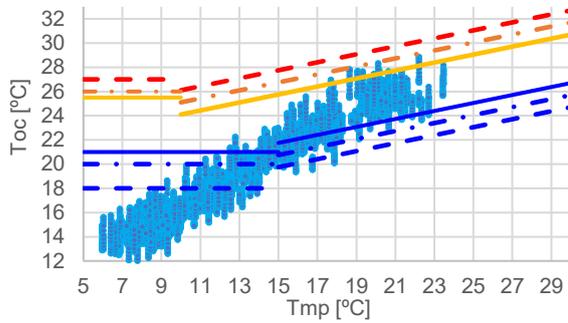


Fig. A3.75 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS5 do caso estudo 2 (2CU6)

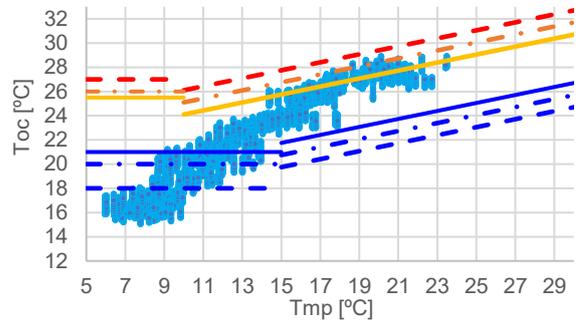


Fig. A3.76 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS6 do caso estudo 2 (2CU6)

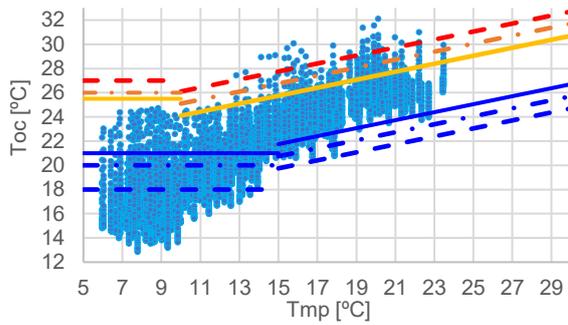


Fig. A3.77 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS7 do caso estudo 2 (2CU6)

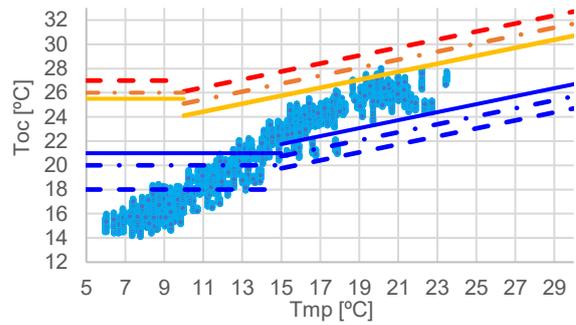


Fig. A3.78 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS8 do caso estudo 2 (2CU6)

**m) Caso Estudo 2: 2CU7**

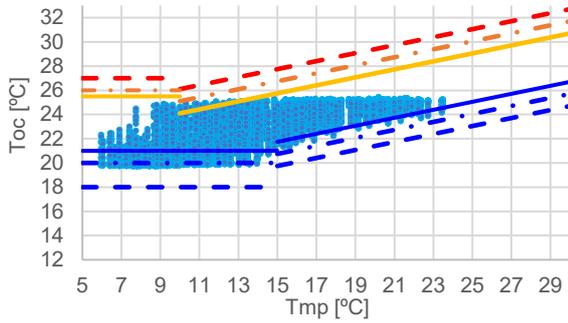


Fig. A3.79 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS1 do caso estudo 2 (2CU7)

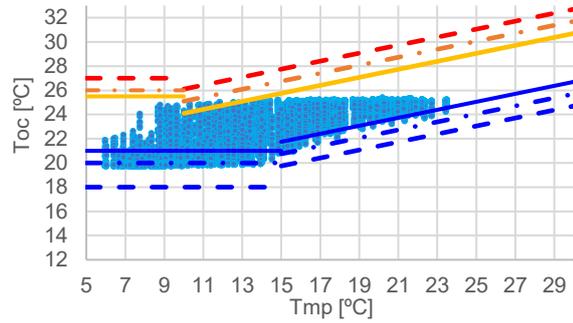


Fig. A3.80 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS2 do caso estudo 2 (2CU7)

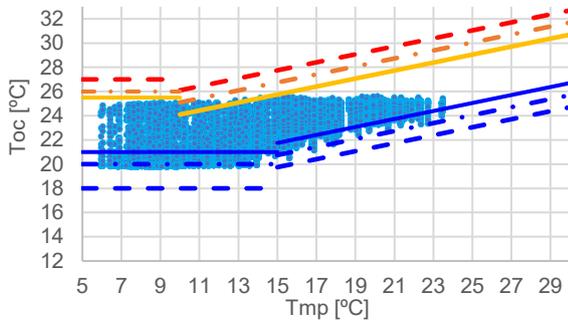


Fig. A3.81 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS3 do caso estudo 2 (2CU7)

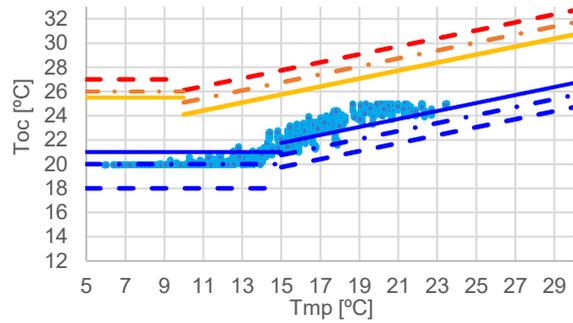


Fig. A3.82 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS4 do caso estudo 2 (2CU7)

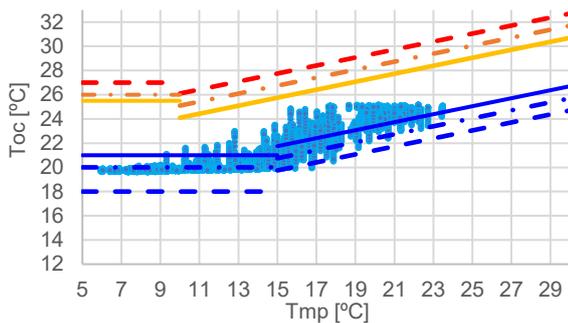


Fig. A3.83 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS5 do caso estudo 2 (2CU7)

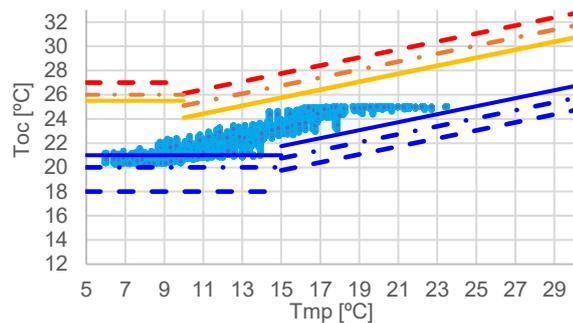


Fig. A3.84 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS6 do caso estudo 2 (2CU7)

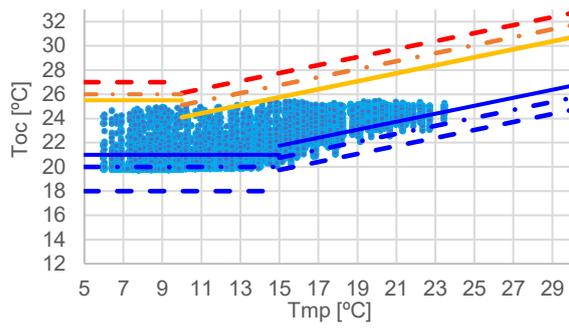


Fig. A3.85 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS7 do caso estudo 2 (2CU7)

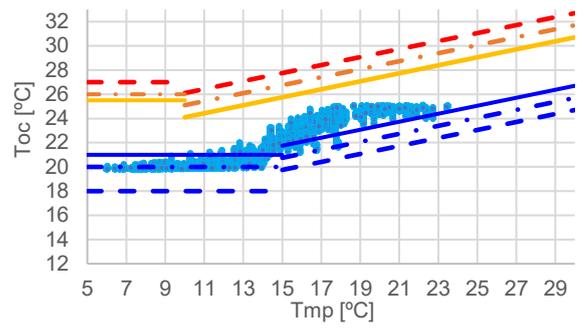


Fig. A3.86 – Modelo adaptativo da EN 15251 aplicado a 2ZS8 do caso estudo 2 (2CU7)