

# **IMPLICAÇÕES DAS NOVAS EXIGÊNCIAS APLICÁVEIS À REABILITAÇÃO NA ÁREA DA TÉRMICA DE EDIFÍCIOS**

**CATARINA ALMEIDA ÁLVARES**

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

---

Orientadora: Professora Doutora Maria Helena Póvoas Corvacho

JANEIRO 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.

A meus Pais

*There is no greatness where there is no simplicity, goodness and truth*

*Leo Tolstoy*



## **AGRADECIMENTOS**

A presente dissertação de mestrado não é o resultado do trabalho de uma pessoa singular, mas sim a conjugação de esforços de diferentes intervenientes, formando uma equipa de trabalho.

Foi importante receber o conselho e orientação de pessoas com tão vasta experiência, quer no meio académico, quer no meio profissional.

Assim, à minha orientadora, a Professora Doutora Maria Helena Póvoas Corvacho, o meu agradecimento pelos conhecimentos transmitidos, pela disponibilidade e apoio durante a realização desta dissertação.

À equipa da SOPSEC S.A., onde se realizou a presente dissertação em ambiente empresarial, em particular ao eng. Fernando Sousa e eng. Hipólito Sousa, pelo auxílio e conhecimentos partilhados.

A todos os meus amigos que, de uma forma ou de outra, me apoiaram durante a passagem pela vida académica.



## **RESUMO**

A Reabilitação Térmica e Energética de edifícios estabelece um caminho bastante propício à melhoria da qualidade térmica e das reduções do consumo de energia nos edifícios a intervencionar, mantendo os níveis de conforto para os utilizadores. Esta problemática advém do facto de uma grande parcela do parque edificado português se encontrar degradado e com patologias. Por outro lado, a grande maioria dos edifícios foram construídos anteriormente à existência de regulamentação para a térmica de edifícios o que pode fazer com que a sua intervenção a este nível melhore qualitativamente o seu desempenho, originando uma melhoria na eficiência energética geral.

Esta dissertação, realizada em ambiente empresarial, pretende lançar uma luz adicional para o entendimento da nova legislação para a reabilitação na área da Térmica de Edifícios.

Após a seleção de projetos reais que serviriam de casos de estudo, procedeu-se a uma avaliação técnico-económica por forma a analisar os impactos da implementação da nova Portaria nº 297/2019 (para a reabilitação energética).

Os valores aplicados aos casos de estudo dizem respeito aos valores limite de coeficientes de transmissão térmica (U) para edifícios novos – Portarias nº 349-B/2013 e nº 379-A/2015, anteriormente aplicados às intervenções de edifícios existentes – e aos valores limite de coeficientes de transmissão térmica para reabilitação de edifícios constantes da nova Portaria nº 297/2019. Foi realizada, então, uma comparação de soluções construtivas que visassem o cumprimento dos valores limite de cada uma das portarias e o seu custo consequente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reabilitação, Reabilitação Energética, Portaria nº 297/2019, soluções construtivas



## **ABSTRACT**

The Thermal and Energy Rehabilitation of buildings establishes a path conducive to the improvement of thermal quality and the reduction of energy consumption in the rehabilitated buildings, maintaining the comfort levels for users. This problem comes from the fact that a large portion of the Portuguese estate is degraded and with pathologies. On the other hand, the vast majority of buildings were built prior to the Thermal Building Regulations, which can make their intervention at this level qualitatively improve their performance, leading to an improvement in overall energy efficiency.

This dissertation, conducted in a business environment, aims to bring an additional scope on the understanding of the new legislation for rehabilitation in the areas of Thermal Building.

After the selection of real projects that would be case studies, a technical-economic evaluation was carried out to analyze the impacts of the implementation of the new Legislation no. 297/2019 (for energy rehabilitation).

The values applied to the case studies refer to the limit values of thermal transmittance coefficients (U) for new buildings - Legislation no. 349-B/2013 and no. 379-A/2015, previously applied to interventions of existing buildings - and the limit values of thermal transmittance coefficients for rehabilitation of buildings that appear in the new Legislation no. 297/2019. A comparison of constructive solutions that fulfilled the limit values of each of the legislations and their consequent cost was then made.

**KEYWORDS:** Rehabilitation, Thermal Rehabilitation, Legislation no. 297/2019, constructive solutions



## ÍNDICE GERAL

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	i
<b>RESUMO</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1. ENQUADRAMENTO .....	1
1.2. OBJETIVOS .....	2
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TEXTO .....	3
<b>2. LEGISLAÇÃO/REGULAMENTAÇÃO</b> .....	5
2.1. HISTÓRIA .....	5
2.2. LEGISLAÇÃO NACIONAL .....	6
2.3. NOVA LEGISLAÇÃO NACIONAL PARA A REABILITAÇÃO .....	7
2.4. EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES CONSIDERADAS NA PRESENTE DISSERTAÇÃO .....	7
<b>3. MEDIDAS DE MELHORIA NAS DIFERENTES ZONAS DO EDIFÍCIO</b> .....	11
3.1. ENVOLVENTES .....	11
3.2. PAREDES .....	11
3.2.1. EXTERIORES .....	12
3.2.2. INTERIORES .....	13
3.3. COBERTURAS .....	13
3.3.1. EXTERIORES .....	13
3.3.2. INTERIORES .....	14
3.4. PAVIMENTOS .....	14
3.4.1. EXTERIORES/EM CONTACTO COM O SOLO .....	14
3.4.2. INTERIORES .....	14
3.5. VÃOS ENVIDRAÇADOS .....	14
3.5.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	14
3.5.2. EXTERIORES .....	15
3.5.3. INTERIORES .....	15
3.6. VENTILAÇÃO .....	15
<b>4. APRESENTAÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO</b> .....	17

<b>4.1. CASO DE ESTUDO 1 – RUA FERNANDES TOMÁS, PORTO, PORTUGAL</b> .....	17
4.1.1. DESCRIÇÃO GERAL DO EDIFÍCIO.....	17
4.1.2. CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA INICIAL DOS FOGOS DO EDIFÍCIO .....	24
<b>4.2. CASO DE ESTUDO 2 – BAIRRO DO BOM SUCESSO, PORTO, PORTUGAL</b> .....	24
4.2.1. DESCRIÇÃO GERAL DOS EDIFÍCIOS.....	25
4.2.2. CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA INICIAL DOS EDIFÍCIOS.....	30
<b>5. COMPARAÇÕES REGULAMENTARES</b> .....	35
<b>5.1. ANÁLISE DA NOVA PORTARIA Nº 297/2019 PARA REABILITAÇÃO</b> .....	35
<b>5.2. VALORES CONDIZENTES COM REGULAMENTAÇÃO PARA EDIFÍCIOS NOVOS</b> .....	36
5.2.1. CASO DE ESTUDO 1 – RUA FERNANDES TOMÁS, PORTO, PORTUGAL .....	36
5.2.1.1. Alterações ao projeto.....	37
5.2.1.2. Custo das soluções .....	39
5.2.2. CASO DE ESTUDO 2 – BAIRRO DO BOM SUCESSO, PORTO, PORTUGAL.....	40
5.2.2.1. Alterações ao projeto.....	42
5.2.2.2. Custo das soluções .....	45
<b>5.3. VALORES CONDIZENTES COM REGULAMENTAÇÃO PARA A REABILITAÇÃO</b> .....	46
5.3.1. CASO DE ESTUDO 1 – RUA FERNANDES TOMÁS, PORTO, PORTUGAL .....	46
5.3.1.1. Alterações ao projeto.....	46
5.3.1.2. Custo das soluções .....	48
5.3.2. CASO DE ESTUDO 2 – BAIRRO DO BOM SUCESSO, PORTO, PORTUGAL.....	49
5.3.2.1. Alterações ao projeto.....	50
5.3.2.2. Custo das soluções .....	53
<b>6. COMPARAÇÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	55
<b>6.1. CONSIDERAÇÕES ACERCA DAS SOLUÇÕES ADOTADAS</b> .....	55
<b>6.2. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NO CASO DE ESTUDO 1</b> .....	55
<b>6.3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NO CASO DE ESTUDO 2</b> .....	56
<b>7. CONCLUSÕES</b> .....	59
<b>7.1. CONCLUSÕES GERAIS</b> .....	59
<b>7.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS</b> .....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 – Quota do consumo final de energia (%) por Sector de atividade económica; Anual em Portugal .....	2
Fig. 2 – Representação do modelo de Negawatt.....	2
Fig. 3 – Cronograma da evolução da regulamentação térmica em Portugal .....	6
Fig. 4 – ETICS (External Thermal Insulation Composite System) [7] .....	12
Fig. 5 – Solução de isolamento pelo interior com revestimento com placas de gesso cartonado [9] ...	12
Fig. 6 – Solução de isolamento através de injeção de isolamento na caixa-de-ar [10].....	13
Fig. 7 – Alçado frontal (Rua Fernandes Tomás) .....	17
Fig. 8 – Alçado lateral direito.....	18
Fig. 9 – Alçado posterior .....	18
Fig. 10 – Corte longitudinal .....	19
Fig. 11 – Corte transversal .....	19
Fig. 12 – Planta do piso 0.....	20
Fig. 13 – Planta do piso 1.....	20
Fig. 14 – Planta do piso 2.....	21
Fig. 15 – Planta do piso 3.....	21
Fig. 16 – Planta da cobertura.....	22
Fig. 17 – Implantação do Bairro do Bom Sucesso.....	25
Fig. 18 – Alçados frontal e posterior dos blocos menores .....	26
Fig. 19 – Alçados frontal posterior dos blocos maiores .....	27
Fig. 20 – Alçado lateral comum a todos os blocos.....	27
Fig. 21 – Plantas do piso térreo, restantes pisos e cobertura dos blocos menores .....	28
Fig. 22 – Plantas do piso térreo, restantes pisos e cobertura dos blocos maiores .....	29
Fig. 23 – Identificação das frações dos blocos .....	31
Fig. 23 – Corte longitudinal (solário e varandas) .....	41



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Tipo de operações de reabilitação em função do tipo de edifício e do custo da intervenção	8
Tabela 2 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis $U_{m\acute{a}x}$ (W/m <sup>2</sup> .K).....	8
Tabela 3 – Valores máximos admissíveis de $g_{Tm\acute{a}x}$ .....	8
Tabela 4 – Valores máximos admissíveis de $g_{Tm\acute{a}x}$ para V2 e V3.....	9
Tabela 5 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis de elementos opacos e de vãos envidraçados, $U_{m\acute{a}x}$ [W/(m <sup>2</sup> .°C)].....	9
Tabela 6 – Valores dos fatores multiplicativo para a determinação de perdas térmicas lineares .....	9
Tabela 7 – Áreas totais dos fogos e respetivos pés direitos.....	22
Tabela 8 – Dados climáticos .....	22
Tabela 9 – Elementos construtivos (pré-existências) .....	23
Tabela 10 – Espaços Não Úteis (ENU).....	23
Tabela 11 – Elementos envidraçados exteriores (pré-existências) .....	24
Tabela 12 – Classificação energética inicial dos fogos do edifício .....	24
Tabela 13 – Dados climáticos .....	29
Tabela 14 – Elementos construtivos (pré-existências) .....	30
Tabela 15 – Espaço Não Útil (ENU) .....	30
Tabela 16 – Elementos envidraçados exteriores.....	30
Tabela 17 – Balanço energético dos blocos com fachada principal orientada a Oeste .....	31
Tabela 18 – Balanço energético dos blocos com fachada principal orientada a Este.....	32
Tabela 19 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis $U_{m\acute{a}x}$ (W/m <sup>2</sup> .K) ...	35
Tabela 20 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis $U_{m\acute{a}x}$ (W/m <sup>2</sup> .K) ...	35
Tabela 22 – Comparação, para cada elemento, dos valores de $U_{sol. inicial}$ com $U_{m\acute{a}x}$ .....	37
Tabela 23 – Solução de isolamento para as paredes exteriores .....	37
Tabela 24 – Solução construtiva para os vãos envidraçados exteriores.....	38
Tabela 25 – Solução de isolamento de pavimentos e coberturas interiores .....	38
Tabela 26 – Classificação energética após intervenção.....	39
Tabela 27 – Base de dados preços soluções .....	39
Tabela 28 – Custos globais da intervenção .....	40
Tabela 29 – Espaços Não Úteis (ENU).....	41
Tabela 30 – Comparação, para cada elemento, dos valores de $U_{sol. inicial}$ com $U_{m\acute{a}x}$ .....	42
Tabela 31 – Solução de isolamento para as paredes exteriores .....	42
Tabela 32 – Solução construtiva para os vãos envidraçados exteriores.....	42

Tabela 33 – Solução de isolamento para a cobertura interior .....	43
Tabela 34 – Balanço energético dos blocos com fachada principal orientada a Oeste (após intervenção).....	43
Tabela 35 – Balanço energético dos blocos com fachada principal orientada a Este (após intervenção)44	
Tabela 36 – Base de dados preços soluções .....	45
Tabela 37 – Custos globais da intervenção .....	45
Tabela 38 – Comparação, para cada elemento, dos valores de $U_{sol. inicial}$ com $U_{máx}$ .....	46
Tabela 39 – Solução de isolamento para as paredes exteriores .....	46
Tabela 40 – Solução construtiva para os vãos envidraçados exteriores.....	47
Tabela 41 – Solução de isolamento de pavimentos e coberturas interiores .....	47
Tabela 42 – Classificação energética após intervenção.....	48
Tabela 43 – Custos das soluções de intervenção .....	48
Tabela 44 – Custos globais de intervenção .....	49
Tabela 45 – Comparação, para cada elemento, dos valores de $U_{sol. inicial}$ com $U_{máx}$ .....	49
Tabela 46 – Solução de isolamento para as paredes interiores.....	50
Tabela 47 – Soluções construtiva para os vãos envidraçados exteriores .....	50
Tabela 48 – Solução de isolamento de coberturas interiores .....	50
Tabela 49 – Balanço energético dos blocos com fachada principal orientada a Oeste (após intervenção).....	51
Tabela 50 – Balanço energético dos blocos com fachada principal orientada a Este (após intervenção)52	
Tabela 51 – Custos das soluções de intervenção .....	53
Tabela 52 – Custos globais de intervenção .....	53
Tabela 53 – Soluções de intervenção .....	55
Tabela 54 – Diferença de custos entre as soluções .....	56
Tabela 55 – Custos entre as soluções .....	56
Tabela 56 – Diferença de custos entre as soluções .....	57

## **SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS**

U - coeficiente de transmissão térmica [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$ ,  $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ]

$U_w$  - coeficiente de transmissão térmica geral do vão envidraçado

$U_{\text{wdn}}$  - coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite do vão envidraçado

$g_T$  - fator solar global

$g_{\text{Tvc}}$  - fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de protecção solar

$g_{\text{vi}}$  - fator solar do vidro para uma incidência solar normal do vão

$b_{\text{tr}}$  - coeficiente de redução de perdas

rph - renovações por hora

Nic – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento ( $\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$ )

Ni – Necessidades nominais anuais de referência de energia útil para aquecimento ( $\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$ )

Nvc – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento ( $\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$ )

Nv – Necessidades nominais anuais de referência de energia útil para arrefecimento ( $\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$ )

Ntc – Necessidades nominais anuais globais de energia primária ( $\text{kWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$ )

Nt – Necessidades nominais anuais globais de referência de energia primária ( $\text{kWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$ )

kWh – quilowatt por hora

ADENE - Agência para a Energia

ITeCons - Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade da Universidade de Coimbra

DL - Decreto Lei

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico

RECS - Regulamento de Edifícios de Comércio e Serviços

REH - Regulamento de Edifícios de Habitação

RERU - Regime Excepcional para Reabilitação Urbana

RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SCE - Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios

ENU - Espaço Não Útil

PDE - Parede Exterior

PDI - Parede Interior

PVT - Pavimento Térreo

PVI - Pavimento Interior

VI - Vão envidraçado Interior

VE - Vão Envidraçado Exterior

CBI - Cobertura Interior

AQS - Águas Quentes Sanitárias

ETICS - External Thermal Insulation Composite System

EPS - Expanded Polystyrene

XPS - Extruded Polystyrene

OSB - Oriented Strand Board

# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. ENQUADRAMENTO

Nos tempos que correm, a reabilitação de edifícios, em termos gerais, tem vindo a desempenhar um papel muito importante no sector da construção. As suas mais valias, em oposição à construção nova, passam, essencialmente, pela conservação de património cultural e proteção ambiental, para além de que apresenta significativas vantagens económicas.

A construção de edifícios é um dos sectores da economia que apresenta grande carácter negativo sobre o ambiente. Contudo, se o é no ato da edificação (fase de obra), pior serão os impactos ambientais que advêm da sua utilização e/ou exploração ao longo do tempo, principalmente no que toca a consumos de energia.

Com uma simples análise aos consumos de energia por setor de atividade no nosso país, é fácil perceber-se que uma grande fatia desses consumos diz respeito ao sector doméstico – cerca de 16%. Ora, tendo em conta que nesta fatia entram o arrefecimento e aquecimento ambiente e as AQS, é fácil associar uma melhoria das componentes diretamente ligadas a estas (sistemas, ventilação, isolamentos, etc.) com uma redução dos consumos gerais neste sector, (Fig. 1).

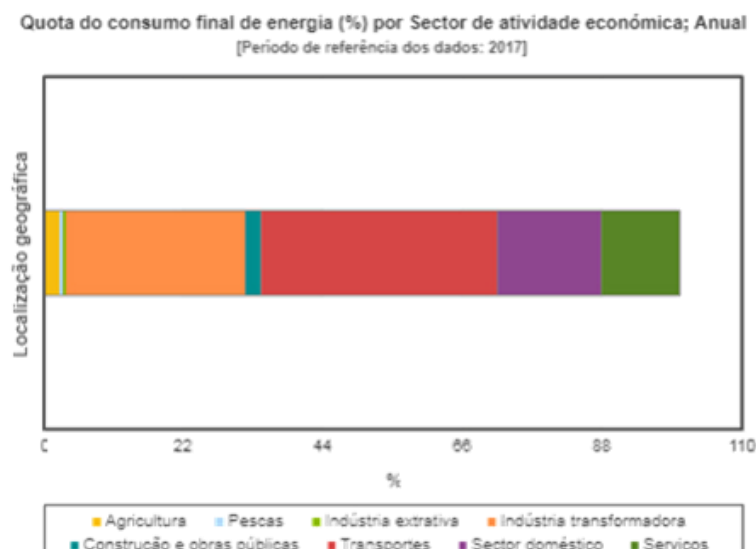


Fig. 1 – Quota do consumo final de energia (%) por Sector de atividade económica; Anual em Portugal

É aqui que entra a importância da temática da reabilitação energética nos edifícios. Esta, mais que nunca, e sobretudo após o protocolo de Quioto que impõe regras para limitar o aumento de temperatura global (através da redução das emissões de gases com efeito estufa), tem-se tornado bastante relevante.

Não podemos falar em reabilitação energética sem abordar dois pontos fulcrais: a eficiência energética e as energias renováveis. A estes, segundo o modelo de Negawatt (Fig. 2), acresce, ainda, a sobriedade - redução de gastos supérfluos. Estas três vertentes constituiriam o modelo com uma unidade de medida teórica que traduz a redução dos consumos de energia nos edifícios (o Negawatt), que resulta de uma dada mudança de comportamento e/ou de tecnologia construtiva. Ou seja, aumentar a eficiência energética – traduzida numa redução de kWh consumidos; consumir com conta, peso e medida; e a preferência pelas energias renováveis (inesgotáveis e com baixo impacto ambiental) em detrimento das energias fósseis, aplicadas simultaneamente, será o que conduzirá a efeitos em tempo útil nos países desenvolvidos e que reverterá a tendência atual.

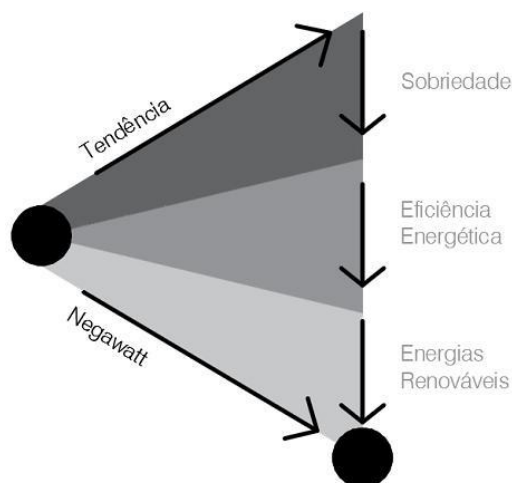


Fig. 2 – Representação do modelo de Negawatt

## 1.2. OBJETIVOS

Com a publicação da última portaria – Portaria nº 297/2019, em setembro desse ano, que diz respeito à reabilitação energética, há que avaliar o impacto que esta terá em termos de soluções construtivas e, conseqüentemente, que custos lhes estarão associados. Haverá uma comparação entre os parâmetros condizentes com a realização de obra nova e os parâmetros de reabilitação. Ou seja, tendo apenas em conta os valores máximos dos parâmetros da nova portaria para reabilitação energética (Portaria nº 297/2019), e comparando-os aos valores máximos desses mesmos parâmetros para edifícios novos, conseguiremos ficar com uma ideia do custo de cada uma das soluções.

Assim, com recurso a projetos reais, os casos de estudo selecionados serão alvo de escrutínio no que concerne às soluções construtivas existentes – aplicadas aquando da realização do edifício e de que modo será possível, pela aplicação de medidas de caráter superior, melhorar as condições de habitabilidade dos mesmos. Ora, isto será realizado tendo em conta os valores aplicados para edificação nova – das Portarias nº 349-B/2013, nº 379-A/2015 e nº 319/2016, com os quais se chegará a uma medida de melhoria geral dos edifícios a estudar, e os valores aplicados para reabilitação - Portaria nº 297/2019, com os quais se obterá, igualmente, uma medida de melhoria.

Finalmente, depois do estudo de como cumprir os valores regulamentares – seja por mudança das soluções construtivas, seja pela sua modificação, serão analisados os custos de cada medida, comparando os valores entre si, tudo de maneira a verificar de que modo a nova regulamentação para reabilitação veio colmatar falhas ou imperfeições potencialmente existentes na regulamentação anterior.

### 1.3. ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

A presente dissertação encontra-se dividida em 7 capítulos principais. No primeiro, *Introdução*, procede-se ao enquadramento temático de toda a dissertação, explicação dos objetivos gerais e dos conteúdos a explorar e, no final, faz-se referência à estrutura geral do texto.

No capítulo seguinte, 2. *Legislação/Regulamentação*, para além de uma pequena introdução histórica da regulamentação energética em Portugal e na Europa, efetua-se uma apresentação mais detalhada da regulamentação térmica em Portugal. Posteriormente, e no mesmo capítulo, faz-se referência à Portaria nº 297/2019 que apresenta os novos parâmetros térmicos a cumprir para reabilitação de edifícios e que, em conjunto com os valores das Portarias nº 349-B/2013 e nº 379-A/2015, para edifícios novos, formarão a base de toda esta dissertação.

Já no capítulo 3., *Medidas de melhoria nas diferentes zonas do edifício*, são descritas as metodologias adotadas em reabilitação para edifícios de habitação, com o objetivo de melhorar a qualidade do ar interior para o utilizador e, conseqüentemente, aumentar a classe energética decorrente, quer por aplicação de isolamento, quer pela alteração das soluções construtivas (ao nível, não só, dos vãos envidraçados, mas também da ventilação que concede conforto higrotérmico). A redução das necessidades da envolvente opaca pela adoção destas medidas repercute-se, com bastante expressão, na redução da fatura energética anual.

No capítulo seguinte, 4. *Apresentação dos casos de estudo*, é feita referência aos casos de estudo e projetos reais concedidos durante a permanência na empresa SOPSEC S.A. - pela realização da dissertação em ambiente empresarial - e que foram usados para efeitos exemplificativos. Apenas são mencionadas as soluções iniciais dos edifícios, assim como os dados climáticos usados para o estudo mais aprofundado dos mesmos. Apresenta-se, no final do capítulo, o balanço energético inicial de cada edifício recorrendo à folha Excel do Regulamento para Edifícios de Habitação disponibilizada pelo Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade (ITeCons) da Universidade de Coimbra.

No capítulo seguinte, 5. *Comparações regulamentares*, são apresentadas as soluções adotadas e conseqüentes alterações aos valores dos parâmetros térmicos dos edifícios (quer cumprindo as Portarias nº 349-B/2011 e nº 379-A/2015, quer cumprindo a Portaria nº 297/2019) e o que isso implica em termos de custos – estudo técnico-económico.

O capítulo seguinte, 6. *Comparações e considerações finais*, é reservado para conclusões mais concretas sobre os dados recolhidos no capítulo anterior. Nomeadamente, é feita uma comparação efetiva dos custos que cada opção tomada anteriormente acarreta.

No capítulo seguinte, 7. *Conclusões*, são expressas as conclusões finais e propostas para desenvolvimentos futuros.



# 2

## LEGISLAÇÃO/REGULAMENTAÇÃO

### 2.1. HISTÓRIA

A partir dos anos 70 do século passado, a crise petrolífera na Europa, acompanhada pelo preço crescente de energia, obrigou a uma melhor gestão dos recursos energéticos disponíveis. Este facto, aliado a um aumento da preocupação da população com a sua higiene e bem-estar, levou a uma tentativa de melhoramento das tecnologias dos edifícios, mais concretamente, do conforto térmico no geral.

Veio a surgir, então, em Portugal, no ano de 1991, o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios ou RCCTE. Este, embora pouco exigente, foi o primeiro instrumento legal que impôs requisitos ao projeto de novos edifícios e de grandes remodelações, constituindo um marco decisivo na melhoria da qualidade da construção em Portugal. [1]

Analogamente, em 1998, foi aprovado mais um decreto lei que tinha em conta, não só as tecnologias construtivas dos edifícios para o seu conforto térmico, mas também os sistemas usados – o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios ou RSECE.

No entanto, estes dois últimos regulamentos provaram não ser suficientes para garantir uma boa eficiência energética e foi então que a Europa se tornou mais ciente destas problemáticas e, em 2002, os estados membros em conjunto, apresentaram a Diretiva Europeia 2002/91/CE, que foi pensada para suprir as necessidades de uma edificação mais sustentável, devido às exigências cada vez mais fortes de conforto nos edifícios sem, contudo, negligenciar as preocupações ambientais, também elas, cada vez mais fortes. A diretiva reiterava que uma melhoria da eficiência energética constituiria uma parte importante do pacote de políticas e de medidas necessárias ao cumprimento do Protocolo de Quioto. [2]

Para isso, seria necessário impor ainda mais mudanças à conceção/realização de edifícios novos e à reabilitação de edifícios existentes, visto que esta última representa uma grande parcela na economia europeia.

A partir deste ponto, o Estado Português, no ano de 2006, apresenta revisões para os regulamentos anteriormente referidos, o RCCTE e o RSECE, que advieram da necessidade de transpor a Diretiva Europeia para as regulamentações de cada Estado Membro. Nesse ano foi, também, implementado, pela primeira vez, o SCE – Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios.

Ora, com o aumento da consciência coletiva sobre os temas da sustentabilidade energética vão surgindo novas legislações adaptadas a esse fim. É por isso que, já no ano de 2010, a Diretiva

Europeia 2001/91/CE foi, também ela, reformulada, de maneira, não só a esclarecer potenciais dúvidas, mas também a impor mais mudanças ao que aos termos energéticos concerne.

Portugal, apresenta, no ano de 2013, o REH, RECS e SCE, que, pela primeira vez, separam as exigências para os edifícios de comércio e serviços (RECS) e as para os edifícios de habitação (REH). Este último será, posteriormente, também objeto de alterações, como a evolução das exigências assim o requer e, em 2016, dará origem ao Decreto Lei nº 28/2016, (Fig. 3).

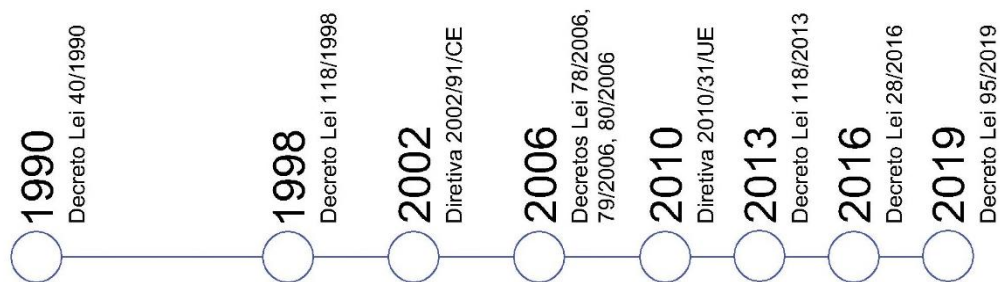


Fig. 3 – Cronograma da evolução da regulamentação térmica em Portugal

## 2.2. LEGISLAÇÃO NACIONAL

Como referido no ponto anterior, em Portugal, o surgimento do RCCTE, em 1991, impulsionou a, ainda agora crescente, preocupação com o conforto térmico dos edifícios. Apesar de apresentar exigências relativamente pouco severas, se comparado com os regulamentos de outros países europeus da mesma época, foi um dos primeiros que levou em consideração o conforto no Verão, impondo também limites às necessidades anuais de arrefecimento para prevenir o sobreaquecimento e reduzir a necessidade de condicionamento artificial de ar. [3]

Em 2006, o RCCTE anterior foi revisto de maneira a considerar de forma mais realista os consumos de energia devido a novas exigências promovidas pelo crescente recurso aos equipamentos de climatização. [1] Nesta via, o antigo RSECE, de 1998, que procurava introduzir algumas medidas de racionalização, fixando limites à potência máxima dos sistemas a instalar num edifício para evitar o seu sobredimensionamento, contribuindo, assim, para a sua eficiência energética, [4] foi, também, à luz das mudanças impostas ao RCCTE, alterado. O novo RCCTE estabelece regras a observar no projeto dos edifícios que influenciam, concomitantemente, o conforto térmico, o consumo de energia dos equipamentos e a ocorrência de condensações. [2]

Também em 2006, é lançado, pela primeira vez, o SCE. Esta certificação energética permite aos futuros utentes obter informação sobre os consumos de energia potenciais, no caso dos novos edifícios ou no caso de edifícios existentes sujeitos a grandes intervenções de reabilitação, dos seus consumos reais ou aferidos para padrões de utilização típicos, passando o critério dos custos energéticos, durante o funcionamento normal do edifício, a integrar o conjunto dos demais aspetos importantes para a caracterização do edifício. Nos edifícios existentes, a certificação energética destina-se a proporcionar informação sobre as medidas de melhoria de desempenho, com viabilidade económica, que o proprietário pode implementar para reduzir as suas despesas energéticas e, simultaneamente, melhorar a eficiência energética do edifício. [5]

Anos mais tarde, em 2013, são publicados o REH e o RECS. O Decreto Lei 118/2013 apresenta estes dois regulamentos, tendo sido seguido pelos seus consequentes Despachos e Portarias. Os valores dos

seus requisitos, foram, entretanto, revistos, e alguns foram ajustados para os anos posteriores a 2015, exclusive.

### **2.3. NOVA LEGISLAÇÃO NACIONAL PARA A REABILITAÇÃO**

Apesar da temática da reabilitação ter vindo a ser abordada e referida nos últimos regulamentos existentes, verificou-se uma necessidade de criar uma nova regulamentação mais direcionada para a reabilitação.

Isto acontece porque, até aqui, os edifícios sujeitos a grandes intervenções são obrigados a cumprir os valores de requisitos térmicos dos edifícios novos como prevê o DL 118/2013. Contudo, este decreto lei também define exceções, ou seja, a possibilidade do não cumprimento destes requisitos, quer por razões de ordem técnica, funcional, de viabilidade económica ou de valor arquitetónico, desde que se justifique as incompatibilidades existentes e a impossibilidade de cumprimento integral dos requisitos aplicáveis; se demonstre que, com as soluções alternativas preconizadas, o desempenho do edifício não diminui em relação à situação antes da grande intervenção; e as situações de incompatibilidade, respetivas soluções alternativas e potenciais consequências fiquem explícitas no pré-certificado e no certificado SCE, nos casos aplicáveis. [6] Esta posição seria adotada até aos dias de hoje, reforçada pela publicação, em 2014, do Regime Excepcional para a Reabilitação Urbana, RERU – Decreto-Lei nº 53/2014, que afirma a não necessidade do cumprimento de valores limitativos.

A nova regulamentação resulta da apreensão em relação ao facto de os valores de parâmetros adotados anteriormente, para edifícios sujeitos a intervenções, serem bastante limitativos e rigorosos. Há, então, que propiciar um meio termo entre esta situação e a situação de exceção. É aqui que entra a Portaria nº 297/2019, lançada a 9 de setembro de 2019.

### **2.4. EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES CONSIDERADAS NA PRESENTE DISSERTAÇÃO**

Para efeitos de exigências regulamentares que vão ser aplicadas aos casos de estudo na presente dissertação, há que analisar as especificações dos parâmetros de maior interesse.

Ora, como um dos objetivos será realizar uma comparação entre as imposições da Portaria nº 297/2019 (para edifícios sujeitos a intervenção) e das Portarias nº 349-B/2013 e nº 379-A/2015 (para edificação nova), e pelo facto de, como esperado, a Portaria nº 297/2019 ser menos exigente, os valores que serão analisados e, posteriormente, comparados, passarão, apenas, pelos declarados explicitamente nesta última, isto é, os valores para elementos em contacto com o exterior (ou elementos exteriores) visto que, os valores para os restantes elementos da envolvente não são claramente detalhados e se mantêm, nestes, interpretando estritamente a Portaria nº 297/2019 como uma Portaria de alteração, a obrigatoriedade de cumprimento dos valores para edificação nova.

Estes valores paramétricos estão diretamente dependentes do tipo de operações de intervenção que, por sua vez, dependem do valor da mesma, em função do tipo de edifício, como é possível verificar pela (Tabela 1), diretamente retirada da Portaria nº 297/2019.

Tabela 1 – Tipo de operações de reabilitação em função do tipo de edifício e do custo da intervenção

Nível de intervenção	Intervenções cujo custo C é < 25 % do valor do edifício (*)	Custo (25 % do valor do edifício (*) ≤ C < 300 Euros/m <sup>2</sup> )	Custo (C ≥ 300 Euros/m <sup>2</sup> )
Habitação unifamiliar .....	X	Y	Y
Habitação coletiva .....			Z

(\*) Cfr. artigo 2.º, alínea gg) do DL 118/2013.

Para cada tipo de intervenção - X, Y ou Z – é exigido o cumprimento de parâmetros distintos. Assim, para intervenções do tipo X, Y e Z são impostos valores máximos dos Coeficientes de Transmissão Térmica, U, dos elementos exteriores, para cada zona climática de inverno; e valores máximos do Fator Solar global,  $g_T$ , dos elementos envidraçados exteriores, para cada zona climática de verão, orientação e áreas, indicados nas (Tabela 2, Tabela 3 e Tabela 4), diretamente retiradas da Portaria nº 297/2019.

Tabela 2 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis  $U_{\max}$  (W/m<sup>2</sup>.K)

Elemento exterior		I1	I2	I3
Elementos opacos verticais — Paredes .....		1,70	1,50	1,40
Elementos opacos horizontais	Coberturas .....	0,80	0,70	0,60
	Pavimentos sobre o exterior .....	1,00	0,90	0,80
Vão envidraçados (portas e janelas) — $U_{\text{wdn}}$ .....		4,50	4,00	4,00

Tabela 3 – Valores máximos admissíveis de  $g_{T\max}$

$A_{\text{env}}/A_{\text{pav}}^{(1)}$	$V1^{(3)}$									
	<5 %	≥5 % — <15 %			≥15 % — <25 %			≥25 %		
Inérc/Orient <sup>(2)</sup>	E-S-O	N	E-S	O	N	E-S	O	N	E-S	O
Fraca	0,40	0,40	0,20	0,20	0,40	0,15	0,15	0,40	0,10	0,10
Média	0,40	0,40	0,40	0,20	0,40	0,40	0,20	0,40	0,40	0,20
Forte	0,60	0,60	0,40	0,40	0,60	0,40	0,40	0,60	0,40	0,40
	$V2^{(3)}$									

Tabela 4 – Valores máximos admissíveis de  $g_{Tmáx}$  para V2 e V3

$A_{env}/A_{pav}$	<5 %			≥5 % — <15 %			≥15 % — <25 %			≥25 %		
	Inérc/Orient			Inérc/Orient			Inérc/Orient			Inérc/Orient		
Fraca	0,40	0,40	0,20	0,15	0,40	0,15	0,15	0,40	0,10	0,10	0,10	
Média	0,40	0,40	0,40	0,15	0,40	0,30	0,15	0,40	0,40	0,40	0,15	
Forte	0,60	0,60	0,40	0,35	0,60	0,40	0,35	0,60	0,40	0,40	0,30	
$V3^{(3)}$												
$A_{env}/A_{pav}$	<5 %			≥5 % — <15 %			≥15 % — <25 %			≥25 %		
	Inérc/Orient			Inérc/Orient			Inérc/Orient			Inérc/Orient		
Fraca	0,40	0,40	0,20	0,10	0,40	0,10	0,10	0,40	0,10	0,10	0,10	
Média	0,40	0,40	0,35	0,15	0,40	0,25	0,15	0,40	0,40	0,40	0,15	
Forte	0,60	0,60	0,35	0,30	0,60	0,35	0,30	0,60	0,40	0,40	0,25	

(1) Percentagem de área de vãos envidraçados face à área de pavimento do compartimento associado.

(2) Inércia térmica/Orientação solar.

(3) Zonas climáticas de verão.

Estes valores serão comparados aos valores da Portaria nº 379-A/2015, apresentados na (Tabela 5).

Tabela 5 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis de elementos opacos e de vãos envidraçados,  $U_{máx}$  [W/(m<sup>2</sup>.°C)]

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

Concomitantemente, mas apenas para as intervenções do tipo Y e Z, é sugerida uma facilitação da quantificação das Perdas térmicas lineares, através do agravamento das perdas térmicas em superfície corrente do elemento construtivo onde se inserem e não através dos  $\psi$  multiplicados pelo comprimento da ponte térmica, o que evita a identificação de cada ponte térmica linear de um edifício. A (Tabela 6), diretamente retirada da Portaria nº 297/2019, indica os fatores multiplicativos a utilizar.

Tabela 6 – Valores dos fatores multiplicativo para a determinação de perdas térmicas lineares

$U_{médio}$ da envolvente vertical	Fator
< 0,6	1,6
0,6 — 0,8	1,5
0,8 — 1	1,4
> 1	1,2

Finalmente, há que fazer referência aos valores de  $N_{tc}/N_t$  – apenas aplicados a intervenções do tipo Y (com um limite máximo de 2) e Z (com um valor máximo de 1,5).

# 3

## MEDIDAS DE MELHORIA NAS DIFERENTES ZONAS DO EDIFÍCIO

### 3.1. ENVOLVENTES

A mais vantajosa forma de melhorar a eficiência energética de um edifício existente será sempre analisar os seus ganhos e perdas nas diferentes alturas do ano – na estação de aquecimento (inverno) e na de arrefecimento (verão).

As melhorias em reabilitação, quer ao nível da envolvente opaca, impondo alterações/implementações de isolamento de maneira a baixar o coeficiente de transmissão térmica, quer ao nível dos elementos envidraçados e ventilação, serão algumas das medidas mais significativas de modo a atingir o objetivo superior que será sempre o de melhorar a qualidade do ar interior para o utilizador, reduzindo o potencial consumo de energia para aquecimento/arrefecimento que seria necessário à obtenção desse propósito.

### 3.2. PAREDES

#### 3.2.1. EXTERIORES

Para as paredes da envolvente exterior, em reabilitação, existem três vias principais que podemos seguir, caso sejam necessárias – a de implementação de isolamento pelo exterior do edifício, a implementação do mesmo pelo interior ou a implementação na caixa-de-ar das paredes duplas.

A aplicação do isolamento pelo exterior do edifício (Fig. 4 Fig. 4 – ), ETICS (*External Thermal Insulation Composite System*), é, como o nome indica, a aplicação do isolante no paramento exterior das paredes sendo, depois, aplicado um reboco delgado de forma a proteger o isolante e a dar um acabamento de acordo com as disposições da arquitetura.

Esta solução apresenta vantagens significativas, entre elas: a redução das pontes térmicas, que nada mais são que singularidades nas construções, onde existe transição de materiais, ou mudança das características dos materiais ou geometrias singulares na construção, permitindo trocas de calor aumentadas, o que pode provocar a ocorrência de condensações e consequente surgimento de bolores e fungos; as áreas interiores não são afetadas, sendo, portanto, uma solução apropriada para reabilitações, principalmente quando se verifica a degradação das fachadas.

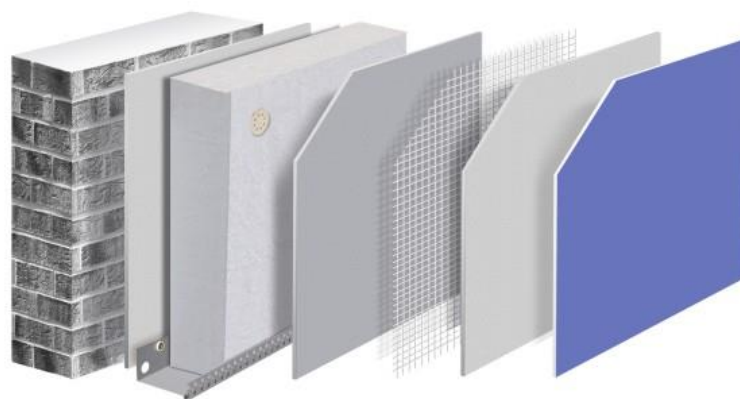


Fig. 4 – ETICS (External Thermal Insulation Composite System) [7]

Numa outra vertente, existe a aplicação de isolamento térmico no paramento interior das paredes em contacto com o exterior, (Fig. 5). Esta solução, apesar de relativamente simples de pôr em prática, é apenas preferível à anterior quando há relutâncias à intervenção das fachadas, quer por motivos de preservação e salvaguarda patrimonial, quer por motivos preferenciais/impositivos. Isto porque provoca uma redução das áreas habitáveis, além de originar um decréscimo na inércia térmica do edifício/fração. Este conceito de inércia de um edifício diz respeito à sua capacidade de contrariar as variações de temperatura no seu interior. Isto acontece devido à sua capacidade de acumular, ou não, calor nos elementos construtivos [8] e, classifica-se em fraca, média ou forte, consoante os materiais que compõem o imóvel. Uma análise à inércia de um edifício será importante, principalmente tendo em conta o ambiente em que se insere, de forma a tomar decisões mais acertadas sobre as mudanças a implementar para otimizar a eficiência energética e, conseqüentemente, o conforto.

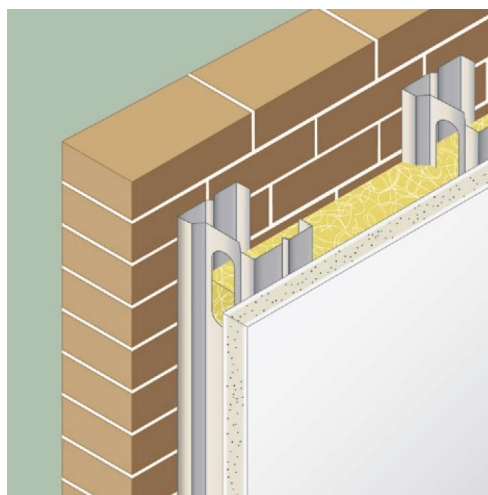


Fig. 5 – Solução de isolamento pelo interior com revestimento com placas de gesso cartonado [9]

Por fim, em reabilitação, há, ainda, a hipótese de injetar isolamento em forma de espuma na caixa-de-ar das paredes duplas em contacto com o exterior, (Fig. 6). Pode ser aplicado quando as outras soluções não sejam viáveis, apesar de não corrigir pontes térmicas, ou seja, há que ser extremamente

cuidadoso nesse aspeto. Para além disto, há uma certa dificuldade em garantir que o isolamento assentou de forma homogénea em toda a caixa-de-ar ou se, pelo contrário, existem falhas que possam comprometer, de alguma forma, a sua eficácia.

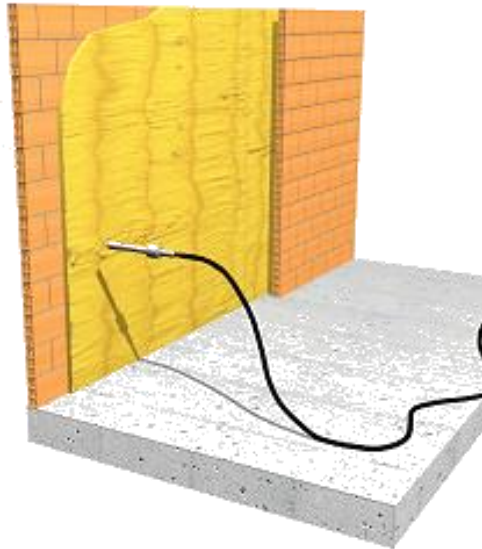


Fig. 6 – Solução de isolamento através de injeção de isolamento na caixa-de-ar [10]

As pontes térmicas planas associadas às paredes exteriores, geralmente, são intervencionadas usando os mesmos métodos das paredes, para se manter a continuidade e facilidade de aplicação das soluções em todo o elemento vertical. Todavia, no caso das caixas de estores, há a necessidade de, além da solução pelo exterior, aplicar, igualmente, material de isolamento no interior da caixa. [11]

### 3.2.2. INTERIORES

Consideram-se paredes da envolvente interior aquelas que se encontram em contacto com espaços não úteis do mesmo edifício ou com edificações contíguas. Estes espaços não úteis são locais que não se destinam à ocupação humana em termos permanentes e, portanto, em regra, não são climatizados. Armazéns, garagens, sótãos e caves não habitadas [12], caixas-de-escadas/elevadores, varandas fechadas, etc. Consideram-se, ainda, como espaços não-úteis as lojas não climatizadas com porta aberta ao público. [12]

Reabilitar estes elementos passará, grosso modo, por colocar o isolamento do lado que for mais adequado, ou do lado em contacto com o espaço não útil, ou do lado do espaço aquecido.

## 3.3. COBERTURAS

### 3.3.1. EXTERIORES

Os elementos horizontais exteriores de um edifício, como o são as coberturas, carecem, tanto ou mais, de isolamento, comparado com qualquer outro elemento da envolvente exterior, para manter o conforto do ar interior.

As soluções passam pela aplicação do isolante sobre as lajes de teto, de forma tradicional ou invertida que apenas altera o local onde será aplicada a camada de impermeabilização – sobre o isolamento, ou sob este, respetivamente, para coberturas horizontais; quando falamos de coberturas exteriores inclinadas, normalmente associadas a desvãos habitáveis, o isolamento será aplicado nas vertentes à estrutura do telhado. Nesta última solução e na colocação de isolamento sob a laje de teto, há a questão da perda de inércia térmica do edifício/fração correspondente, exatamente como abordado acima.

### **3.3.2. INTERIORES**

São consideradas coberturas interiores aquelas que apresentam algum tipo de desvão (não útil), que pode ser ventilado ou não e não separam, diretamente, os espaços aquecidos do exterior.

As soluções de implementação de isolamento nestas situações, que, em termos gerais, são coberturas inclinadas, podem cingir-se à esteira horizontal ou às vertentes inclinadas. Esta última será executada da mesma forma abordada acima, a colocação do isolamento sobre a esteira horizontal é mais comum e mais eficiente (não promove o aquecimento de espaços não úteis) e, conseqüentemente, permite um maior conforto interior.

## **3.4. PAVIMENTOS**

### **3.4.1. EXTERIORES/EM CONTACTO COM O SOLO**

Tal como os elementos exteriores mencionados acima, os pavimentos exteriores carecem de aplicação de isolamento térmico de forma a manter um bom nível de conforto térmico. Este pode ser aplicado, conforme imposição ou conveniência, sobre a laje de pavimento em contacto com o exterior (isolante colocado pelo interior), ou sob a laje de pavimento em contacto com o exterior (isolante colocado pelo exterior).

### **3.4.2. INTERIORES**

São considerados pavimentos interiores aqueles que contactam, diretamente, com espaços não aquecidos do edifício. Excluem-se, nestes casos, pavimentos que separam frações – elementos aquecidos de um edifício.

As soluções de implementação de isolamento nestas situações passam pela aplicação do mesmo sobre a laje de pavimento em contacto com o local não aquecido, sob a laje de pavimento em contacto com o local não aquecido ou, ainda, colocado na camada intermédia dos pavimentos de madeira.

## **3.5. VÃOS ENVIDRAÇADOS**

### **3.5.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS**

Ao mencionar os vãos envidraçados de um edifício, há que introduzir alguns parâmetros e informações sobre os mesmos. Ora, de um modo geral e para começar, podemos agrupar as quatro estações ao longo do ano e reduzi-las a, apenas, duas – o verão, denominada, em engenharia, como estação de arrefecimento, e o inverno, como estação de aquecimento. O nosso país está dividido em três estações de arrefecimento – V1, V2 e V3 – e em três estações de aquecimento – I1, I2 e I3 – esta separação é importante pois há indicadores de referência e limites máximos a cumprir para cada uma das estações.

### 3.5.2. EXTERIORES

A preocupação com elementos envidraçados exteriores de um edifício deve ser considerável. Isto acontece porque, quando falamos em envidraçados, estamos a agrupar, essencialmente, dois elementos principais, que trabalham em conjunto, apesar de apresentarem grandes diferenças – o vidro e a caixilharia.

Para a estação de aquecimento associada à zona do país onde se insere o edifício, há que cumprir valores máximos de  $U_{\text{wdn}}$  (coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite do vão envidraçado) que inclui vidro, caixilharia e eventuais dispositivos de oclusão noturna; ou valores máximos de  $U_w$  (coeficiente de transmissão térmica geral do vão envidraçado) que inclui vidro e caixilharia, mas não os dispositivos. Estes valores igualam-se se os elementos de oclusão não existirem.

Para a estação de arrefecimento associada à zona do país onde se insere o edifício e para as diferentes classes de inércia térmica, há que cumprir valores máximos de  $g_T$  (fator solar do vão envidraçado com os dispositivos de oclusão totalmente ativados). Estas imposições acontecem devido à facilidade de sobreaquecimento de algum compartimento do edifício, consoante a orientação solar do envidraçado e a constituição geral do mesmo – janela simples/dupla ou vidro simples/duplo, os tipos de oclusão e se existem pelo exterior ou pelo interior do envidraçado, a inércia da fração, a área do envidraçado em relação à área do compartimento onde se insere e as palas que podem, ou não, rodear o envidraçado.

O fator solar,  $g_T$ , do vão, à luz do abordado anteriormente, inclui o fator solar do vidro para uma incidência solar normal ao vão ( $g_{vi}$ ), que possui valores tabelados consoante a espessura e variedade do mesmo, e o fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar ( $g_{Tvc}$ ), calculado conforme Despacho 15793-K/2013.

As soluções de reabilitação passam, essencialmente por substituir o tipo de vidro, o tipo de caixilharia ou os tipos de oclusão por elementos que cumpram os parâmetros e, se necessário, tratar pontes térmicas nas singularidades que apresentem ou possam vir a apresentar problemas.

### 3.5.3. INTERIORES

As soluções de reabilitação passam, como nos envidraçados exteriores, por substituir o tipo de vidro, o tipo de caixilharia ou os tipos de oclusão por elementos que cumpram os parâmetros.

## 3.6. VENTILAÇÃO

A ventilação dos espaços é uma parcela importante de qualquer edifício, de maneira a garantir condições internas adequadas de salubridade e de conservação dos mesmos, visto que uma inadequada renovação do ar pode propiciar o surgimento de patologias como bolores e fungos nocivos à saúde dos utilizadores.

A ventilação de uma habitação pode ser do tipo natural, mecânica ou, no caso destes dois últimos tipos se associarem, mista.

De modo a garantir um conforto higrotérmico e as condições de salubridade, há que assegurar um valor de renovações horárias mínimo de 0,40 rph, estabelecido na Norma NP 1037-1/2002.

Ora, para se conseguir alcançar este valor na reabilitação, há que implementar soluções, conforme as características do edifício em questão, de modo a evitar as infiltrações indesejáveis de ar através de

uma melhoria da estanquidade da envolvente – pela escolha de caixilharias com uma menor permeabilidade ao ar – e garantir a qualidade do ar através da instalação de dispositivos específicos para o efeito como grelhas autorreguláveis, eventual instalação de ventiladores mecânicos nas zonas húmidas (instalações sanitárias, cozinhas), etc.

# 4

## APRESENTAÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO

### 4.1. CASO DE ESTUDO 1 – RUA FERNANDES TOMÁS, PORTO, PORTUGAL

#### 4.1.1. DESCRIÇÃO GERAL DO EDIFÍCIO

O caso de estudo destacado diz respeito a um edifício de uso misto, construído na década de sessenta do século passado, situado na cidade do Porto. Este dista da costa mais de 5 quilómetros e apresenta uma elevação, em relação ao nível médio das águas do mar, de cerca de 49 metros. O edifício possui duas fachadas principais – a norte e a oeste, sendo confinado a este por um outro edifício e a sul por uma ruela.

O edifício possui 4 pisos acima do solo, sendo que, no rés-do-chão, dispõe de lojas e nos restantes pisos, 1, 2 e 3, dispõe de apartamentos – dois por piso, num total de seis fogos, todos de tipologia T2.

Nas (Fig. 7 a Fig. 16), estão representadas as plantas, alçados e cortes do edifício em questão.



Fig. 7 – Alçado frontal (Rua Fernandes Tomás)



Fig. 8 – Alçado lateral direito



Fig. 9 – Alçado posterior

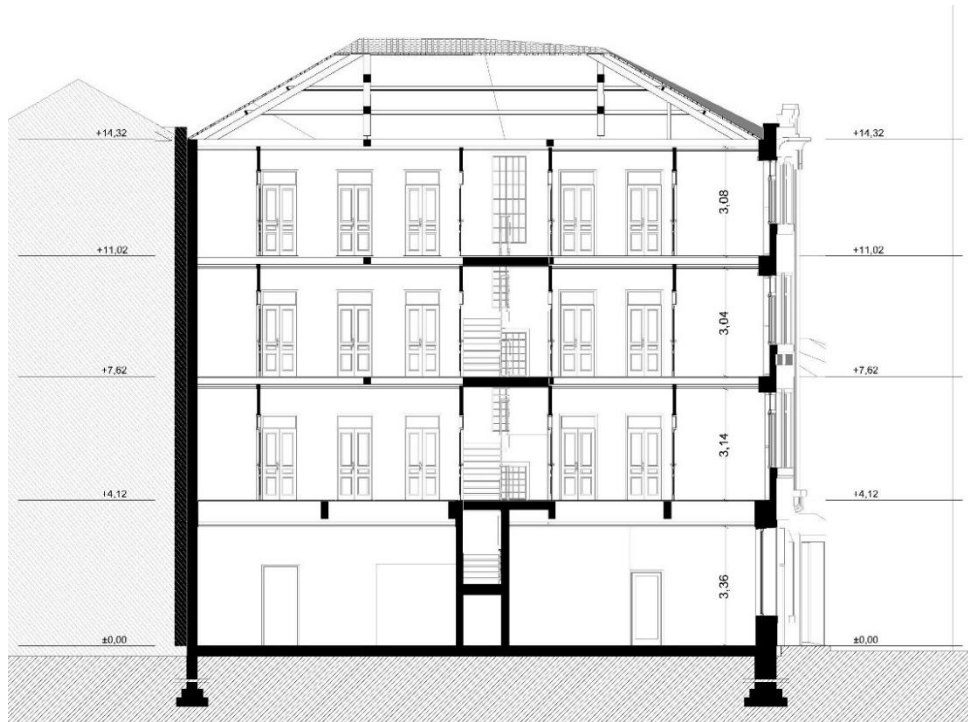


Fig. 10 – Corte longitudinal

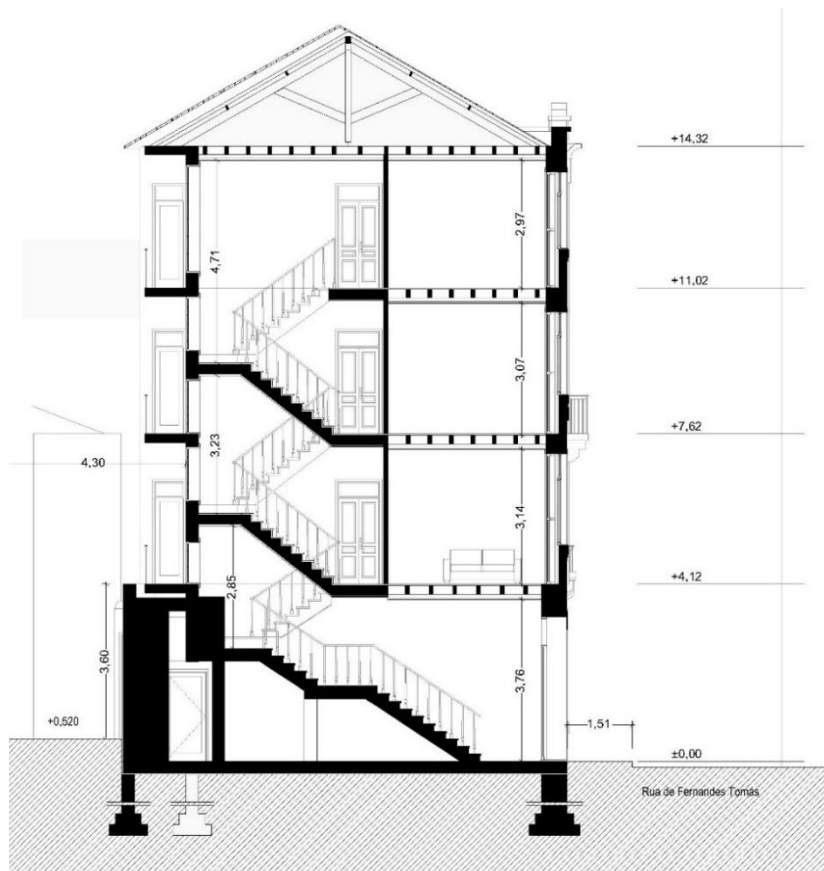


Fig. 11 – Corte transversal

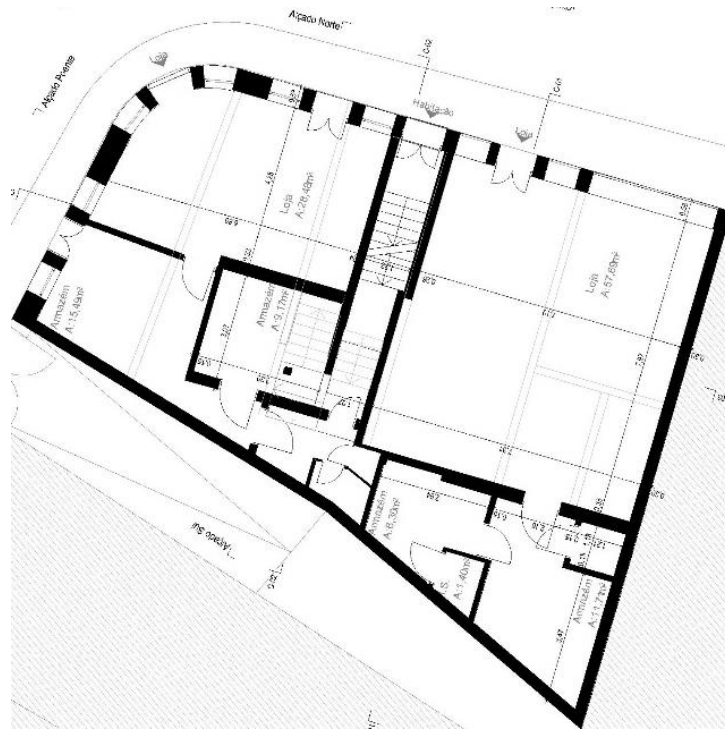


Fig. 12 – Planta do piso 0

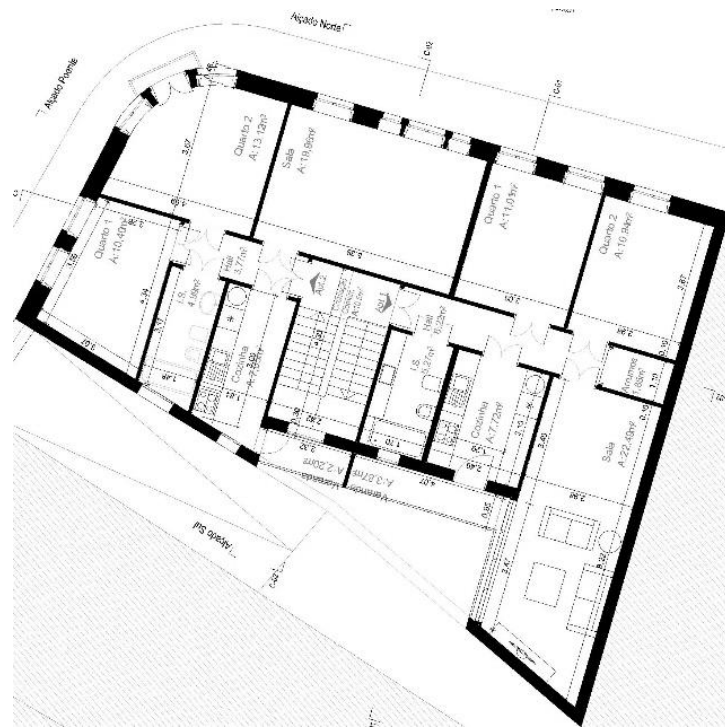


Fig. 13 – Planta do piso 1

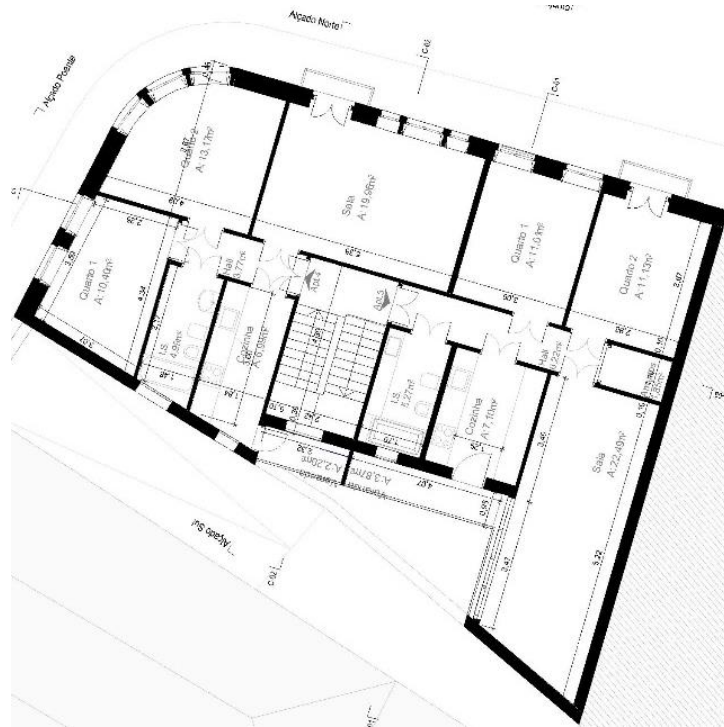


Fig. 14 – Planta do piso 2

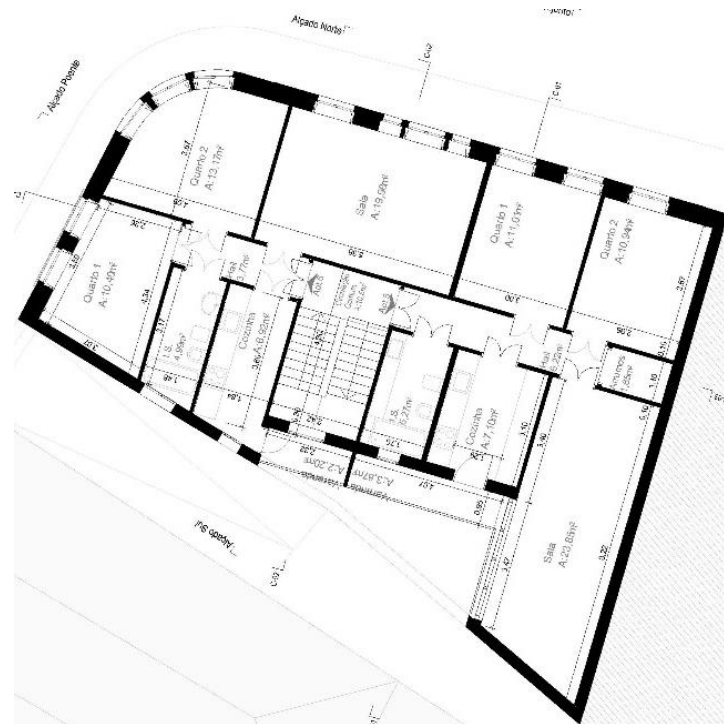


Fig. 15 – Planta do piso 3

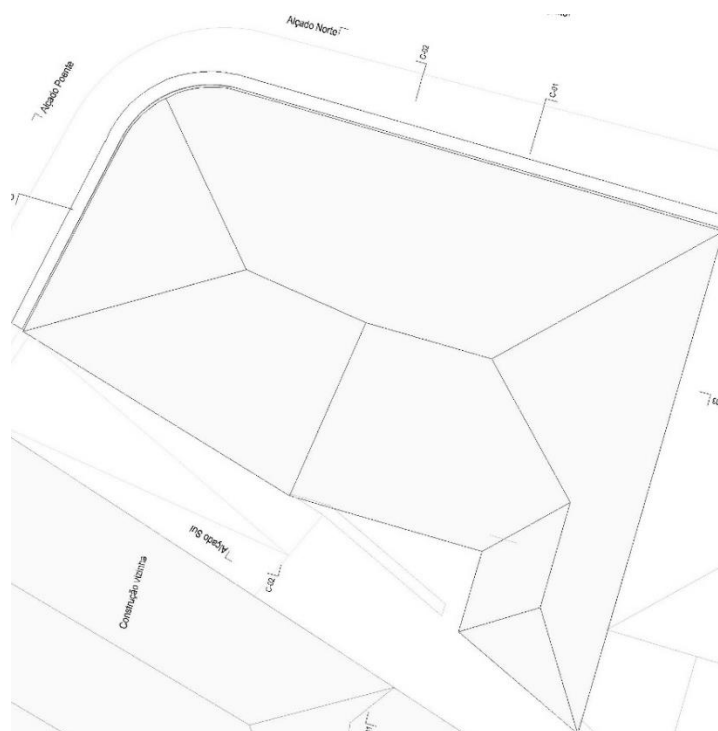


Fig. 16 – Planta da cobertura

De seguida apresenta-se na, (Tabela 7) com as áreas úteis e pés direitos de cada fogo, visto que todos apresentam diferenças entre si.

Tabela 7 – Áreas totais dos fogos e respetivos pés direitos

Apartamentos	1	2	3	4	5	6
Área útil total (m <sup>2</sup> )	65,50	59,29	65,07	59,28	66,24	59,21
Pé direito (m)	3,14	3,14	3,07	3,07	2,97	2,97

Os dados climáticos a considerar para o edifício como um todo são apresentados na, (Tabela 8).

Tabela 8 – Dados climáticos

Dados	
Zona Climática de Inverno	I1
Zona Climática de Verão	V2
Graus-dia de aquecimento	1178
Duração da estação de aquecimento	6,1 meses
Duração da estação de arrefecimento	4,0 meses
Temperatura média exterior no Inverno	10,2°
Temperatura média exterior no Verão	20,9°

É importante notar que, por forma a estudar as diferenças em termos construtivos e económicos, é necessário conhecer a constituição do edifício em bruto, ou seja, quais as soluções construtivas que o projeto inicial contemplava e que foi, efetivamente, aplicado primeiramente.

Neste caso, não foi fornecida ao autor qualquer tipo de informação desse tipo, logo, o que se apresenta de seguida é apenas uma panóplia de informações recolhidas, conversando com profissionais que estiveram ligados aos projetos de térmica e avaliando plantas, alçados, cortes e folhas do REH. Foi também tido em conta, para efeitos de simplificação, o Despacho 15793-E/2013 e o ITE 50/2006.

Consequentemente, são apresentadas, na (Tabela 9), as soluções iniciais de envolvente opaca do edifício e os espaços não úteis considerados, (Tabela 10), assim como os  $b_{tr}$  correspondentes.

Tabela 9 – Elementos construtivos (pré-existências)

Elemento	Descrição	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)
PDE 1	Parede simples em pedra granítica de 48 cm, rebocada pelo exterior (1,5 cm) e estucada pelo interior (1,5 cm)	103,90	2,56
PDE 2	Parede simples em pedra granítica de 20 cm, rebocada pelo exterior (1,5 cm) e estucada pelo interior (1,5 cm)	27,00	3,44
PDE 3	Parede simples em pedra granítica de 30 cm, rebocada pelo exterior (1,5 cm) e estucada pelo interior (1,5 cm)	128,00	3,07
PDI 1	Parede simples de alvenaria de tijolo de 10 cm, estucada (2 cm) em ambas as faces	89,30	2,00
PDI 2	Parede simples em pedra granítica de 48 cm, estucada (2 cm) em ambas as faces	121,20	1,97
PVI 1	Pavimento leve em placas de madeira de 4 cm sobre vigamento de madeira de 20 cm	84,50	1,70
PVI 2	Pavimento em laje de betão armado de 20 cm	25,30	2,20
CBI 1	Cobertura inclinada tradicional em telha, com desvão não útil e esteira leve.	125,50	3,80

Tabela 10 – Espaços Não Úteis (ENU)

Espaço não útil	$b_{tr}$
Loja 1	0,80
Loja 2	1,00
Caixa de escadas	0,50
Edifício adjacente	0,60
Desvão da cobertura	1,00

E as soluções iniciais de vãos envidraçados, (Tabela 11).

Tabela 11 – Elementos envidraçados exteriores (pré-existências)

Elemento	Descrição	Tipo de oclusão	U (W/m <sup>2</sup> .°C)
VE 1	Janela simples, em caixilharia de madeira com vidro simples de 4 mm ( $g_{vi}=0,88$ )	Portada de cor clara pelo interior ( $g_{Tvc}=0,30$ )	3,90

#### 4.1.2. CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA INICIAL DOS FOGOS DO EDIFÍCIO

Classifica-se a seguir os fogos do edifício (pré-existent) em termos energéticos, (Tabela 12).

Tabela 12 – Classificação energética inicial dos fogos do edifício

Fração	Nic	Ni	Nvc	Nv	Ntc	Nt	Classificação Energética
1	98,04	41,92	9,69	9,13	367,22	184,04	E
2	134,40	51,69	8,25	9,13	474,49	215,97	E
3	76,04	32,38	13,31	9,13	315,98	160,66	D
4	94,86	40,41	13,39	9,13	374,32	187,78	D
5	179,39	42,43	2,21	9,13	561,25	184,51	F
6	198,26	50,74	2,69	9,13	621,80	213,71	F

## 4.2. CASO DE ESTUDO 2 – BAIRRO DO BOM SUCESSO, PORTO, PORTUGAL

### 4.2.1. DESCRIÇÃO GERAL DOS EDIFÍCIOS

O caso de estudo destacado diz respeito a seis blocos para uso habitacional multifamiliar, construídos na década de cinquenta do século passado – em 1958, situados na cidade do Porto, formando o designado Bairro do Bom Sucesso. Estes distam da costa menos de 5 quilómetros e apresentam uma elevação média, em relação ao nível médio das águas do mar, de cerca de 80 metros. Os edifícios possuem, cada um, uma fachada principal – quatro dos blocos dispõem as fachadas principais a este e os restantes dois blocos dispõem as fachadas principais a oeste.

Os blocos estão dispostos isoladamente, ou seja, não estão diretamente limitados por nenhum outro edifício, como se pode constatar pela planta de implantação apresentada, (Fig. 17).



Fig. 17 – Implantação do Bairro do Bom Sucesso

Os edifícios possuem, na sua totalidade, 4 pisos acima do solo, sendo que, quatro dos seis blocos apresentam 6 fogos por piso, e os restantes dois blocos apresentam 4 fogos por piso, num total de 128 fogos em todo o bairro. Todos os apartamentos são de tipologia T3, apresentando a cozinha e a sala conjuntas e em *open space*.

As áreas e os pés direitos dos fogos são integralmente iguais entre si – cerca de 45,5 m<sup>2</sup> de área e 2,5 m de pé direito.

Nas (Fig. 18 a Fig. 22), estão representadas as plantas, alçados e cortes do edifício em questão.



Fig. 18 – Alçados frontal e posterior dos blocos menores



Fig. 19 – Alçados frontal posterior dos blocos maiores

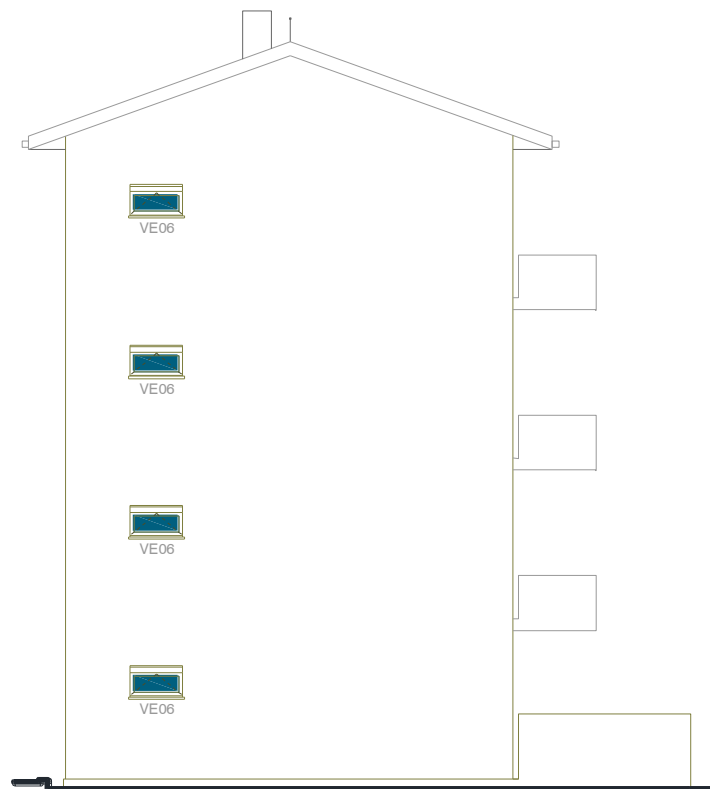


Fig. 20 – Alçado lateral comum a todos os blocos

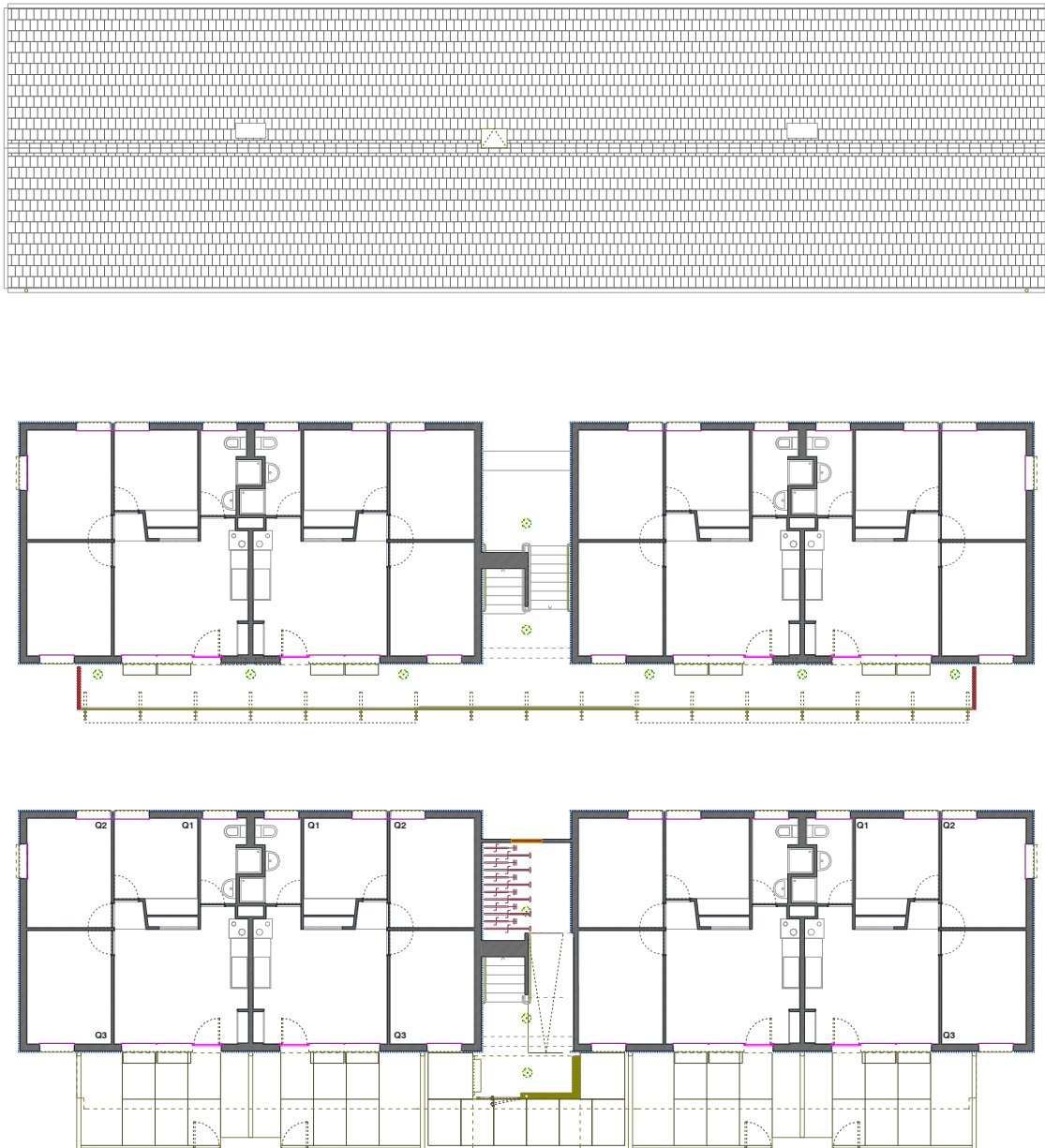


Fig. 21 – Plantas do piso térreo, restantes pisos e cobertura dos blocos menores

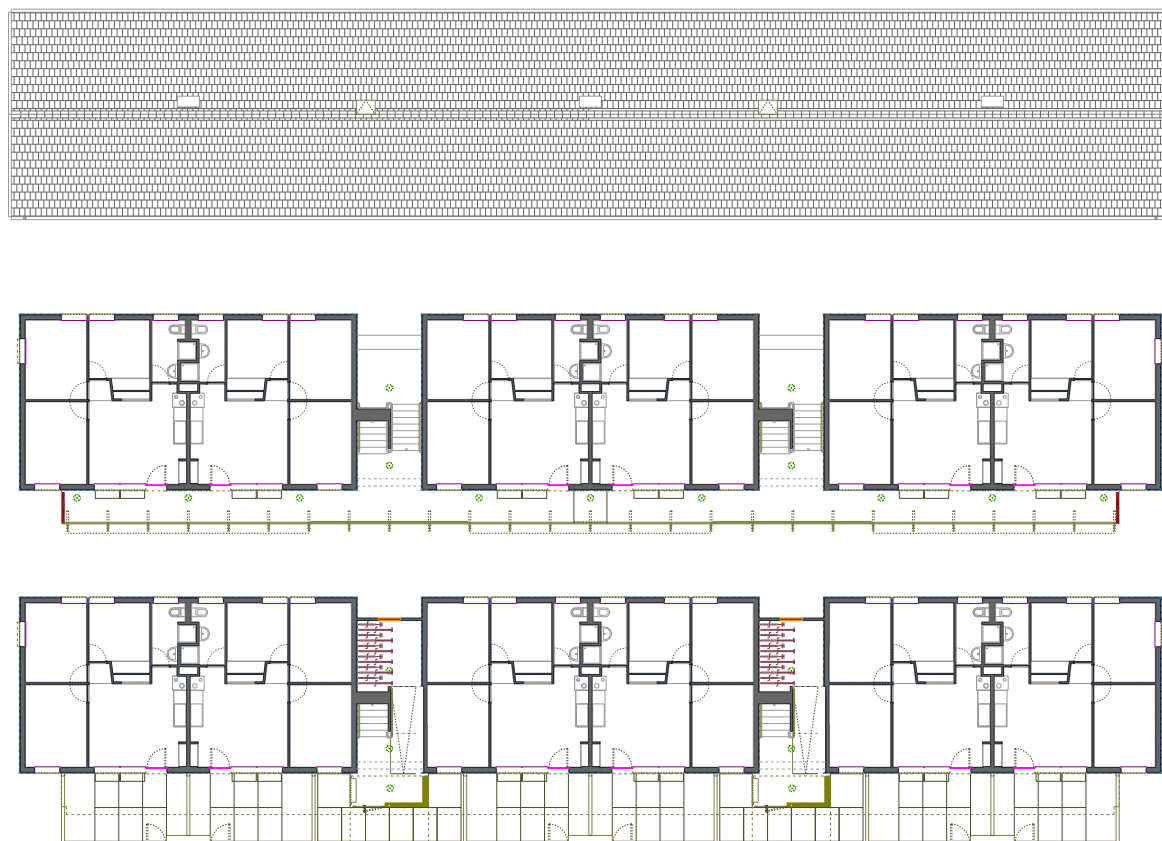


Fig. 22 – Plantas do piso térreo, restantes pisos e cobertura dos blocos maiores

Os dados climáticos a considerar para o edifício como um todo são apresentados na, (Tabela 13).

Tabela 13 – Dados climáticos

Dados	
Zona Climática de Inverno	I1
Zona Climática de Verão	V2
Graus-dia de aquecimento	1228
Duração da estação de aquecimento	6,2 meses
Duração da estação de arrefecimento	4,0 meses
Temperatura média exterior no Inverno	10,0°
Temperatura média exterior no Verão	20,9°

É importante notar que, por forma a estudar as diferenças em termos construtivos e económicos, é necessário conhecer a constituição do edifício pré-existente, ou seja, quais as soluções construtivas que o projeto inicial contemplava e que foi, efetivamente, aplicado primeiramente.

Neste caso, não foi fornecida ao autor qualquer tipo de informação desse tipo, logo, o que se apresenta de seguida é apenas uma panóplia de informações recolhidas, conversando com profissionais que

estiveram ligados aos projetos de térmica e avaliando plantas, alçados, cortes e folhas do REH. Foi também tido em conta, para efeitos de simplificação, o Despacho 15793-E/2013 e o ITE 50/2006.

Consequentemente, são apresentadas, nas (Tabela 14 e Tabela 15), as soluções iniciais de envolvente opaca do conjunto de edifícios.

Tabela 14 – Elementos construtivos (pré-existências)

Elemento	Descrição	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)
PDE 1	Parede simples de tijolo de 20 cm, rebocada (1 cm) pelo exterior e estucada (2 cm) pelo interior	4555,00	1,34
PVT 1	Pavimento em laje maciça de betão de 16cm, com respetivos revestimentos (2,5 cm)	1457,00	0,80
CBI 1	Cobertura inclinada tradicional em telha, com desvão não útil e esteira leve.	1457,00	3,80

Tabela 15 – Espaço Não Útil (ENU)

Espaço não útil	b <sub>tr</sub>
Desvão da cobertura	0,80

E as soluções iniciais de vãos envidraçados, (Tabela 16).

Tabela 16 – Elementos envidraçados exteriores

Elemento	Descrição	Tipo de oclusão	U (W/m <sup>2</sup> .°C)
VE 1	Janela simples, em caixilharia de madeira com vidro simples de 4 mm (g <sub>vi</sub> =0,88)	Estore de cor clara pelo exterior (g <sub>Tvc</sub> =0,04)	3,90

#### 4.2.2. CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA INICIAL DOS EDIFÍCIOS

Para efeitos de simplificação, os fogos deste caso de estudo foram agrupados em 3 grupos: em contacto com o solo – que engloba todos os pisos térreos; intermédios – que engloba todos os pisos do primeiro e segundo nível dos edifícios; e em contacto com a cobertura – que engloba todos os últimos pisos. Dentro de cada grupo, as frações foram divididas em 3 tipos: A, B e C de acordo com as envolventes de cada fração. Pelo facto de existirem frações com o mesmo tipo de envolvente (tanto nos blocos menores como nos blocos maiores), essas foram omitidas das tabelas dos Balanços Energéticos visto que as folhas do REH seriam iguais, (Fig. 23).

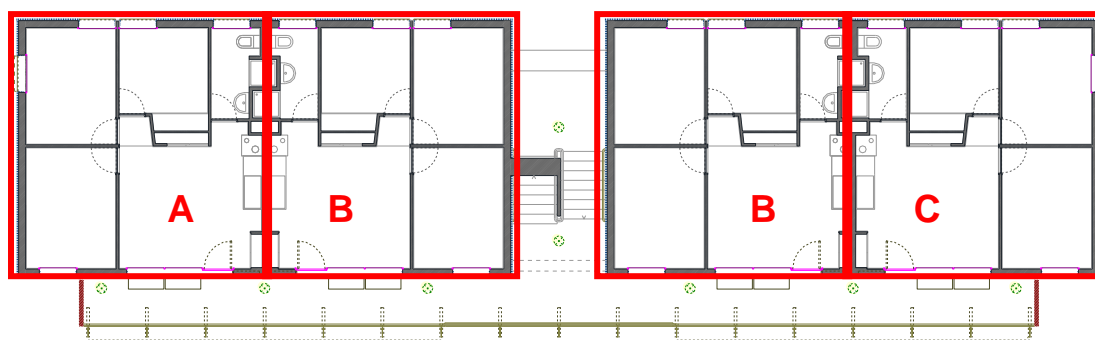


Fig. 23 – Identificação das frações dos blocos

Tabela 17 – Balanço energético dos blocos com fachada principal orientada a Oeste

Piso	Fração tipo	Nic	Ni	Nvc	Nv	Ntc	Nt	Classificação Energética
Em contacto com o solo	A	90,00	54,37	1,96	9,13	426,53	280,99	D
	B	83,37	49,12	2,32	9,13	409,94	267,87	D
	C	89,17	54,37	2,31	9,13	424,45	280,99	D
Intermédios	A	50,28	25,43	4,09	9,13	327,22	208,64	D
	B	51,96	32,61	5,98	9,13	336,41	226,59	C
	C	35,94	20,38	8,96	9,13	297,74	196,03	D
Em contacto com a	A	125,56	29,81	37,42	9,13	546,62	219,60	E

cobertura	B	148,75	47,09	33,49	9,13	601,32	262,80	E
	C	149,91	47,44	33,37	9,13	604,10	263,67	E

Tabela 18 – Balanço energético dos blocos com fachada principal orientada a Este

Piso	Fração tipo	Nic	Ni	Nvc	Nv	Ntc	Nt	Classificação Energética
Em contacto com o solo	A	89,17	54,37	2,31	9,13	424,45	280,99	D
	B	83,37	49,12	1,88	9,13	409,94	267,87	D
	C	90,00	54,37	1,96	9,13	426,53	280,99	D
Intermédios	A	49,86	25,42	4,86	9,13	326,19	208,64	D
	B	51,96	32,61	5,10	9,13	331,42	226,59	C
	C	36,04	20,38	7,97	9,13	298,28	196,03	D
Em contacto com a cobertura	A	125,16	29,81	38,63	9,13	546,62	219,60	E
	B	148,75	47,09	32,25	9,13	600,28	262,80	E

---

C	150,31	47,44	32,26	9,13	604,20	263,67
---	--------	-------	-------	------	--------	--------

---





# 5

## COMPARAÇÕES REGULAMENTARES

### 5.1. ANÁLISE DA NOVA PORTARIA Nº 297/2019 PARA REABILITAÇÃO

Em reabilitação, os valores a cumprir, no geral, são menos limitativos que os valores para edifícios novos, contudo, e depois de uma análise exaustiva à nova regulamentação para a reabilitação – Portaria nº 297/2019, conseguem encontrar-se pontos que suscitam algumas dúvidas.

Os valores constantes da Portaria nº 297/2019 dizem respeito, apenas, a elementos a intervir, tanto na envolvente exterior opaca, como na envolvente exterior envidraçada, o que significa que não será obrigatório cumprir os limites descritos na portaria se se pretender manter o elemento na íntegra.

Conjuntamente, a Portaria nº 297/2019 faz, apenas, referência a valores limite de coeficientes de transmissão térmica para elementos da envolvente exterior (Tabela 19) – paredes, coberturas, pavimentos e vãos envidraçados que se encontram diretamente em contacto com o exterior, o que exige que os restantes elementos, os pertencentes à envolvente interior, caso se pretenda que sejam intervencionados, cumpram, por defeito, os valores limite descritos nas Portaria nº 349-B/2013 e nº 379-A/2015.

Tabela 19 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis  $U_{max}$  (W/m<sup>2</sup>.K)

Elemento exterior	I1	I2	I3	
Elementos opacos verticais — Paredes . . . . .	1,70	1,50	1,40	
Elementos opacos horizontais	Coberturas . . . . .	0,80	0,70	0,60
	Pavimentos sobre o exterior . . . . .	1,00	0,90	0,80
Vão envidraçados (portas e janelas) — $U_{wdn}$ . . . . .	4,50	4,00	4,00	

Os elementos da envolvente interior separam-se em elementos em contacto com ENU com  $b_{tr} \leq 0,7$  e em elementos em contacto com ENU com  $b_{tr} > 0,7$  - que se equiparam a elementos em contacto direto com o exterior, (Tabela 20).

Tabela 20 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis  $U_{max}$  (W/m<sup>2</sup>.K)

$U_{máx}$ [W/(m <sup>2</sup> .°C)]		Zona climática		
Portugal Continental				
Zona corrente da envolvente:		A partir de 31 de dezembro 2015		
		I1	I2	I3
em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr}>0,7$	Elementos opacos verticais	0,50	0,40	0,35
	Elementos opacos horizontais	0,40	0,35	0,30
Vãos envidraçados (portas e janelas) ( $U_w$ )		2,80	2,40	2,20

Analisando as (Tabela 19 e Tabela 20), um elemento interior opaco em contacto com um ENU com  $b_{tr}>0,7$ , a ser reabilitado, tem de cumprir valores mais condicionantes que um elemento em contacto direto com o exterior. Comparativamente, no caso de edificação nova, os valores limite dos coeficientes de transmissão térmica para elementos exteriores são iguais aos valores limite dos coeficientes de transmissão térmica para elementos interiores em contacto com ENU com  $b_{tr}>0,7$ . A Portaria n° 379-A/2015 equipara os ENU com  $b_{tr}>0,7$  ao exterior e, conseqüentemente, a Portaria n° 297/2019 segue o mesmo raciocínio, uma vez que é omissa no que a esta questão diz respeito. No entanto, crê-se que não terá sido esse o espírito do legislador, sendo expectável que surja, em breve, o esclarecimento correspondente. Neste trabalho, não tendo havido ainda esse esclarecimento, far-se-á uma interpretação estrita da Portaria n° 297/2019, considerando que tudo o que nela está omissa deve reger-se pelas Portarias anteriores.

Em relação aos vãos envidraçados exteriores, a Portaria n° 349-B/2013, para edifícios novos, não impõe a verificação dos fatores solares globais dos vãos envidraçados com os dispositivos de proteção 100% ativados ( $g_T \leq g_{Tmáx}$ ) sempre que se verifique uma área de envidraçados inferior a 5% da área do pavimento do compartimento por eles servido e desde que o envidraçado se encontre orientado no quadrante norte. Por outro lado, a Portaria n° 297/2019, para reabilitação, preconiza uma verificação para os quadrantes este, sul e oeste na condição de a área do envidraçado ser inferior a 5% da área do pavimento do compartimento que serve. Para as situações em que a área do envidraçado seja superior a 5% da área do pavimento do compartimento que serve, é obrigatória a verificação em todos os quadrantes – norte, sul, este e oeste.

Como seria de esperar, as soluções iniciais das edificações em estudo não cumprem qualquer requisito no que à Térmica de Edifícios diz respeito.

Por fim, é importante notar que a comparação dos valores limite para edificação nova (Portarias n° 349-B/2013 e n° 379-A/2015) e dos valores limite para a reabilitação (Portaria n° 297/2019) resulta do Regime Excepcional para a Reabilitação Urbana, RERU – Decreto-Lei n° 53/2014 - cessado com a publicação da Portaria n° 297/2019 – visto que, no caso de não existir legislação específica para reabilitação e este se extinguísse, os edifícios reabilitados teriam de cumprir o exigido para a construção nova (Portaria n° 349-B/2013). Este cumprimento seria obrigatório a não ser que existissem razões de ordem técnica ou de valor arquitetónico, desde que devidamente justificadas.

## 5.2. VALORES CONDIZENTES COM REGULAMENTAÇÃO PARA EDIFÍCIOS NOVOS

### 5.2.1. CASO DE ESTUDO 1 – RUA FERNANDES TOMÁS, PORTO, PORTUGAL

Numa primeira análise, e à luz do referido no ponto anterior, existem valores de U (coeficiente de transmissão térmica) que, naturalmente, não verificam a regulamentação para edifícios novos – valores

das portarias nº 349-B/2013 e nº 379-A/2015. Na (Tabela 21), estão apresentados os valores de U das soluções iniciais e o valor máximo regulamentar admitido de acordo com a zona climática onde se insere o edifício e o espaço que limita os elementos.

Tabela 21 – Comparação, para cada elemento, dos valores de  $U_{sol. inicial}$  com  $U_{máx}$

Elemento	ENU que limita o elemento	$U_{sol. inicial}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)	$U_{máx}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)
PDE 1	-	2,56	0,50
PDE 2	-	3,44	0,50
PDE 3	-	3,07	0,50
PDI 1	Caixa-de-escadas	2,00	2,00
PDI 2	Edifício adjacente	1,97	2,00
PVI 1	Loja 1/Loja 2	1,70	0,40
PVI 2	Loja 1/Loja 2	2,20	0,40
CBI 1	Desvão da cobertura	3,80	0,40
VE 1	-	3,90	2,80

Embora a maior parte dos elementos não verifiquem os valores máximos, é possível perceber que as paredes interiores, apesar de não possuírem qualquer tipo de isolamento, verificam os valores máximos de U, apenas pela sua constituição.

Não obstante, há que reduzir os valores dos U por forma a verificar os limites regulamentares e de maneira a avaliar o balanço energético total.

#### 5.2.1.1. Alterações ao projeto

A solução adotada para as paredes exteriores, neste caso, e devido à impossibilidade de modificar as fachadas por imposição arquitetónica, passa pela colocação de isolamento térmico pelo interior das paredes em contacto com o exterior. Nesse sentido, avaliou-se que espessura de isolamento seria necessária para as paredes exteriores passarem a verificar os valores da (Tabela 21), aliando a colocação do isolamento com placas de gesso cartonado de 15 mm de espessura como revestimento interior. Os valores de espessura de isolamento a aplicar foram adotados tendo em vista a homogeneidade da solução e a facilidade de execução em fase de obra, (Tabela 22).

Tabela 22 – Solução de isolamento para as paredes exteriores

Elemento	$U_{sol. inicial}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)	Isolamento	Espessura (cm)	$U_{final}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)
PDE 1	2,56	XPS ( $\lambda=0,031$ )	6,00	0,42
PDE 2	3,44	XPS ( $\lambda=0,031$ )	6,00	0,44
PDE 3	3,07	XPS ( $\lambda=0,031$ )	6,00	0,43

Em relação aos vãos envidraçados, (Tabela 23), adotando as soluções que foram fornecidas pela empresa responsável pelo projeto de térmica na folha do REH, a solução aplicada passou pela escolha de vidros com diferentes  $g_{vi}$  e soluções de oclusões diferentes, visto que não é verificado o  $g_{Tmáx}$  de envidraçados com grande área, orientados a oeste.

Tabela 23 – Solução construtiva para os vãos envidraçados exteriores

Elemento	$U_{sol. inicial}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)	Descrição	$U_{final}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)
VE 1	3,90	Vidro duplo ( $g_{vi}=0,75$ ) em caixilharia PVC e portada de cor clara pelo interior ( $g_{Tvc}=0,35$ )	2,80
VE 2	3,90	Vidro duplo ( $g_{vi}=0,46$ ) em caixilharia PVC e cortina de cor clara pelo interior ( $g_{Tvc}=0,37$ )	2,80

Em relação aos elementos horizontais interiores, sejam pavimentos ou coberturas, a solução passa, também, pela aplicação de isolamento térmico de modo a baixar os valores de U.

No pavimento interior PVI 1, adotando as soluções que foram fornecidas pela empresa responsável pelo projeto de térmica na folha do REH, a reabilitação passou por adotar teto falso de gesso cartonado, em adição à colocação de isolamento térmico EPS ( $\lambda=0,040$ ) na caixa-de-ar de 20 cm.

No pavimento interior PVI 2, concomitantemente, adotando as soluções que foram fornecidas pela empresa responsável pelo projeto de térmica na folha do REH, a reabilitação passou por adotar teto falso de gesso cartonado, em adição à colocação de isolamento térmico em lã mineral ( $\lambda=0,040$ ), igualmente na caixa-de-ar.

Conjuntamente, na cobertura interior CBI 1, adotando as soluções que foram fornecidas pela empresa responsável pelo projeto de térmica na folha do REH, a reabilitação passou por adotar uma colocação contínua de isolamento térmico EPS ( $\lambda=0,040$ ) na esteira horizontal leve, (Tabela 24).

Tabela 24 – Solução de isolamento de pavimentos e coberturas interiores

Elemento	$U_{sol. inicial}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)	Isolamento	Descrição da solução adotada	$U_{final}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)
PVI 1	1,70	EPS de 8 cm	Teto falso (2,7 cm), isolamento térmico na caixa de ar (20 cm)	0,24
PVI 2	2,20	Lã mineral de 8 cm	Teto falso (2,7 cm), isolamento térmico na caixa de ar (20 cm)	0,40
CBI 1	3,80	EPS de 10 cm	Cobertura inclinada com desvão não útil, esteira leve horizontal onde foi aplicado isolamento contínuo.	0,39

Por efeito destas alterações, o balanço energético total sofrerá alterações, (Tabela 25).

Tabela 25 – Classificação energética após intervenção

Fração	Nic	Ni	Nvc	Nv	Ntc	Nt	Classificação Energética
1	49,72	41,92	13,87	9,13	170,64	184,04	B-
2	47,33	51,69	18,74	9,13	173,28	215,97	B-
3	43,05	32,38	15,00	9,13	155,14	160,66	B-
4	40,10	40,41	19,10	9,13	155,52	187,78	B-
5	50,91	42,43	12,19	9,13	171,82	184,51	B-
6	47,94	50,74	14,59	9,13	171,41	213,72	B-

É importante notar que estas soluções têm por base as folhas do REH realizadas com o objetivo de reabilitação do edifício em questão, e que as soluções dos sistemas técnicos não foram alteradas – termoacumuladores e painéis solares térmicos. Estes pontos podem implicar discrepâncias ao nível das necessidades nominais de energia primária, para aquecimento e/ou para arrefecimento.

#### 5.2.1.2. Custo das soluções

A análise dos custos das soluções adotadas, (Tabela 26) foi realizada segundo valores médios do mercado português, tendo por base o Gerador de Preços do CYPE, este último que possui, para além de outros elementos, uma extensa biblioteca de software e informação para o projeto de edificação corrente [10].

Tabela 26 – Base de dados preços soluções

Componente	Custo
Placas de XPS ( $\lambda=0,031$ ) de 6 cm de espessura	9,17 €/m <sup>2</sup>
Vidros duplo de $g_{vi}=0,75$	64 €/m <sup>2</sup>

Vidros duplo de $g_{vi}=0,46$	79 €/m <sup>2</sup>
Portadas de madeira de cor clara	Valores unitários entre 132,20 € e 493,20 €
Cortinas opacas de cor clara	Valor unitário de 524,75 €

Assim, é possível chegar a uma conclusão sobre o custo aproximado da intervenção, (Tabela 27) e o possível retorno do investimento.

Tabela 27 – Custos globais da intervenção

Medida	Custo (€)
Paredes	2380
Vãos envidraçados	24685

Por outro lado, ao analisar as folhas do REH das diferentes frações, é possível obter informações sobre a redução, em média, da fatura energética anual. Essa redução, decorrente da aplicação destas medidas, é de cerca de 1177 €/ano por fração e, como era esperado, as frações do último piso são as mais beneficiadas com estas alterações, devido à intervenção na cobertura.

#### 5.2.2. CASO DE ESTUDO 2 – BAIRRO DO BOM SUCESSO, PORTO, PORTUGAL

A solução de reabilitação proposta pela empresa a que este projeto diz respeito passa por, ao contrário do que aconteceu no edifício anterior, introduzir mudanças que levam a grandes diferenças ao nível das envolventes.

O que está apontado e, certamente, será realizado, é o fecho das caixas-de-escadas com recurso a envidraçados e, como está evidenciado na (Fig. 24), o fecho, recorrendo, também, a vãos envidraçados, na íntegra, das varandas dos pisos 1, 2 e 3 de todos os blocos, formando, assim, solários ao longo das suas totais extensões. Isto implica uma mudança ao nível da designação das paredes exteriores em contacto direto com o solário e com as caixas-de-escadas que passarão a ser designadas, para efeito de estudo das folhas do REH, por paredes interiores.

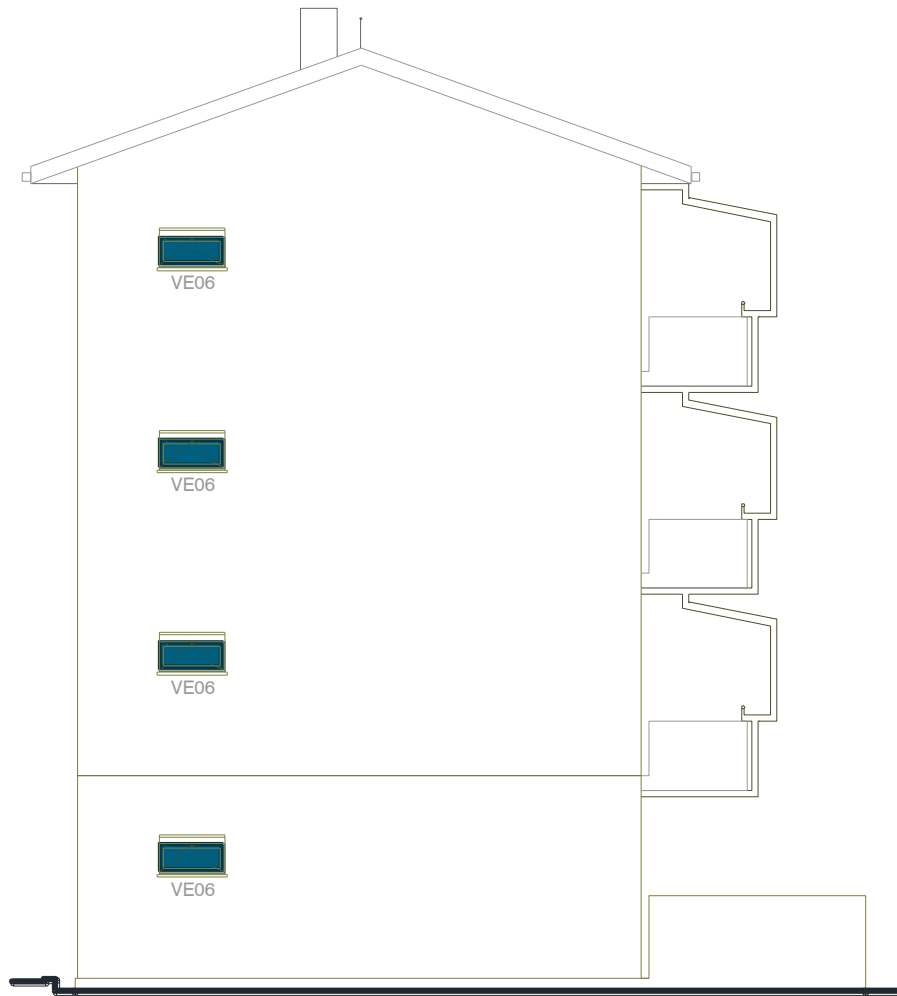


Fig. 24 – Corte longitudinal (solário e varandas)

Além disto, as caixas-de-escadas sofreram, também, alterações. A projeção será fechá-las, recorrendo a vãos envidraçados, nas fachadas posteriores de todos os blocos, isto implica que as paredes em contacto com estas passarão, também, a ser designadas por paredes interiores.

Igualmente, numa primeira análise, existem valores de  $U$  (coeficiente de transmissão térmica) que, naturalmente, não verificam a regulamentação para edifícios novos – valores das portarias nº 349-B/2013 e nº 379-A/2015. Assim, apresenta-se, nas (Tabela 28 e Tabela 29), as adições de ENU e elementos, decorrentes das alterações previstas no projeto, os valores de  $U$  das soluções iniciais e o valor máximo regulamentar admitido de acordo com a zona climática onde se insere o edifício e o espaço que limita os elementos.

Tabela 28 – Espaços Não Úteis (ENU)

Espaço não útil	$b_{tr}$
Desvão da cobertura	0,80
Caixa-de-escadas	0,80
Solário	0,80

Note-se que, neste caso, para efeitos facilitadores, foram consideradas regras de facilitação previstas no Despacho 15793-E/2013 referentes aos  $b_{tr}$  dos espaços.

Tabela 29 – Comparação, para cada elemento, dos valores de  $U_{sol. inicial}$  com  $U_{máx}$

Elemento	ENU que limita o elemento	$U_{sol. inicial}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)	$U_{máx}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)
PDE 1	-	1,34	0,50
PDI 1	Solário/ Caixa-de-escadas	1,19	0,50
PVT 1	-	0,80	-
CBI 1	Desvão da cobertura	3,80	0,40
VE 1	-	3,90	2,80
VI 1	-	3,90	-

Os elementos descritos não verificam os valores máximos logo, há que reduzir os valores dos U por forma a verificar os limites regulamentares e de maneira a avaliar o balanço energético total.

#### 5.2.2.1. Alterações ao projeto

A solução adotada para as paredes exteriores, neste caso, passa pela colocação de isolamento térmico pelo exterior das paredes em contacto com o exterior e com os ENU que apresentam um  $b_{tr} > 0,7$  – caixa-de-escadas e solário. Nesse sentido, avaliou-se que espessura de isolamento seria necessária para as paredes exteriores passarem a verificar os valores na, (Tabela 29), aliando a colocação do isolamento com reboco exterior, (Tabela 30).

Tabela 30 – Solução de isolamento para as paredes exteriores

Elemento	$U_{sol. inicial}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)	Isolamento	Espessura (cm)	$U_{final}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)
PDE 1	1,34	EPS ( $\lambda=0,038$ )	5,00	0,48
PDI 1	1,19	EPS ( $\lambda=0,038$ )	5,00	0,46

Em relação aos vãos envidraçados exteriores, (Tabela 31) visto que existem caixas de estore em todos os vãos envidraçados dos blocos, a solução aplicada passou pela escolha de vidros integralmente iguais entre si e soluções de oclusão semelhantes à já adotada inicialmente.

Tabela 31 – Solução construtiva para os vãos envidraçados exteriores

Elemento	$U_{sol. inicial}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)	Descrição	$U_{final}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)
----------	--	-----------	---------------------------------------

VE 1	3,90	Vidro duplo ( $g_{vi}=0,75$ ) em caixilharia PVC e estore de cor clara pelo exterior ( $g_{Tvc}=0,04$ )	2,80
------	------	---	------

Advindo das alterações realizadas, existem vãos envidraçados exteriores que passaram a interiores. Para efeitos de simplificação, manter-se-á a solução adotada para os primeiros, exposta acima.

Os envidraçados que compõem o solário apresentarão soluções conforme as anteriores, apenas considerando, ao invés de estores claros pelo exterior, estores venezianos pelo interior do solário.

Em relação aos pavimentos em contacto com o solo, devido ao facto de não existir valor máximo a verificar, não será proposta nenhuma alteração à sua constituição.

No que se refere à cobertura interior CBI 1, (Tabela 32) adotando as soluções que foram fornecidas pela empresa responsável pelo projeto de térmica na folha do REH, a reabilitação passou por adotar uma colocação de painel *Sandwich* de placas OSB em substituição da esteira horizontal e, a este, unir, por pregagens, um teto falso de gesso cartonado.

Tabela 32 – Solução de isolamento para a cobertura interior

Elemento	$U_{sol. inicial}$ ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )	Isolamento	Descrição da solução adotada	$U_{final}$ ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )
CBI 1	3,80	Painel <i>Sandwich</i> de lã de rocha de 10 cm	Cobertura inclinada com desvão não útil, painel <i>Sandwich</i> horizontal, caixa-de-ar de 3 cm e teto falso em gesso cartonado de 15 mm.	0,34

Por efeito destas alterações, o balanço energético total sofrerá alterações, (Tabela 33 e Tabela 34).

Tabela 33 – Balanço energético dos blocos com fachada principal orientada a Oeste (após intervenção)

Piso	Fração tipo	Nic	Ni	Nvc	Nv	Ntc	Nt	Classificação Energética
Em contacto com o solo	A	46,58	49,98	2,31	9,13	317,98	270,02	C
	B	42,46	43,60	2,00	9,13	307,68	254,08	C
	C	49,81	53,97	2,44	9,13	326,06	279,99	C
Intermédios	A	16,87	26,57	6,11	9,13	248,81	211,51	C

	B	16,48	24,76	5,38	9,13	247,21	206,98	C
	C	16,51	26,57	6,49	9,13	248,21	211,51	C
Em contacto com a cobertura	A	33,22	41,28	8,05	9,13	291,29	248,28	C
	B	32,77	39,47	7,40	9,13	289,62	243,75	C
	C	32,95	41,28	8,47	9,13	290,95	248,28	C

Tabela 34 – Balanço energético dos blocos com fachada principal orientada a Este (após intervenção)

Piso	Fração tipo	Nic	Ni	Nvc	Nv	Ntc	Nt	Classificação Energética
	A	45,91	49,98	2,44	9,13	316,31	270,02	C
Em contacto com o solo	B	42,46	43,60	1,98	9,13	307,68	254,08	C
	C	50,49	53,96	2,31	9,13	327,75	279,99	C
Intermédios	A	16,61	26,57	6,46	9,13	248,43	211,51	C
	B	16,48	24,76	5,34	9,13	247,18	206,96	C

	C	16,78	26,57	6,14	9,13	248,59	211,51	C
	A	33,22	41,28	8,05	9,13	291,29	248,28	C
Em contacto com a cobertura	B	32,77	39,47	7,36	9,13	289,59	243,75	C
	C	33,22	41,28	8,15	9,13	291,38	248,28	C

É importante notar que estas soluções têm por base as folhas do REH realizadas com o objetivo de reabilitação do edifício em questão, e que as soluções dos sistemas técnicos não foram alteradas – esquentadores elétricos. Estes pontos podem implicar discrepâncias ao nível das necessidades nominais de energia primária, para aquecimento e/ou para arrefecimento.

#### 5.2.2.2 Custo das soluções

A análise dos custos das soluções adotadas foi realizada segundo valores médios do mercado português, tendo por base o Gerador de Preços do CYPE e as folhas do REH das diferentes frações, (Tabela 35).

Tabela 35 – Base de dados preços soluções

Componente	Custo
Sistema ETICS com placas de EPS ( $\lambda=0,038$ ) de 5 cm de espessura	63,77 €/m <sup>2</sup>
Vidros duplo de $g_{vi}=0,75$	64 €/m <sup>2</sup>

Assim, é possível chegar a uma conclusão sobre o custo aproximado da intervenção e o possível retorno do investimento, (Tabela 36).

Tabela 36 – Custos globais da intervenção

Medida	Custo (€)
Paredes	487000
Vãos envidraçados	130000

Por outro lado, ao analisar as folhas do REH das diferentes frações, é possível obter informações sobre a redução, em média, da fatura energética anual. Essa redução, decorrente da aplicação destas medidas, é de cerca de 428 €/ano por fração e, como era esperado, as frações do último piso são as mais beneficiadas com estas alterações, devido à intervenção na cobertura.

### 5.3. VALORES CONDIZENTES COM REGULAMENTAÇÃO PARA A REABILITAÇÃO

#### 5.3.1. CASO DE ESTUDO 1 – RUA FERNANDES TOMÁS, PORTO, PORTUGAL

Numa primeira análise, existem valores de U que não verificam a regulamentação para edifícios sujeitos a intervenções – valores da portaria nº 297/2019. Na (Tabela 37), estão apresentados os valores de U das soluções iniciais e o valor máximo regulamentar admitido de acordo com a zona climática onde se insere o edifício e o espaço que limita os elementos.

Tabela 37 – Comparação, para cada elemento, dos valores de  $U_{sol. inicial}$  com  $U_{máx}$

Elemento	ENU que limita o elemento	$U_{sol. inicial}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)	$U_{máx}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)
PDE 1	-	2,56	1,70
PDE 2	-	3,44	1,70
PDE 3	-	3,07	1,70
PDI 1	Caixa-de-escadas	2,00	2,00
PDI 2	Edifício adjacente	1,97	2,00
PVI 1	Loja 1/Loja 2	1,70	0,40
PVI 2	Loja 1/Loja 2	2,20	0,40
CBI 1	Desvão da cobertura	3,80	0,40
VE 1	-	3,90	4,50

Também aqui, há que reduzir os valores dos U por forma a verificar os limites regulamentares e de maneira a avaliar o balanço energético total.

#### 5.3.1.1. Alterações ao projeto

A solução adotada para as paredes exteriores (Tabela 38), igualmente à adotada na reabilitação que verifica os valores para edifícios novos, passa pela colocação de isolamento térmico pelo interior das paredes em contacto com o exterior. Nesse sentido, avaliou-se que espessura de isolamento seria necessária para as paredes exteriores passarem a verificar os valores da tabela acima, aliando a colocação do isolamento com placas de gesso cartonado de 15 mm de espessura como revestimento interior.

Tabela 38 – Solução de isolamento para as paredes exteriores

Elemento	$U_{sol. inicial}$	Isolamento	Espessura	$U_{final}$
----------	--------------------	------------	-----------	-------------

	(W/m <sup>2</sup> .°C)		(cm)	(W/m <sup>2</sup> .°C)
PDE 1	2,56	XPS ( $\lambda=0,031$ )	1,00	1,40
PDE 2	3,44	XPS ( $\lambda=0,031$ )	1,00	1,63
PDE 3	3,07	XPS ( $\lambda=0,031$ )	1,00	1,54

Em relação aos vãos envidraçados (Tabela 39), a solução aplicada passou pela escolha de vidros integralmente iguais entre si e soluções de oclusões diferentes, visto que não é verificado o  $g_{Tm\acute{a}x}$  de envidraçados com grande área, orientados a oeste.

Tabela 39 – Solução construtiva para os vãos envidraçados exteriores

Elemento	$U_{sol. inicial}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)	Descrição	$U_{final}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)
VE 1	3,90	Vidro simples ( $g_{vi}=0,88$ ) em caixilharia PVC e cortina de cor clara pelo interior ( $g_{Tvc}=0,33$ )	4,10
VE 2	3,90	Vidro simples ( $g_{vi}=0,88$ ) em caixilharia PVC e estore veneziano metálico pelo exterior ( $g_{Tvc}=0,14$ )	4,10

Em relação aos elementos horizontais interiores, sejam pavimentos ou coberturas, a solução passa, também, pela aplicação de isolamento térmico de modo a baixar os valores de U.

Os elementos referidos, nomeadamente PVI 1, PVI 2 e CBI 1 apresentarão, neste ponto, soluções análogas às soluções que verificam os valores para edifícios novos devido à imposição constante na nova Portaria nº 297/2019. Assim, como se apresenta na (Tabela 40), manter-se-ão as soluções construtivas.

Tabela 40 – Solução de isolamento de pavimentos e coberturas interiores

Elemento	$U_{sol. inicial}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)	Isolamento	Descrição da solução adotada	$U_{final}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)
PVI 1	1,70	EPS de 8 cm	Teto falso (2,7 cm), isolamento térmico na caixa de ar (20 cm)	0,24
PVI 2	2,20	Lã mineral de 8 cm	Teto falso (2,7 cm), isolamento térmico na caixa de ar (20 cm)	0,40
CBI 1	3,80	EPS de 10 cm	Cobertura inclinada com desvão não útil, esteira leve horizontal onde foi aplicado isolamento contínuo.	0,39

Por efeito destas alterações, o balanço energético total sofrerá alterações, (Tabela 41).

Tabela 41 – Classificação energética após intervenção

Fração	Nic	Ni	Nvc	Nv	Ntc	Nt	Classificação Energética
1	66,59	41,92	14,54	9,13	213,36	184,04	C
2	75,46	51,69	20,83	9,13	245,37	215,97	C
3	59,11	32,38	15,46	9,13	195,68	160,66	C
4	67,67	40,41	20,91	9,13	225,95	187,78	C
5	66,43	42,43	12,93	9,13	211,25	184,51	C
6	74,52	50,74	16,60	9,13	239,55	213,72	C

É importante notar que estas soluções têm por base as folhas do REH realizadas e que as soluções dos sistemas técnicos não foram alteradas – termoacumuladores e painéis solares térmicos. Estes pontos podem implicar discrepâncias ao nível das necessidades nominais de energia primária, para aquecimento e/ou para arrefecimento.

#### 5.3.1.2. Custo das soluções

A análise dos custos das soluções adotadas, (Tabela 42) foi realizada segundo valores médios do mercado português, tendo por base o Gerador de Preços do CYPE, este último que possui, para além de outros elementos, uma extensa biblioteca de software e informação para o projeto de edificação corrente. [10]

Tabela 42 – Custos das soluções de intervenção

Componente	Custo
Placas de XPS ( $\lambda=0,031$ ) de 1 cm de espessura	5,34 €/m <sup>2</sup>

Vidro simples de $g_{vi}=0,88$	27 €/m <sup>2</sup>
Cortinas opacas de cor clara	Valores unitários entre 62,40 € e 199,50 €
Estores venezianos metálicos	Valor unitário de 967,40 €

Assim, é possível chegar a uma conclusão sobre o custo aproximado da intervenção e o possível retorno do investimento, (Tabela 43).

Tabela 43 – Custos globais de intervenção

Medida	Custo (€)
Paredes	1390
Vãos envidraçados	12232

Por outro lado, ao analisar as folhas do REH das diferentes frações, é possível obter informações sobre a redução, em média, da fatura energética anual. Essa redução, decorrente da aplicação destas medidas, é de cerca de 979 €/ano por fração e, como era esperado, as frações do último piso são as mais beneficiadas com estas alterações, devido à intervenção na cobertura.

### 5.3.2. CASO DE ESTUDO 2 – BAIRRO DO BOM SUCESSO, PORTO, PORTUGAL

Numa primeira análise, existe valores de U que não verificam a regulamentação para edifícios sujeitos a intervenções – valores da portaria nº 297/2019. Na (Tabela 44), estão apresentados os valores de U das soluções iniciais e o valor máximo regulamentar admitido de acordo com a zona climática onde se insere o edifício e o espaço que limita os elementos.

Tabela 44 – Comparação, para cada elemento, dos valores de  $U_{sol. inicial}$  com  $U_{máx}$

Elemento	ENU que limita o elemento	$U_{sol. inicial}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)	$U_{máx}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)
PDE 1	-	1,34	1,70
PDI 1	Solário/ Caixa-de-escadas	1,19	0,50
PVT 1	-	0,80	-
CBI 1	Desvão da cobertura	3,80	0,40
VE 1	-	3,90	4,50
VI 1	-	3,90	-

Também aqui, há que reduzir os valores dos U por forma a verificar os limites regulamentares e de maneira a avaliar o balanço energético total apesar da existência de elementos que já os verificam.

### 5.3.2.1. Alterações ao projeto

Visto as paredes exteriores, só pela sua constituição, manterem o seu U abaixo do limite estabelecido na regulamentação para a reabilitação, não haverá alterações de maior a realizar.

A solução adotada para as paredes exteriores que se tornaram paredes interiores (Tabela 45), igualmente à adotada na reabilitação que verifica os valores para edifícios novos, passa pela colocação de isolamento térmico pelo exterior das paredes em contacto com os ENU. Nesse sentido, avaliou-se que espessura de isolamento seria necessária para as paredes interiores passarem a verificar os valores da (Tabela 44).

Tabela 45 – Solução de isolamento para as paredes interiores

Elemento	$U_{sol. inicial}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)	Isolamento	Espessura (cm)	$U_{final}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)
PDI 1	1,19	EPS ( $\lambda=0,038$ )	5,00	0,46

Em relação aos vãos envidraçados exteriores (Tabela 46), visto que existem caixas de estore em todos os vãos envidraçados dos blocos, a solução aplicada passou pela escolha de vidros integralmente iguais entre si e soluções de oclusão semelhantes à já adotada inicialmente.

Tabela 46 – Soluções construtiva para os vãos envidraçados exteriores

Elemento	$U_{sol. inicial}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)	Descrição	$U_{final}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)
VE 1	3,90	Vidro simples ( $g_{vi}=0,88$ ) em caixilharia PVC e estore de cor clara pelo exterior ( $g_{Tvc}=0,04$ )	3,80

Advindo das alterações realizadas, existe vãos envidraçados exteriores que passaram a interiores. Para efeitos de simplificação, manter-se-á a solução adotada para os primeiros, exposta acima.

Os envidraçados que compõem o solário apresentarão soluções conforme as anteriores, apenas considerando, ao invés de estores claros pelo exterior, estores venezianos pelo interior do mesmo.

Em relação aos pavimentos em contacto com o solo, devido ao facto de não existir valor máximo a verificar, não será proposta nenhuma alteração à sua constituição.

No que se refere à cobertura interior CBI 1 (Tabela 47), adotando as soluções que foram fornecidas pela empresa responsável pelo projeto de térmica na folha do REH, a reabilitação, à semelhança do realizado para verificação dos valores regulamentares para edifícios novos e por imposição da nova Portaria nº 297/2019, passou por adotar uma colocação de painel Sandwich de placas OSB em substituição da esteira horizontal e, a este, unir, por pregagens, um teto falso de gesso cartonado.

Tabela 47 – Solução de isolamento de coberturas interiores

Elemento	$U_{sol. inicial}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)	Isolamento	Descrição da solução adotada	$U_{final}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)
CBI 1	3,80	Painel Sandwich de lã	Cobertura inclinada com desvão não útil, painel Sandwich horizontal, caixa de ar de	0,34

de rocha de 10 cm e teto falso em gesso cartonado de 3 cm e teto falso em gesso cartonado de 15 mm.

Por efeito destas alterações, o balanço energético total sofrerá alterações, (Tabela 48 e Tabela 49).

Tabela 48 – Balanço energético dos blocos com fachada principal orientada a Oeste (após intervenção)

Piso	Fração tipo	Nic	Ni	Nvc	Nv	Ntc	Nt	Classificação Energética
Em contacto com o solo	A	89,55	54,37	1,99	9,13	425,41	280,99	D
	B	73,02	48,07	2,03	9,13	384,08	265,24	C
	C	88,72	54,37	2,33	9,13	423,34	280,99	D
Intermédios	A	48,54	30,62	4,36	9,13	322,89	221,61	C
	B	29,23	27,94	5,73	9,13	279,39	214,92	C
	C	45,60	28,03	5,14	9,13	315,54	215,15	C
Em contacto com a cobertura	A	62,90	42,74	7,21	9,13	364,80	251,92	C
	B	51,24	40,38	6,71	9,13	335,22	246,04	C
	C	65,04	45,32	8,13	9,13	370,91	258,38	C

Tabela 49 – Balanço energético dos blocos com fachada principal orientada a Este (após intervenção)

Piso	Fração tipo	Nic	Ni	Nvc	Nv	Ntc	Nt	Classificação Energética
Em contacto com o solo	A	88,72	54,37	2,33	9,13	423,34	280,99	D
	B	73,02	48,07	1,99	9,13	384,08	265,24	C
	C	89,55	54,37	1,99	9,13	425,41	280,99	D
Intermédios	A	48,14	30,62	5,14	9,13	321,88	221,61	C
	B	36,73	27,94	4,35	9,13	293,35	214,92	C
	C	48,54	30,62	4,36	9,13	322,89	221,61	C
Em contacto com a cobertura	A	65,04	45,32	8,04	9,13	370,84	258,38	C
	B	51,24	40,38	6,62	9,13	335,15	246,04	C
	C	65,42	45,32	7,30	9,13	371,16	258,38	C

É importante notar que estas soluções têm por base as folhas do REH realizadas com o objetivo de reabilitação do edifício em questão, e que as soluções dos sistemas técnicos não foram alteradas – esquentadores elétricos. Estes pontos podem implicar discrepâncias ao nível das necessidades nominais de energia primária, para aquecimento e/ou para arrefecimento.

### 5.3.2.2. Custo das soluções

A análise dos custos das soluções adotadas foi realizada segundo valores médios do mercado português, tendo por base o Gerador de Preços do CYPE e as folhas do REH das diferentes frações, (Tabela 50).

Tabela 50 – Custos das soluções de intervenção

Componente	Custo
Sistema ETICS com placas de EPS ( $\lambda=0,038$ ) de 5 cm de espessura	63,77 €/m <sup>2</sup>
Vidros simples de $g_{vi}=0,88$	27 €/m <sup>2</sup>

Assim, é possível chegar a uma conclusão sobre o custo aproximado da intervenção e o possível retorno do investimento, (Tabela 51).

Tabela 51 – Custos globais de intervenção

Medida	Custo (€)
Paredes	218000
Vãos envidraçados	55000

Por outro lado, ao analisar as folhas do REH das diferentes frações, é possível obter informações sobre a redução, em média, da fatura energética anual. Essa redução, decorrente da aplicação destas medidas, é de cerca de 233 €/ano por fração e, como era esperado, as frações do último piso são as mais beneficiadas com estas alterações, devido à intervenção na cobertura.



## 6

COMPARAÇÕES E  
CONSIDERAÇÕES FINAIS

## 6.1. CONSIDERAÇÕES ACERCA DAS SOLUÇÕES ADOTADAS

Posteriormente à avaliação das soluções adotadas, no que se refere ao cumprimento dos valores para edifícios novos – Portarias nº 349-B/2013 e nº 379-A/2015 e para edifícios a reabilitar – nova Portaria nº 297/2019, e ao custo que cada uma delas implica, é importante referir que essas mesmas soluções são, simplesmente, propostas com o intuito de cumprir os valores impostos por uma margem mínima, de maneira a evidenciar diferenças significativas no custo final. Não é, nem pretende ser, um guia com soluções recomendadas pelo autor, para cumprimento das exigências regulamentares.

## 6.2. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NO CASO DE ESTUDO 1

À luz do estudado no capítulo anterior, o que se pretende será fazer um estudo claro do que cada portaria impõe e de que forma essa imposição de valores se repercute nos custos finais dos elementos a intervencionar.

Neste caso de estudo, especificamente, e como abordado anteriormente, a intervenção deu-se ao nível das paredes exteriores, apenas com a colocação de isolamento pelo interior e colocação, posterior, de placas de gesso cartonado como revestimento interior. Os valores apresentados na (Tabela 52), apenas incluem o valor do isolamento (e acessórios necessários) visto que as placas de gesso cartonado seriam uma medida comum às duas reabilitações e os seus custos anular-se-iam.

Já ao nível dos envidraçados, a solução passou pela substituição dos vidros e oclusões existentes primeiramente, por dispositivos que cumprissem os valores de cada uma das portarias (soluções integralmente distintas entre si). Os valores apresentados dizem respeito a valores por m<sup>2</sup> de vidro acrescido dos valores das oclusões para cada janela do edifício.

Tabela 52 – Soluções de intervenção

Elemento	Descrição da intervenção	Custo para valores de edificação nova (€)	Custo para valores de reabilitação (€)
Paredes exteriores	Isolamento de 6 cm de espessura	2380	-
Paredes	Isolamento de 1 cm de espessura	-	1390

exteriores			
Vãos envidraçados	Vidro duplo + portadas de madeira claras /cortinas claras	24685	-
Vãos envidraçados	Vidro simples + cortinas claras/estores venezianos metálicos	-	12232
Custo total		27065	13622

Pela análise da (Tabela 52), conseguimos perceber que a expressão da diferença de custos é bastante significativa e apenas pela natureza do edifício, que não dispõe de mais elementos exteriores (coberturas e pavimentos), esta diferença não é maior, (Tabela 53).

Tabela 53 – Diferença de custos entre as soluções

Diferença de custos entre as soluções

Cerca de 13,5 mil euros

### 6.3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NO CASO DE ESTUDO 2

Neste caso de estudo, especificamente, e como abordado anteriormente, a intervenção deu-se ao nível das paredes exteriores, com a colocação de isolamento pelo exterior, de maneira a verificar os valores de U impostos pela Portaria nº 379-A/2015 para edificação nova. Em relação ao cumprimento de valores para a reabilitação descritos na Portaria nº 297/2019, a constituição da parede, só por si, já os verifica. Assim, os valores apresentados na tabela seguinte dizem respeito ao valor total da colocação do sistema ETICS, por m<sup>2</sup>, com os custos complementares que acarreta (nomeadamente, valores de acessórios necessários), separados em intervenção total e intervenção, apenas, ao nível das paredes que passaram de em contacto com o exterior para em contacto com ENU.

Já ao nível dos envidraçados, a solução passou pela substituição dos vidros e oclusões existentes primeiramente, por dispositivos que cumprissem os valores de cada uma das portarias contudo, como é conhecida a solução inicial dos dispositivos de oclusão – estores plásticos de cor clara colocados pelo exterior do vidro, o facto de as caixas de estore já serem parte do edifício revelou-se um ponto importante para se optar por manter este tipo de oclusão, tanto na solução que visa cumprir os valores para edificação nova, como na solução que visa o cumprimento dos valores para a reabilitação. Esta solução de oclusão, por apresentar um fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar ( $g_{Tvc}$ ) bastante baixo, baixa os valores do  $g_T$ , fazendo com que verifique os valores de  $g_{Tmáx}$  mais limitativos. Em relação à solução de reabilitação que consistiu no encerramento das varandas comuns por meio de vãos envidraçados, formando um solário, a única diferença de custos revelar-se-á, apenas, pelo tipo de vidro adotado – soluções iguais às soluções para envidraçados exteriores, para cada situação (edificação nova e reabilitação). Assim, os valores apresentados na (

Tabela 54) para os vãos envidraçados não incluem o valor dos estores plásticos nem dos dispositivos de oclusão dos envidraçados dos solários e apenas dizem respeito a valores por m<sup>2</sup> de vidro.

Tabela 54 – Custos entre as soluções

Elemento	Descrição da intervenção	Custo para valores de edificação nova (€)	Custo para valores de reabilitação (€)
Paredes exteriores e interiores	Intervenção ao nível das paredes em contacto com o exterior e das paredes em contacto com as caixas-de-escadas e solários	487000	-
Paredes interiores	Intervenção ao nível das paredes em contacto com as caixas-de-escadas e solários	-	218000
Vãos envidraçados exteriores e interiores	Vidro duplo + estores plásticos de cor clara	53000	-
Vãos envidraçados exteriores e interiores	Vidro simples + estores plásticos de cor clara	-	22000
Vãos envidraçados solário	Vidro duplo	77000	-
Vãos envidraçados solário	Vidro simples	-	33000
Custo total		617000	273000

Pela análise (

Tabela 54), conseguimos perceber que a expressão da diferença de custos é bastante significativa e apenas pela natureza do edifício, que não dispõe de mais elementos exteriores (coberturas e pavimentos), esta diferença não é maior. É de salientar a envergadura do conjunto de edifícios o que conduz, diretamente, a valores bastante significativos, (Tabela 55).

Tabela 55 – Diferença de custos entre as soluções

Diferença de custos entre as soluções

---

Cerca de 344 mil euros

---



# 7

## CONCLUSÕES

### 7.1. CONCLUSÕES GERAIS

A dissertação que agora se conclui permitiu obter um maior conhecimento da legislação energética aplicada a Portugal e à Europa, não só para edifícios a realizar como para edifícios pré-existentes que se pretende reabilitar.

Permitiu, também, pelo estudo dos projetos fornecidos pela empresa SOPSEC S.A. e pela estadia na mesma, um maior entendimento acerca da forma como uma empresa de projeto funciona, para além do contacto direto com as metodologias de cálculo prático que são aplicadas no domínio pós-académico, através da interação com as folhas de Excel do Regulamento para Edifícios de Habitação.

Foram postos em prática estudos técnico-económicos, assentes em projetos reais, em que foi possível a obtenção de soluções construtivas exequíveis por forma a fazer face aos novos valores limite dos coeficientes de transmissão térmica e de fatores solares, aplicáveis a cada situação descrita.

Eventualmente, existiram dificuldades em perceber quais as soluções iniciais dos edifícios e o que elas acarretam pois esses dados não foram fornecidos, contudo, tendo por base as regras de simplificação previstas no Despacho nº 15793-E/2013, esse contratempo foi ultrapassado.

Ainda a respeito dos estudos técnico-económicos, depois de se obter uma solução que cumprisse os valores para edificação nova (Portarias nº 349-B/2013 e nº 379-A/2015) e para reabilitação (Portaria nº 297/2019) para cada edifício/conjunto de edifícios, foi determinado o custo final de cada uma dessas soluções. Esses custos têm como objetivo, apenas, serem comparados, para cada exemplo, de modo a obter-se uma noção do que implicaria cumprir, para reabilitação, o previsto no regulamento para a construção nova.

Como se antevia, a aplicação de medidas de melhoria na envolvente dos edifícios, ainda que com custos, por vezes, avultados, melhora o balanço energético total e prevê reduções ao nível das faturas energéticas.

Em jeito de conclusão final, é fácil de perceber que as novas exigências para edifícios a reabilitar apresentam valores menos limitativos que os aplicados antes da publicação da Portaria nº 297/2019. Facto que, de certo modo, vem dar resposta à problemática existente que reiterava que aplicar valores tão limitativos como os de edificação nova à reabilitação não seria exequível. Finalmente, existem, agora, regulamentações distintas e que levam em consideração as problemáticas decorrentes de cada uma das finalidades.

## **7.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

Para desenvolvimentos futuros, sugere-se:

- Um estudo mais aprofundado da nova portaria para reabilitação – Portaria nº 297/2019, efetuando um estudo paramétrico;
- Obtenção de mais projetos de edifícios a reabilitar, de diferentes tipologias e soluções, nomeadamente, projetos que possuam um maior número de elementos em contacto com o exterior, de modo a obter uma variação de custos mais expressiva;
- Estudo de novas estratégias, técnica e economicamente viáveis, de modo a garantir a limitação de potenciais consumos de energia futuros em edifícios reabilitados e o conforto térmico dos seus ocupantes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] “acepe.pt,” [Online]. Available: <https://acepe.pt/o-rccte/>. [Acedido em 20 11 2019].
- [2] “ardiagnostic.pt,” [Online]. Available: <http://www.ardiagnostic.pt/leis/desempenhoenergeticoedificios.pdf>. [Acedido em 15 10 2019].
- [3] P. M. R. d. S. C. Borges, *Certificação Energética de Edifícios Existentes - Estudo Sobre a Melhoria do Desempenho Térmico das Paredes Exteriores e Respectiva Análise Técnico-Económica*, Dissertação de Mestrado, FEUP, 2009, p. 28.
- [4] T. e. C. Ministério das Obras Públicas, “Decreto-Lei n.º 79/2006,” *Diário da República Portuguesa*, pp. 2416 - 2468, 2006.
- [5] M. d. E. e. d. Inovação, “Decreto-Lei n.º 78/2006,” *Diário da República Portuguesa*, pp. 2411-2415, 2006.
- [6] “Decreto-Lei n.º 118/2013,” *Diário da República Portuguesa*, 2013.
- [7] “beissier.es,” [Online]. Available: <https://www.beissier.es/pt/professional/rehabilitação-fachadas/fachadas-isoladas/etics.html>. [Acedido em 20 12 2019].
- [8] “futureng.pt,” [Online]. Available: <http://www.futureng.pt/inercia-termica>. [Acedido em 14 12 2019].
- [9] casavivaobras.pt, [Online]. Available: <http://casavivaobras.pt/impermeabilizacoes-e-isolamentos>. [Acedido em 14 12 2019].
- [10] “geradordeprecos.info,” [Online]. Available: [http://www.geradordeprecos.info/obra\\_nova/](http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/). [Acedido em 11 18 2019].
- [11] T. M. T. V. Coelho, *Estudo do Impacto das Novas Exigências Regulamentares no Domínio da Energia em Edifícios de Habitação*, Dissertação de Mestrado, FEUP, 2016.