



Bruno Sousa Vieira

**Reabilitação Energética de Edifícios
Unifamiliares Visando a Neutralidade
Carbónica e a Resiliência às
Alterações Climáticas**

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Bruno Sousa Vieira

**Reabilitação Energética de Edifícios
Unifamiliares Visando a Neutralidade
Carbónica e a Resiliência às Alterações
Climáticas**

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação da
**Professora Doutora Sandra Maria Gomes Monteiro da
Silva**

Direitos de Autor e Condições de Utilização do Trabalho por Terceiros

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição

CC BY

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Agradecimentos

Com a realização desta dissertação de Mestrado, é indispensável referir o meu agradecimento a todas as pessoas que me acompanharam e ajudaram neste processo, que sem eles, tudo se tornaria mais difícil.

Primeiramente, agradecer aos meus pais, à minha irmã e à minha namorada por todo o apoio, amor e carinho que sempre me transmitiram. Desempenharam um papel essencial para que tudo fosse possível concretizar.

Aos meus familiares, pela força que sempre me transmitiram e pelos conselhos enriquecedores que me foram dando ao longo destes meses.

À minha orientadora, professora Sandra Silva, pela disponibilidade e ajuda prestada no desenvolvimento desta dissertação.

Aos meus amigos e colegas de curso, alguns em especial, com quem tive o privilégio de conviver ao longo destes anos, pelas vivências partilhadas.

Um enorme e sincero obrigado a todos!

Declaração de Integridade

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio, nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Reabilitação Energética de Edifícios Unifamiliares Visando a Neutralidade Carbónica e a Resiliência às Alterações Climáticas

Resumo

Os edifícios de habitação são estruturas fundamentais na vida dos utilizadores, onde estes passam uma grande parte do seu tempo. A importância do conforto no interior da habitação é clara, pois tem impacto no bem-estar físico e psicológico do utilizador. Atualmente, tendo em conta o parque habitacional envelhecido e ineficiente, um maior conforto no interior dos edifícios é sinónimo de um elevado consumo de energia, que implica gastos excessivos como um grande impacto no meio ambiente por meio da libertação de gases com efeito de estufa. Em Portugal, o setor da construção apresenta-se como um grande consumidor, tanto na fase de construção como na fase de utilização. Desta forma, Portugal apresenta um parque habitacional envelhecido e ineficiente termo-energeticamente, que possui um elevado potencial de reabilitação. A presente dissertação teve como objetivo estudar um edifício unifamiliar isolado, representativo do parque habitacional português, considerando a sua localização em três cidades com exigências diferentes (Lisboa, Beja e Bragança) e comparar os resultados obtidos após a sua conversão num edifício com necessidades energéticas quase nulas (nZEB). Um dos principais objetivos, do estudo desenvolvido foi tornar o edifício num edifício de alto desempenho e classificação energética. Desta forma, foram definidos 3 cenários de reabilitação possíveis, de forma que cumpram os requisitos nZEB, comparando-os com o Cenário 0, que corresponde a uma situação de realização apenas de obras de manutenção do edifício, sendo efetuada uma simulação sazonal com recurso metodologia de cálculo do desempenho energético definida no Sistema de Certificação Energética dos edifícios (Decreto-Lei nº 101-D/2020). Com a análise realizada, foi possível perceber o elevado consumo energético que o edifício existente, ou se fosse sujeito apenas a obras de manutenção, apresentava, classificado com Classe Energética F, que passou para Classes Energéticas A e A+, com rácios de desempenho energéticos inferiores a 0,50, tal como exigido para edifícios nZEB. As análises dos cenários de reabilitação considerados indicaram melhorias significativas no desempenho termo-energético do edifício, apesar dos elevados custos associados à reabilitação (entre 104000 € e 120000 €), com reduções de consumos energéticos entre 80% e 90%, com períodos de retorno do investimento entre os 25 anos para Lisboa e menos de 10 anos em Bragança. A reabilitação do edifício permite mitigar a situação de pobreza de uma família (com um casal auferindo o salário médio nacional), passando de um dispêndio de 36%, 21% e 15% do orçamento familiar antes da reabilitação, para 6%, 4% e 2%, após a reabilitação, para Bragança, Beja e Lisboa, respetivamente.

Palavras-chave: Eficiência Energética; nZEB; Pobreza Energética; Reabilitação Energética

Energy Renovation of Single Family Building for Carbon Neutrality and Resilience to Climate Change

Abstract

Residential buildings are fundamental structures in the lives of users, where they spend a large part of their time. The importance of indoor comfort is clear, as it has an impact on the user's physical and psychological well-being. Currently, in view of the aging and inefficient housing stock, greater comfort inside buildings is synonymous with high energy consumption, which implies excessive spending and a major impact on the environment through the release of greenhouse gases. In Portugal, the construction sector is a major consumer, both in the construction phase and in the use phase. As a result, Portugal has an aging and thermo-energetically inefficient housing stock, which has a high potential for rehabilitation. The aim of this dissertation was to study an isolated single-family building, representative of the Portuguese housing stock, considering its location in three cities with different requirements (Lisbon, Beja and Bragança) and to compare the results obtained after its conversion into a building with almost zero energy needs (nZEB). One of the main objectives of the study was to turn the building into a high-performance, energy-rated building. In this way, three possible refurbishment scenarios were defined in order to meet the nZEB requirements, comparing them with Scenario 0, which corresponds to a situation where only maintenance work is carried out on the building, and a seasonal simulation was carried out using the energy performance calculation methodology defined in the Energy Certification System for buildings (Decree-Law no. 101-D/2020). With the analysis carried out, it was possible to see the high energy consumption of the existing building, or if it were only subject to maintenance work, classified as Energy Class F, which was changed to Energy Classes A and A+, with energy performance ratios of less than 0.50, as required for nZEB buildings. Analysis of the refurbishment scenarios considered indicated significant improvements in the building's thermal-energy performance, despite the high costs associated with the refurbishment (between €104,000 and €1,200,000), with reductions in energy consumption of between 80% and 90%, with payback periods of between 25 years for Lisbon and less than 10 years in Bragança. The rehabilitation of the building helps to alleviate the poverty situation of a family (with a couple earning the national average wage), from spending 36%, 21% and 15% of the family budget before the rehabilitation, to 6%, 4% and 2% after the rehabilitation, for Bragança, Beja and Lisbon, respectively.

Keywords: Energy Efficiency; nZEB; Energy Poverty; Energy Rehabilitation

ÍNDICE

1.	Introdução	1
1.1	Enquadramento ao Tema.....	1
1.2	Objetivos	3
1.3	Organização e Estrutura do Trabalho.....	3
2.	Estado da Arte	5
2.1	Enquadramento Europeu	5
2.2	Enquadramento Legislativo em Portugal.....	6
2.3	Situação Energética em Portugal.....	8
2.4	Caminho para Edifícios nZEB – Reabilitação Energética.....	12
2.5	Alterações Climáticas na Europa e em Portugal.....	13
3.	Caso de Estudo.....	16
3.1	Apresentação do Caso de Estudo	16
3.2	Caracterização do Edifício	17
3.3	Análise Climática dos Locais em Estudo.....	18
3.3.1	Entorno e Clima	18
3.3.2	Enquadramento Climático	20
3.3.3	Parâmetros Climáticos.....	20
3.4	Caracterização dos Espaços e Envolventes.....	21
3.5	Cenários de Reabilitação e Exigências Regulamentares.....	27
3.5.1	Cenário 0 – Manutenção do Interior do Edifício.....	27
3.5.2	Primeiro Cenário de Reabilitação	29
3.5.3	Segundo Cenário de Reabilitação.....	34
3.5.4	Terceiro Cenário de Reabilitação.....	38
4.	Análise dos Resultados Obtidos.....	41

4.1	Cenários com Localização em Lisboa	42
4.1.1	Cenário 0	43
4.1.2	1º Cenário.....	44
4.1.3	2º Cenário.....	44
4.1.4	3º Cenário.....	45
4.2	Cenários com Localização em Beja	45
4.2.1	Cenário 0	46
4.2.2	1º Cenário.....	47
4.2.3	2º Cenário.....	48
4.2.4	3º Cenário.....	49
4.3	Cenários com Localização em Bragança	50
4.3.1	Cenário 0	51
4.3.2	1º Cenário.....	52
4.3.3	2º Cenário.....	52
4.3.4	3º Cenário.....	53
4.4	Redução da Pobreza Energética	55
4.5	Medidas de Adaptação e Mitigação às Alterações Climáticas	58
5.	Considerações Finais e Trabalhos Futuros.....	60
5.1	Trabalhos Futuros.....	62
	Referências	63
	Anexo I – Anos Meteorológicos de Referência Exemplo- Lisboa	66
	Anexo II – Plantas.....	67
	Anexo III – Propostas de Orçamentos para cada Cenário.....	69

Lista de Abreviaturas e Siglas

G_{sul}	Energia solar média mensal durante a estação, recebida numa superfície vertical orientada a Sul
a	Declive
A_i	Área do pavimento em contacto com o solo medida pelo interior do edifício [m ²]
A_p	Área interior útil do pavimento [m ²]
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
AQS	Águas quentes sanitárias
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
b_{ztu}	Coefficiente de redução de perdas
DEE	Determinação do Desempenho Energético dos Edifícios
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
ELPRE	Estratégia de Longo Prazo para a Renovação dos Edifícios
ENAAC	Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas
ENRAC	Estratégia Nacional de Resiliência às Alterações Climáticas
ENU	Espaços não úteis
EPBD	Diretiva de Desempenho Energético dos Edifícios, acrónimo do inglês <i>Energy Performance of Buildings Directive</i>
F_h	Fator de sombreamento do horizonte
FER	Fontes de Energia Renovável
GD	Número de graus-dias na base de 18°C, correspondente à estação convencional [°C]
GEE	Gases de Efeito de Estufa
H_{ecs}	Coefficiente de transferência de calor por transmissão através de elementos em contacto com o solo [W/°C]
H_{ext}	Coefficiente de transferência de calor por transmissão através de elementos da envolvente em contacto com o exterior [W/°C]
I_{sol}	Energia solar acumulada durante a estação, recebida na horizontal (inclinação 0°) e em superfícies verticais (inclinação 90°) para os quatro pontos cardeais e os quatro colaterais [kWh/m ²]
I_t	Massa superficial útil por metro quadrado de área interior útil de pavimento [kg/m ²]

IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
L_v	Duração da estação de arrefecimento [h]
M	Duração da estação de aquecimento [meses]
M_{si}	Massa superficial útil do elemento i [kg/m^2]
N_{ic}	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento [$\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$]
N_{tc}	Necessidades nominais anuais globais de energia primária [$\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$]
N_{vc}	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento [$\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$]
NUTS	Nomenclatura das Unidades Territoriais para fins Estatísticos
nZEB	Edifícios com necessidades de energia quase nulas, acrónimo do inglês <i>nearly Zero-Energy Building</i>
P-3AC	Programa de Ação para a Adaptação às Alterações Climáticas
PAES	Programa de Apoio a Edifícios mais Sustentáveis
PNAAC	Plano Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas
PNAC	Programa Nacional para as Alterações Climáticas
PNEC	Plano Nacional Energia e Clima 2030
PTL	Pontes Térmicas Lineares
PV	Painéis Fotovoltaicos
$Q_{sol,v}$	Ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar [kWh/ano]
R/C	Rés do Chão
r_i	Fator de redução da massa superficial útil do elemento i
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
REH	Regulamento dos Edifícios de habitação
Ren_{Hab}	Indicador de energia primária renovável em edifícios de habitação [%]
R_{NT}	Desempenho energético do edifício
S_i	Área da superfície interior do elemento i [m^2]
SCE	Certificação Energética dos Edifícios
ST	Sistemas Solares Térmicos
U	Coeficiente de transmissão térmica [$\text{W}/\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$]
UE	União Europeia
X	Valores dos parâmetros climáticos
X_{REF}	Valores de referência
z	Altitude do edifício

Z_{REF}	Altitude de referência
α_{sol}	Absortância solar
$\theta_{ext,v}$	Temperatura exterior média [°C]
ψ	Coeficiente de transmissão térmica linear [W/m.°C]

Lista de Figuras

Figura 1: Legislação Anterior (Fonte: SCE).....	7
Figura 2: Objetivos de Redução dos GEE (Fonte: Instituto Nacional de Estatística 2022)	8
Figura 3: Produção Anual de Energia Elétrica com Base em FER, em Portugal (Fonte: DGEG, 2023)..	10
Figura 4: Distribuição da Potência Instalada por Tecnologia e NUTS II em 2023 (Fonte: DGEG, 2023)	11
Figura 5: Temperatura e Precipitação Anual em Portugal Continental 1941-2021 (Fonte: IPMA, 2022)	15
Figura 6: Vista Geral do Caso de Estudo.....	16
Figura 7: Planta do R/C.....	17
Figura 8: Planta do Piso 1.....	18
Figura 9: Temperaturas Médias Mensais para Lisboa, Beja e Bragança (Fonte: SCE.CLIMA)	19
Figura 10: R/C, Indicação dos Espaços Úteis  e não Úteis 	22
Figura 11: Planta Piso 1, Indicação dos Espaços Úteis  e não Úteis 	23
Figura 12: Cobertura, Indicação dos Espaços Úteis  e não Úteis 	23
Figura 13: Indicação do tipo de Envolvente no piso R/C	25
Figura 14: Indicação do Tipo de Envolvente no Piso 1	26
Figura 15: Indicação do tipo Envolvente no Corte Transversal.....	26
Figura 16: Indicação do tipo de Envolvente no Corte Longitudinal	27
Figura 17: Ângulo de Horizonte α (Fonte: Manual SCE, 2021).....	32
Figura 18: Ângulo por Elementos Horizontais (esquerda) e Elementos Verticais (direita) (Fonte: Manual SCE, 2021)	32
Figura 19: Ponte Térmica Plana (fonte: ITeCons).....	37
Figura 20: Indicadores de Aquecimento (Lisboa)	43
Figura 21: Indicadores de Arrefecimento (Lisboa).....	43
Figura 22: Indicadores de Aquecimento (Beja)	49
Figura 23: Indicadores de Arrefecimento (Beja)	50
Figura 24: Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil para Aquecimento	51
Figura 25: Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil para Arrefecimento.....	51
Figura 26: Indicadores de Aquecimento (Bragança).....	54
Figura 27: Indicadores de Arrefecimento (Bragança)	54
Figura 28: Transferências de Calor Através da Envolvente	61

Figura 29: Ganhos Térmicos Através da Radiação Solar	61
Figura 30: Anos Meteorológicos de Referência - Lisboa.....	66
Figura 31: Planta do Piso R/C	67
Figura 32: Planta do Piso 1.....	68

Lista de Tabelas

Tabela 1: Zonas Climáticas de Inverno	20
Tabela 2: Zonas Climáticas de Verão.....	20
Tabela 3: Parâmetros Climáticos para Estação de Aquecimento	21
Tabela 4: Parâmetros Climáticos para Estação de Arrefecimento	21
Tabela 5: Condições Fronteira	24
Tabela 6: Caracterização dos Espaços Não Úteis	24
Tabela 7: Coeficiente de Redução	25
Tabela 8: Descrição dos Elementos Construtivos Presentes no Edifício	28
Tabela 9: Descrição dos elementos Envidraçados.....	28
Tabela 10: Descrição dos Elementos Construtivos de Cenário de Reabilitação 1 (Continua)	29
Tabela 11: Descrição dos Elementos Construtivos do Cenário de Reabilitação 1 (Conclusão)	30
Tabela 12: Classes de Inércia Térmica.....	31
Tabela 13: Descrição dos Elementos Envidraçados	31
Tabela 14: Pontes Térmicas Lineares.....	33
Tabela 15: Descrição dos Elementos Construtivos do Cenário de Reabilitação 2 (Continua)	35
Tabela 16: Descrição dos elementos Construtivos do Cenário de Reabilitação 2 (Conclusão)	36
Tabela 17: Descrição dos Elementos Envidraçados	36
Tabela 18: Descrição dos Elementos Construtivos do Cenário de Reabilitação 3 (Continua)	38
Tabela 19: Descrição dos Elementos Construtivos do Cenário de Reabilitação 3 (Conclusão)	39
Tabela 20: Descrição dos Elementos Envidraçados	39
Tabela 21: Indicadores Energéticos.....	41
Tabela 22: Indicadores Energéticos do Edifício, Lisboa	42
Tabela 23: Indicadores de Desempenho do Edifício, Lisboa	42
Tabela 24: Indicadores Energéticos do Edifício, Beja	46
Tabela 25: Indicadores de Desempenho do Edifício, Beja	47
Tabela 26: Comparação Indicadores Energéticos 1º cenário (Lisboa, Beja)	48
Tabela 27: Comparação Indicadores Energéticos 2º cenário, (Lisboa, Beja)	48
Tabela 28: Comparação Indicadores Energéticos 3º cenário (Lisboa, Beja)	49
Tabela 29: Indicadores Energéticos do Edifício, Bragança.....	52
Tabela 30: Indicadores de Desempenho do Edifício, Bragança	53

Tabela 31: Consumo e Gastos Energéticos Médios Anuais	56
Tabela 32: Valores das Propostas de Orçamentos dos Cenários de Reabilitação	57
Tabela 33: Cálculo Tempo de Retorno do Investimento	57
Tabela 34: Proposta de Orçamento do 1º Cenário de Reabilitação (Continua)	69
Tabela 35: Proposta de Orçamento do 1º Cenário de Reabilitação (Conclusão).....	70
Tabela 36: Proposta de Orçamento do 2º Cenário de Reabilitação (Continua)	70
Tabela 37: Proposta de Orçamento do 2º Cenário de Reabilitação (Conclusão).....	71
Tabela 38: Proposta de Orçamento do 3º Cenário de Reabilitação (Continua)	72
Tabela 39: Proposta de Orçamento do 3º Cenário de Reabilitação (Conclusão).....	73

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento ao Tema

Cada vez mais a sociedade é alertada para a implementação de medidas para melhorar o desempenho termo-energético dos edifícios, para reduzir os consumos energéticos, melhorar as condições de conforto térmico, mitigando a pobreza energética.

Segundo o Relatório sobre a evolução do quadro regulamentar europeu para a eficiência dos edifícios, estima-se que atualmente 97% dos edifícios na Europa não são energeticamente eficientes e apenas 11% do parque imobiliário existente é objeto de algum tipo de renovação todos os anos (BPIE 2021). Tendo em conta a reduzida taxa anual ponderada de renovação energética de apenas 1% e uma taxa de renovação profunda de 0,2% por ano, são necessários séculos para reduzir as emissões de carbono no setor dos edifícios. A par da problemática referida anteriormente, e de forma a atingir a neutralidade climática até 2050, definida pela União Europeia (UE), é necessário aumentar a taxa anual de renovação para 3% globalmente, com as grandes renovações profundas a representarem 70% do total (BPIE 2021). Em Portugal, 88% do parque habitacional existente foi construído antes de 2001 (Instituto Nacional de Estatística, 2022), o que permite concluir que existe um parque habitacional muito envelhecido que não apresenta um desempenho termo-energético capaz de oferecer o conforto exigido aos ocupantes, assim como é incapaz de assegurar a eficiência energética dos edifícios.

O setor dos edifícios na União Europeia (UE) é responsável por 36% das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) relacionadas com a energia (BPIE 2021). De modo a conseguir uma redução global de 55% dessas emissões até 2030 em comparação com os níveis da década de 1990, o setor dos edifícios deve diminuir as emissões em 60% até 2030 em comparação com 2015 (BPIE 2021).

O aquecimento e arrefecimento dos edifícios representam 40% de toda a energia consumida na União Europeia (Parlamento Europeu 2023). Tendo isto em consideração, em julho de 2023, o Parlamento Europeu aprovou novas regras para impulsionar a poupança de energia, sendo que os Estados-Membros devem assegurar coletivamente uma redução do consumo de energia de, pelo menos, 11,7% até 2030 (Parlamento Europeu 2023). Até ao final de 2030, os países deverão também registar uma poupança anual de energia de 1,5% (em média) (Parlamento Europeu 2023). O Parlamento Europeu está a cingir-se a três regras de ouro para melhorar o desempenho energético dos edifícios de forma a atingir um parque imobiliário com zero emissões até 2050. Estas regras incluem: estratégias de renovação, a

exigência de todos os novos edifícios da UE produzirem zero emissões a partir de 2030 e a instalação de painéis solares em novos edifícios (Parlamento Europeu 2023).

De forma a reduzir as emissões, a UE pretende que os Países-Membros se foquem no desenvolvimento de fontes de energia limpas como alternativas aos combustíveis fósseis. Atualmente, mais de 20% da energia consumida na UE provém de fontes de energia renováveis. Em dezembro de 2022, os Eurodeputados exigiram que as licenças para o funcionamento de centrais de energia renovável sejam emitidas mais rapidamente, incluindo para o uso de painéis solares e parques eólicos. Levantaram ainda a questão do reforço do hidrogénio renovável e da utilização de energia das ondas, tendo como principal objetivo eliminar progressivamente infraestruturas de gás natural. As novas regras visam aumentar a quota de energias renováveis no consumo final de energia da UE para 42,5% até 2030, enquanto os países da UE devem ter como objetivo 45% (Parlamento Europeu 2023).

Tendo em conta o parque habitacional ineficiente e envelhecido existente na União Europeia, que continuará a ser utilizado nas próximas décadas, foi necessário definir medidas a adotar para atingir os objetivos definidos pela UE. Para 2050, a União Europeia está empenhada em desenvolver um sistema energético sustentável, concorrencial e descarbonizado. Para isso os Estados-Membros precisam de implementar medidas destinadas a atingir o objetivo a longo prazo relativo às emissões de gases de efeito de estufa e a descarbonizar o parque imobiliário considerando o cenário das alterações climáticas (Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia 2018a).

O Plano Nacional Energia e Clima 2030 (PNEC) e a Estratégia de Longo Prazo para a Renovação dos Edifícios (ELPRE) definiram metas ambiciosas para que o parque imobiliário passe a ter necessidades quase nulas de energia. Estas metas focam-se nos sistemas técnicos de aquecimento, arrefecimento ou ventilação e na situação dos edifícios com maiores necessidades energéticas, sugerem sistemas de automatização e controlo, tendo em conta o seu potencial para a racionalização dos respetivos consumos de energia mediante o funcionamento económico, seguro e eficiente, do ponto de vista energético. Propõem uma transformação e um desenvolvimento de parques edificados modernos interligados com as redes energéticas e a mobilidade limpa, com níveis de conforto adequados ao contexto local e climático onde se inserem, assentes em tecnologias inteligentes e com um nível de desempenho elevado que permita satisfazer as necessidades dos seus ocupantes com um reduzido impacto energético. Por fim, estabeleceram a concessão ou atribuição de medidas e incentivos financeiros para a renovação dos edifícios abrangidos, com incidência na melhoria do respetivo desempenho energético, em função das melhorias obtidas, ou do desempenho energético das soluções construtivas ou equipamentos utilizados (Presidência do Conselho de Ministros 2020).

1.2 Objetivos

A presente dissertação tem como principal objetivo identificar medidas de reabilitação adequadas a edifícios unifamiliares pertencentes ao parque habitacional português, mais eficientes, de modo a dar resposta às exigências regulamentares de eficiência energética e de conforto, bem como de transformar o parque habitacional em edifícios com necessidades quase nulas de energia (nZEB, *nearly Zero Energy Building*), visando a descarbonização do parque edificado, tal como definido a nível Europeu. Estas soluções, devem ser definidas em função da zona climática onde o edifício está inserido e serem resilientes às alterações climáticas.

De forma a cumprir os objetivos pretendidos, foram definidos vários cenários de reabilitação e avaliado o seu impacto no desempenho energético do edifício, caso de estudo, considerado, em três localidades (Lisboa, Beja e Bragança), o que permite perceber as exigências associadas às condições climáticas locais. A análise de cada cenário foi realizada seguindo a metodologia definida pelo Sistema de Certificação Energética de edifícios de habitação, usando a ferramenta de cálculo disponibilizada pelo ITeCons e o software SCE.ER referente a dados e cálculos para aproveitamento de Energias Renováveis em edifícios disponibilizado pela Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG).

O caso de estudo selecionado é um edifício de habitação unifamiliar representativo do parque habitacional português, construído em 1980, sendo definidas soluções para o reforço do isolamento térmico da envolvente, para os sistemas de climatização (AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado), produção de Água Quente Sanitária (AQS), e para os sistemas de produção de energia a partir de fontes renováveis (Sistemas Solares Térmicos, ST, e fotovoltaicos, PV).

Para avaliar a resiliência do edifício reabilitado com as soluções propostas às alterações climáticas optou-se por realizar uma análise qualitativa onde se teve em conta as medidas de adaptação e mitigação, segundo a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) às alterações climáticas, avaliando se as soluções definidas cumprem ou não as medidas de adaptação impostas pela APA, que complementam os trabalhos realizados no contexto da Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas (ENAAC).

1.3 Organização e Estrutura do Trabalho

A presente dissertação está dividida em 5 capítulos, sendo eles a introdução, o estado da arte, o caso de estudo, análise dos resultados obtidos, e por fim as considerações finais.

O primeiro capítulo engloba o enquadramento do tema abordado ao longo da dissertação e os objetivos da mesma, as atividades desenvolvidas e onde são identificadas as ferramentas informáticas utilizadas.

O segundo capítulo inicia-se com o enquadramento europeu e a resposta de Portugal às Diretivas lançadas pela União Europeia, introduz-se ainda a situação energética em Portugal na atualidade, bem como o caminho para edifícios nZEB e a situação das alterações climáticas na Europa e em Portugal.

O capítulo três, foca-se na apresentação do caso de estudo e nos cenários de reabilitação pensados. Primeiramente, obtém-se os dados para as três localizações climáticas do edifício, de seguida precede-se à caracterização dos espaços existentes no caso de estudo e por fim, as características dos elementos construtivos associados a cada cenário de reabilitação proposto e as respetivas exigências regulamentares são apresentadas, para cada elemento da envolvente.

No quarto capítulo, são apresentados e analisados os dados fornecidos pela folha de cálculo do ITeCons fazendo uma análise de cada cenário para cada localidade em estudo, com o intuito de responder aos objetivos traçados.

Por último, no capítulo cinco, apresentam-se as conclusões finais com o cenário mais rentável para cada localização e a opção de realizar trabalhos futuros de modo a desenvolver mais o tema apresentado em com a utilização de outro programa de simulação.

2. ESTADO DA ARTE

2.1 Enquadramento Europeu

Segundo dados da Comissão Europeia, o setor da construção é responsável por cerca 40% do consumo energético europeu e cerca de 36% da emissão de gases de efeito de estufa, o que indicia o contributo que os edifícios podem oferecer para o combate às alterações climáticas através de ganhos de eficiência energética (Diário Da República, 1.ª Série PRESIDÊNCIA DO CONSELHO DE MINISTROS, n.d.). De modo a reforçar o potencial dos edifícios para o combate às alterações climáticas, é de salientar que cerca de metade da energia final consumida na União Europeia é destinada ao aquecimento e arrefecimento, daí um maior foco da parte da UE na reabilitação do parque edificado (Cardoso 2022).

Antes da primeira regulamentação relativa ao desempenho energético dos edifícios imposta pela UE, alguns países pertencentes à UE, tendo em conta a necessidade de cada um deles, foram pioneiros na introdução de normas destinadas a melhorar a eficiência energética e o desempenho térmico de construções, antes da regulamentação referida. Trata-se de países localizados no norte da Europa, como por exemplo a Dinamarca que foi um dos países líderes na implementação de regulamentações térmicas desde a década de 1960 e a Alemanha, Suécia e os Países Baixos desde a década de 1970. Estes países sentiram-se na obrigação de introduzir regulamentações térmicas como resposta à crise energética, na década de 1970, e às crescentes preocupações ambientais. As ações destes países influenciaram o desenvolvimento de regulamentações semelhantes noutros países da União Europeia ao longo das décadas seguintes.

A nível da União Europeia, a primeira norma a ser estabelecida foi a Diretiva Europeia 2002/91/CE (EPBD, Diretiva relativa ao desempenho energético dos edifícios, acrónimo do inglês *Energy Performance of Buildings Directive*), onde foram estabelecidos requisitos mínimos de desempenho energético para novos edifícios ou edifícios sujeitos a grandes renovações (Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia 2002).

A 19 de maio de 2010 foi publicada a Diretiva 2010/31/UE que reformulou a Diretiva 2002/91/CE, para simplificar, clarificar e reforçar determinadas disposições, tendo como objetivo o aproveitamento do potencial de redução do custo operacional dos edifícios e o aumento da eficiência energética. Esta diretiva defendia a redução das emissões de gases de efeito de estufa em cerca de 20% em relação aos valores apresentados em 1990 até 2020 (Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia 2010). Com isto,

a UE estabeleceu o compromisso de substituir gradualmente o uso de combustíveis fósseis por energias provenientes de fontes renováveis e o uso de equipamentos com melhor eficiência energética (Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia 2010).

Para além dos objetivos já referidos, a Diretiva 2010/31/UE apresenta também metas em relação aos edifícios com necessidades quase nulas de energia (nZEB), ou seja, um edifício com um desempenho energético muito elevado, em que as necessidades de energia quase nulas ou muito reduzidas deverão ser cobertas em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis, incluindo energia proveniente de fontes renováveis produzida no local ou nas proximidades. Esta diretiva definia que (Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia 2010):

- O mais tardar em 31 de dezembro de 2020 todos os edifícios novos deveriam ser edifícios com necessidades quase nulas de energia;
- Após 31 de dezembro de 2018, os edifícios novos ocupados e detidos por autoridades públicas deveriam ser edifícios com necessidades quase nulas de energia.

Em 2018, foi aprovada a Diretiva 2018/844 (EPBD) de modo a aumentar a descarbonização do parque imobiliário e independência energética da UE, esta Diretiva, estabeleceu novas metas a curto, médio e longo prazo (2030, 2040 e 2050 respetivamente). Esta Diretiva apresenta como principais objetivos a redução, em pelo menos, 40% na emissão dos gases com efeito de estufa até 2030 e entre 80% e 95% até 2050, em comparação com os valores apresentados em 1990 (Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia 2018b). As metas da Diretiva 2018/844 foram alteradas pela Lei Europeia do Clima que transformou em obrigação vinculativa o compromisso político do Pacto Ecológico Europeu de levar a UE à neutralidade climática até 2050. A Lei Europeia do Clima aumentou a meta de redução de emissões para 2030 de 40% para pelo menos 55%, podendo ainda subir para 57% (Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia 2021).

2.2 Enquadramento Legislativo em Portugal

Em Portugal, a primeira regulamentação relativa à eficiência energética dos edifícios foi o Decreto-Lei n.º 40/90. Este documento constituiu uma primeira base regulamentar e pressuposto essencial à adoção de outras medidas quanto à utilização da energia nos edifícios e corresponde ao imperativo de aproximação às políticas comunitárias neste domínio (Ministério das Obras Públicas 1990).

Com a publicação das diretivas europeias referidas na Secção 2.1, sendo Portugal um Estado-Membro da UE, foi obrigado a transpor as Diretivas para a legislação nacional. A transposição da Diretiva

2002/91/CE, deu origem ao Decreto-Lei n.º 78/2006 que aprovou o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios, ao Decreto-Lei n.º 79/2006 que aprovou o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, e ao Decreto-Lei n.º 80/2006 que aprovou o Regulamento das Características de comportamento Térmico dos Edifícios.

A Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, foi transposta para a ordem jurídica nacional através do Decreto-Lei n.º 118/2013, que visava assegurar e promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios através do Sistema de Certificação energética dos Edifícios (SCE), que integra o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

A Diretiva 2018/844/UE, e parcialmente a Diretiva (UE) 2019/944, foram transpostas para ordem jurídica nacional através do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro. Este Decreto-Lei estabelece os requisitos aplicáveis à conceção e renovação de edifícios, promovendo e assegurando a melhoria do respetivo desempenho energético através do estabelecimento de requisitos e regula o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE).

Na Figura 1 está representada a evolução das normas portuguesas em resposta à regulamentação exigida pela União Europeia.

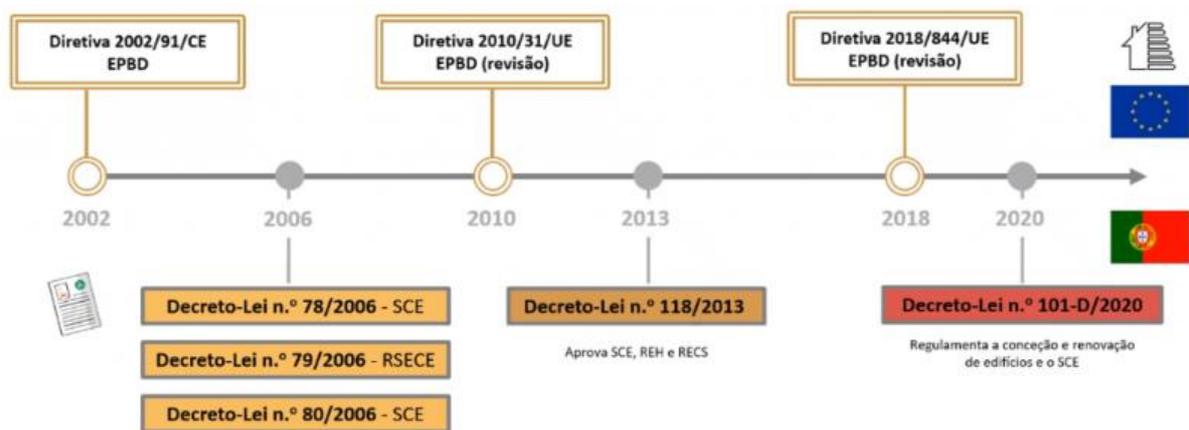


Figura 1: Legislação Anterior (Fonte: SCE)

Em 2020, Portugal elaborou o Plano Nacional Integrado de Energia e Clima para o horizonte 2030 (PNEC 2030). O PNEC 2030 estabelece como metas nacionais a redução entre 45% a 55%, Figura 2, das emissões de GEE por referência às emissões registadas no ano de 2005, incorporação 47% de energia de fontes renováveis no consumo final bruto de energia, atingir uma redução de 35% do consumo de energia primária com vista a uma melhor eficiência energética e atingir 15% de interligações de eletricidade (APA 2023b).

Na Figura 2, é possível observar que as metas nacionais de redução de GEE, foram cumpridas, tendo sido estabelecido um valor entre os 18% e os 23% e conseguido alcançar uma redução de 33% (APA 2021e). No ano de 2021, Portugal continuou a reduzir as emissões de GEE em 0,9%, relativamente ao valor de 2020 (Instituto Nacional de Estatística 2022).



Figura 2: Objetivos de Redução dos GEE (Fonte: Instituto Nacional de Estatística 2022)

2.3 Situação Energética em Portugal

Em Portugal no ano de 2022, 58,1% das habitações avaliadas, no âmbito do Sistema de Certificação Energética de edifícios, tiveram uma classificação energética entre C e F, sendo que a escala é composta por 8 níveis e inicia no A+ (mais eficiente) e termina no F (menos eficiente) (SCE 2022). Sendo o parque habitacional português muito envelhecido, em nada contribui para o melhoramento das classificações energéticas sem uma reabilitação do edificado, pois, uma grande parte dos edifícios existentes não são capazes de cumprir os requisitos de qualidade dos edifícios, não assegurando a eficiência energética e o conforto dos mesmos.

As baixas classificações energéticas no parque edificado levantam outra questão que está, cada vez mais, presente na população portuguesa: a Pobreza Energética.

Não há uma definição oficial comum da Pobreza Energética. Em geral, considera-se que uma família está numa situação de pobreza energética quando necessita gastar mais de 10% do seu rendimento em energia de modo a assegurar uma temperatura de conforto no interior da habitação (DGEG 2020b). Em Portugal, por ser um dos países com menores rendimentos e elevados custos com a energia, muitas famílias aquecem durante poucas horas, ou não aqueçam de todo as suas habitações, vivendo cerca de 1,8 a 3 milhões de pessoas em situação de pobreza energética, onde 609 mil a 660 mil se encontram em pobreza energética severa (Governo da República Portuguesa 2022).

A situação de pobreza energética, ou seja, de ter uma habitação fria, acarreta riscos para a saúde de cada ocupante. As principais consequências do frio dentro da habitação prendem-se com os efeitos diretos da temperatura e da circulação do ar, mas também com a humidade e possibilidade de

acumulação de bolor. O sistema respiratório acaba por ser o mais afetado, principalmente no caso de pessoas com asma ou doença pulmonar crónica, que pode vir a agravar-se com a exposição ao frio no interior da habitação. O sistema circulatório também é atingido pelo frio, nomeadamente devido ao aumento da pressão arterial, potenciando o aparecimento de doenças cardiovasculares. O risco de infeções e perturbações da saúde mental, estão frequentemente associados a habitações com pouco conforto térmico (SNS 2023).

Sendo Portugal um país onde existe um número significativo de agregados familiares em situação de pobreza energética, foi incluído no Plano Nacional de Energia e Clima (PNEC) um objetivo nacional indicativo de redução da pobreza energética no período 2022-2050. Assim, a Estratégia de Longo Prazo de Combate à Pobreza Energética 2023-2050 tem como objetivo reduzir a população a viver em agregados familiares sem capacidade para manter a casa adequadamente aquecida a 10% para 2030, 5% para 2040 e <1% em 2050 (Governo da República Portuguesa 2022).

Para além da mitigação da pobreza energética, também a produção de energia através de fontes renováveis é tomada como um objetivo a atingir nos próximos anos, estando neste momento a passar por uma transformação significativa em relação à situação energética do país, representando as mesmas uma parcela substancial da produção total de energia elétrica do país. No contexto do PNEC 2030, foi estabelecido o objetivo ambicioso de incorporar 47% de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto de energia, que por outro lado, a transição para fontes de energia renovável visa mitigar os impactos adversos das emissões de gases de efeito de estufa (Governo da República Portuguesa 2019b).

Atualmente, a produção doméstica de energia primária em Portugal baseia-se, quase na totalidade, em fontes de energia renovável (FER), proveniente de recursos naturais que se renovam de forma natural e regular, como: água, vento, biomassa, Sol e calor da Terra (APA 2023a). A produção de energia a partir de fontes renováveis reduz a necessidade de importar combustíveis fósseis, como, por exemplo, gás natural, reduzindo a dependência energética do país e a emissão de gases com efeito de estufa.

De outubro de 2022 a setembro de 2023, a produção de energia elétrica a partir de fontes de energia renováveis correspondeu a 63% do total da produção bruta, onde 75% da produção de eletricidade de origem renovável foi obtida através das tecnologias eólica e hídrica sendo estas responsáveis por 76,6% da capacidade instalada (DGEG 2023). Comparativamente ao ano de 2021, em 2022 a produção fotovoltaica subiu 57,3%, assim como a produção a partir da biomassa 2,6% (DGEG 2023). Em 2021, Portugal foi o quarto país da União Europeia com maior incorporação de FER na produção de energia elétrica, sendo as fontes de energia eólica e hídrica as que mais contribuíram para esta posição.

Na Figura 3 é possível observar a evolução e contribuição da produção de energia elétrica com base em fontes de energia renovável, em Portugal. Desde o ano de 2017 a produção fotovoltaica tem vindo a aumentar enquanto a hídrica tem tendência a diminuir, considerando os períodos alargados de seca no país.

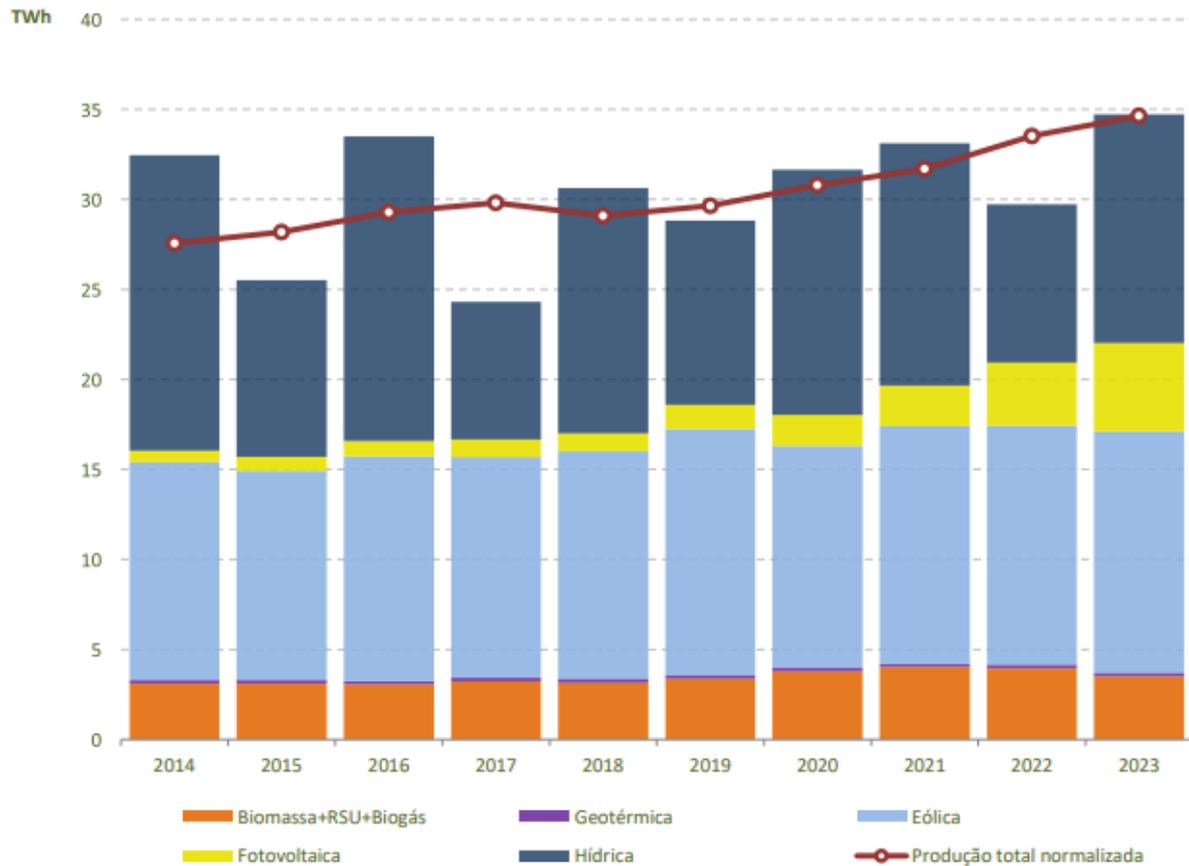


Figura 3: Produção Anual de Energia Elétrica com Base em FER, em Portugal (Fonte: DGEG, 2023)

Na Figura 4, que indica a distribuição da potência instalada por tecnologia e NUTS II em 2023, é possível observar onde e qual a fonte de energia renovável que mais contribuiu para a produção de energia elétrica do país. Destaca-se a elevada produção de energia na Região Norte, liderando a produção de energia hídrica onde os dias chuvosos têm grande relevância.

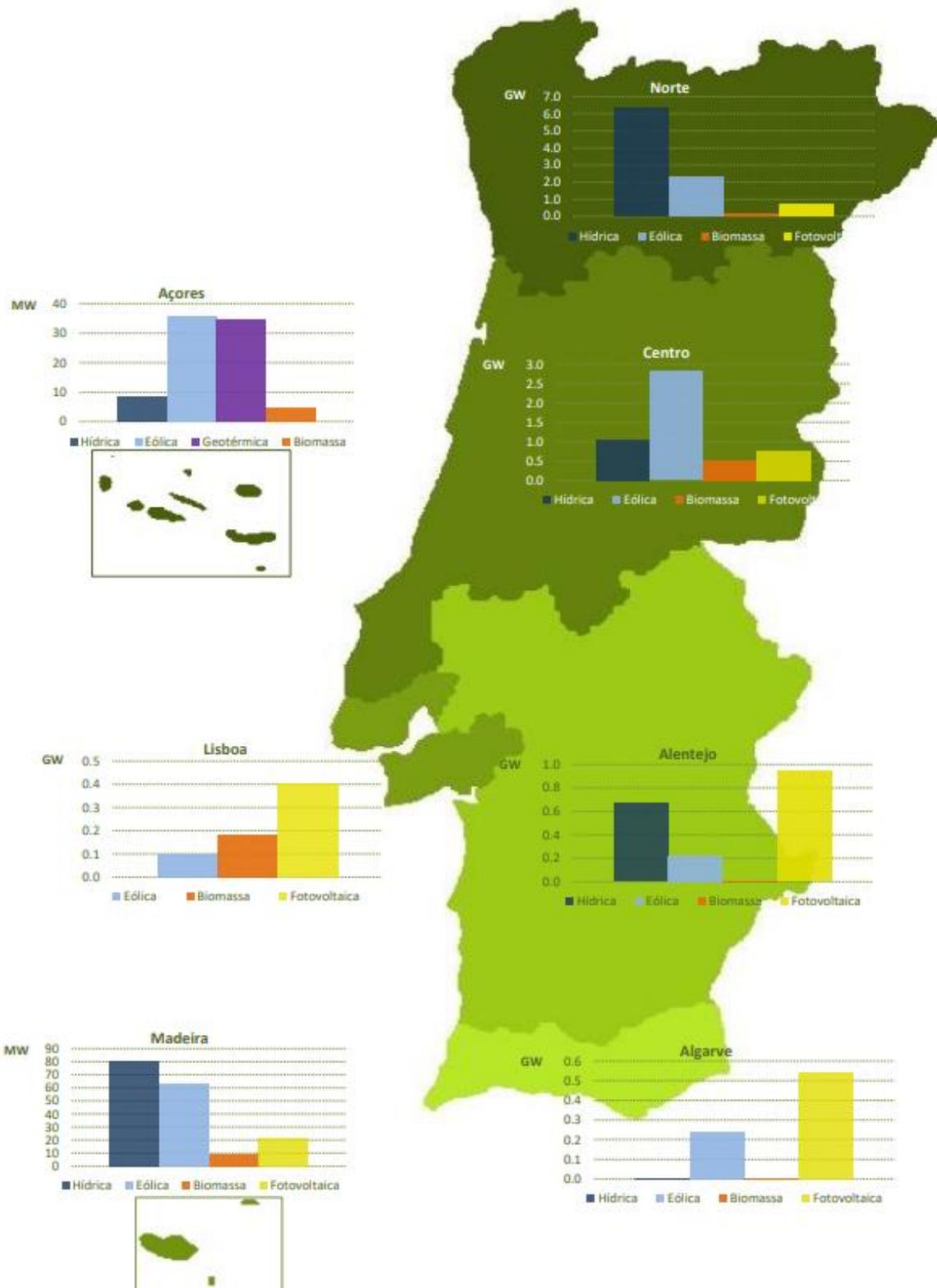


Figura 4: Distribuição da Potência Instalada por Tecnologia e NUTS II em 2023 (Fonte: DGEG, 2023)

A situação energética em Portugal apresenta ainda bastantes desafios, bem como oportunidades de melhoria, especialmente no que diz respeito à eficiência energética do parque habitacional. Com as

novas políticas e programas de apoio a edifícios mais sustentáveis como o Programa de Apoio a Edifícios mais sustentáveis (PAES), que tem como objetivo financiar medidas que promovam a reabilitação, descarbonização, eficiência energética e hídrica e a economia circular. Com estes apoios, estima-se uma redução, em média, de pelo menos 30% do consumo de energia primária nos edifícios intervencionados (Governo da República Portuguesa 2023).

Portugal, tem-se destacado internacionalmente pela sua implementação de energias renováveis, com especial destaque para a energia eólica, com um crescimento substancial na capacidade instalada de parques eólicos terrestres e marítimos, bem como a energia solar com os investimentos em parques solares e sistemas fotovoltaicos. Embora o país tenha feito grandes avanços na produção de energia através de fontes renováveis, ainda existem desafios a serem enfrentados, como a necessidade de armazenamento de energia de forma a garantir a estabilidade do sistema elétrico em momentos de menor produção renovável.

De modo geral, Portugal tem mostrado um compromisso firme com as energias renováveis com o objetivo de reduzir a dependência de combustíveis fósseis e mitigar impactos ambientais.

2.4 Caminho para Edifícios nZEB – Reabilitação Energética

Entende-se por edifício nZEB, um edifício que necessita de uma quantidade muito pequena de energia para funcionar, sendo que a energia necessária para operar o edifício deve ser fornecida por fontes renováveis. Deste modo, para atingir as exigências nZEB num edifício, é necessário a aplicação de medidas de eficiência energética, relacionadas com o isolamento da envolvente do edifício, equipamentos eficientes e, por outro lado, a autossuficiência energética relacionada com as FER.

No que diz respeito a edifícios novos, as sucessivas atualizações da regulamentação, bem como a constante evolução e melhoria das soluções técnicas, têm permitido melhorar o desempenho energético. Em edifícios deste tipo, na procura de solução para as medidas técnicas é necessário ter em conta o nível de conforto térmico e os requisitos energéticos.

Relativamente ao objetivo de redução do consumo energético nos edifícios existentes, sabendo que estes são responsáveis por 36% das emissões totais de gases de efeito de estufa e por 40% dos consumos energéticos da UE, a Diretiva (UE) 2018/844, de 30 de maio de 2018, veio traçar metas mais rigorosas para a descarbonização do parque edificado até 2050, tendo em conta o elevado potencial para a contribuição ao combate das alterações climáticas (Diário Da República, 1.a Série PRESIDÊNCIA DO CONSELHO DE MINISTROS, n.d.). Indica ainda que é necessária uma renovação com uma taxa média

anual de 3% para atingir os objetivos, sendo que a taxa nacional de renovação profunda dos edifícios em Portugal situa-se apenas nos 0,1% por ano (Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia 2018b). É esperado que 85% a 95% do parque imobiliário existente ainda estará em utilização em 2050, o que torna a reabilitação energética do parque edificado existente numa das melhores soluções para a descarbonização (Bertoldi et al. 2021).

A reabilitação energética refere-se às intervenções realizadas em edifícios existentes com o objetivo de melhorar o seu desempenho energético, reduzir o consumo de energia, melhorar as condições de conforto e mitigar a pobreza energética das famílias. A EPBD (Diretiva 2018/844/EU) estabelece que todos os edifícios existentes na UE devem ser reabilitados energeticamente de forma a que sejam edifícios com emissões de carbono quase nulas até 2050 e define os requisitos mínimos de desempenho energético para os edifícios existentes que estão a ser reabilitados. Estes requisitos incluem a instalação de isolamento térmico adequado na envolvente, a melhoria da eficiência dos sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado, a utilização de energia proveniente de fontes renováveis e a implementação de medidas para melhorar a qualidade do ar interior (Governo da República Portuguesa 2021).

Além disso, a Diretiva 2018/844/EU exige que os edifícios existentes alvo de uma grande renovação energética devem cumprir um nível mínimo de eficiência energética, determinado através da aplicação de uma metodologia de cálculo de desempenho energético comum.

Em resumo, os requisitos da Diretiva 2018/844/EU estabelecem padrões mais rigorosos para a reabilitação energética de edifícios existentes, incentivando a adoção de tecnologias mais eficientes em termos energéticos e a redução do consumo de energia e emissões de carbono. Estes padrões devem ser seguidos pelos Estados-Membros da UE e pelos profissionais do setor da construção para garantir a melhoria da eficiência energética dos edifícios existentes na UE.

2.5 Alterações Climáticas na Europa e em Portugal

As alterações climáticas são uma realidade e uma preocupação cada vez mais presentes no dia a dia e, provavelmente, um dos problemas mais urgentes que o planeta atualmente enfrenta. Estas resultam sobretudo da dependência global dos combustíveis fósseis, cujo agravamento gera um risco crescente.

As alterações climáticas já estão a causar impactos significativos no Planeta, incluindo o aumento da temperatura global, aumento do nível do mar, mudanças nos padrões de precipitação, extinção de espécies e o aumento de eventos climáticos extremos, como secas, inundações e tempestades. A temperatura média na Europa aumenta cerca de 0,2 °C por década, o que provoca invernos mais curtos

e secos, verões mais longos e secos e aumenta a frequência e a intensidade dos fenómenos extremos, como secas, inundações e tempestades (Masson-Delmotte et al. 2018).

Na Europa, segundo projeções modeladas de elevação média global do nível do mar relativas a 1986-2005, sugerem uma variação indicativa de 0,26 a 0,77 metros até 2100 para o aquecimento global de 1,5 °C, 0,1 metro menor do que para um aquecimento global de 2 °C (Masson-Delmotte et al. 2018). Uma redução de 0,1 metro na elevação global do nível do mar, implica que até 10 milhões de pessoas estarão menos expostas aos riscos associados, com base na população de 2010 (Masson-Delmotte et al. 2018).

Portugal é um país vulnerável às alterações climáticas, tendo em conta a longa costa, que o torna suscetível a inundações, e o facto de ter um clima mediterrânico, com verões quentes e secos e invernos amenos, torna o país mais propício a secas e incêndios florestais. De acordo com o Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), a temperatura média em Portugal foi superior em 1,38°C em 2022 comparando ao valor normal de 1971-2000, enquanto o nível do mar aumentou cerca de 3 milímetros, o que provoca inundações nas zonas costeiras, ameaçando infraestruturas e populações (IPMA 2023). Em 2004, Portugal, lançou o Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC) com medidas para múltiplos setores como por exemplo a produção de eletricidade. O programa foi sofrendo alterações no decorrer dos anos, sendo a última atualização feita em 2015 (PNAC 2020-2030), onde é proposta uma redução das emissões de GEE, até 2030, entre 30% a 40% face às emissões de 2005, de modo a estabilizar o aumento da temperatura média no fim do século a 1,5 °C (Governo da República Portuguesa 2019b). A 1 de janeiro de 2021 o Programa Nacional para as Alterações Climáticas 2020-2030 foi revogado pelo PNEC 2030 (Governo da República Portuguesa 2019b).

Portugal está a implementar um conjunto de medidas para mitigar e adaptar os impactos das alterações climáticas, que incluem o Plano Nacional de Energia e Clima (PNEC), o Plano Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas (PNAAC) e a Estratégia Nacional de Resiliência às Alterações Climáticas (ENRAC). A Figura 5 retrata a evolução do clima em Portugal Continental desde o ano de 1941 e, como é possível observar, os últimos anos têm sido cada vez mais quentes e secos.

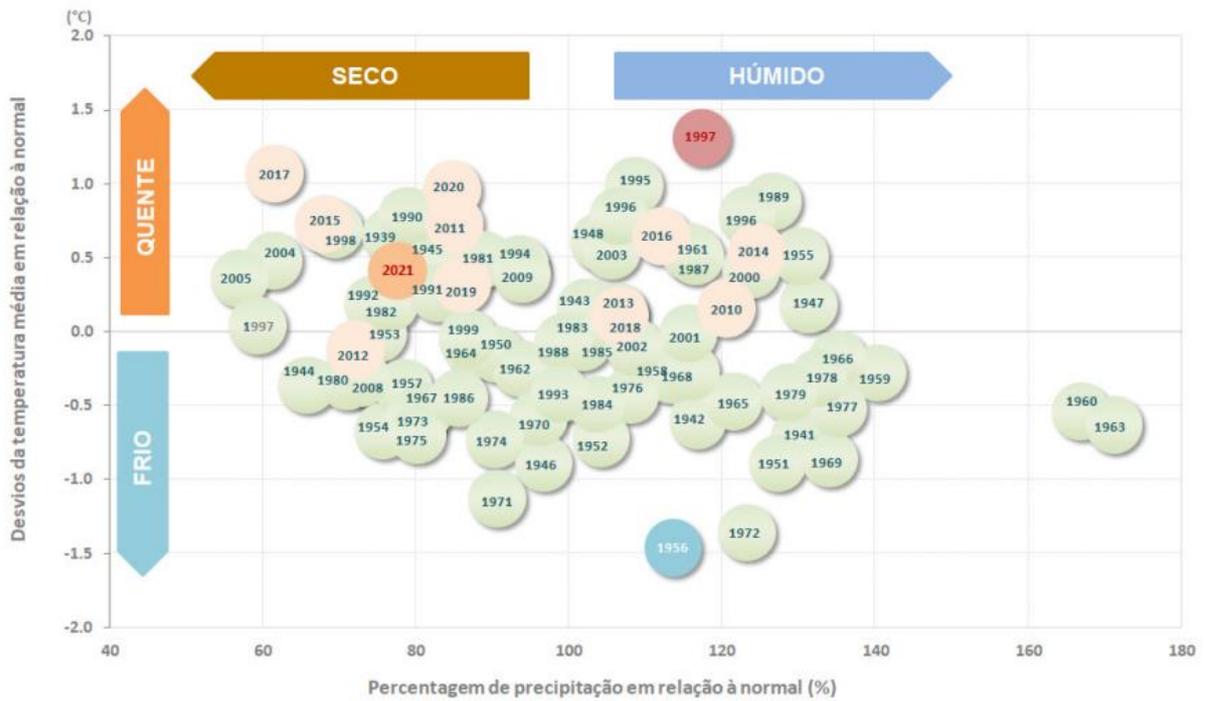


Figura 5: Temperatura e Precipitação Anual em Portugal Continental 1941-2021 (Fonte: IPMA, 2022)

A mitigação é uma ação de resposta às alterações climáticas incluída nos programas referidos anteriormente, que consiste em reduzir as emissões de gases de efeito de estufa e aumentar os seus sumidouros, por vezes naturais, como é o caso das florestas, que absorvem mais carbono do que aquele que emitem contribuindo para minimizar o efeito de estufa provocado por estes gases e reduzir o aquecimento global do planeta (APA 2021c).

A Agência Portuguesa do Ambiente (APA), é responsável por desenvolver, acompanhar e incentivar a aplicação das políticas de mitigação em matéria de alterações climáticas que contribuam para uma economia de baixo carbono e promover o seu acompanhamento, monitorização, avaliação e atualização.

3. CASO DE ESTUDO

3.1 Apresentação do Caso de Estudo

Com o objetivo de avaliar a melhor opção de reabilitação, com boa relação custo/benefício cumprindo, os requisitos para edifícios no SCE, utilizou-se um caso de estudo real, que se encontrava em fase de reabilitação durante o período de desenvolvimento deste trabalho. Para o estudo foi considerado que o edifício estaria localizado na região de Lisboa, Bragança e Beja, de modo a considerar diferentes condições climáticas a nível de Portugal Continental com exigências diferentes relativamente às zonas climáticas onde estão inseridas.

A análise do desempenho do edifício, na sua condição original (Figura 6), e implementando as soluções de reabilitação propostas, foi realizada de acordo com o estabelecido na regulamentação térmica em vigor, para grandes reabilitações, com base na folha de cálculo do ITeCons “Avaliação do Comportamento Térmico e Desempenho Energético de Edifícios de Habitação, de Acordo com o Decreto-Lei n.º 101-D/2020”.



Figura 6: Vista Geral do Caso de Estudo

O edifício em estudo, é uma habitação unifamiliar construída em 1980. No fim de 2022, devido às patologias que o edifício apresentava, nomeadamente humidade no interior proveniente das paredes exteriores e cobertura e o insuficiente desempenho térmico, tornou-se necessária à sua reabilitação.

3.2 Caracterização do Edifício

No âmbito deste trabalho foram definidas propostas de reabilitação dos elementos da envolvente exterior, paredes, cobertura, caixilharias, vidros e sistemas técnicos, de maneira a melhorar as condições de conforto e eficiência energética do edifício.

O edifício, de tipologia T4, é composto por 2 pisos: Rés do Chão (R/C), constituído por: lavandaria, casa de banho de serviço, sala de jantar, sala de estar, cozinha e uma galeria sanitária (Figura 7); no 1º Andar (Figura 8) encontram-se: o quarto principal (com Instalação sanitária), 3 quartos e uma casa de banho comum.

O edifício apresenta a fachada principal orientada a sudeste e a posterior orientada a noroeste. Tem uma área útil de 182,60 m², com um pé direito médio de 2,50 m e um volume total útil de 456,50 m³.

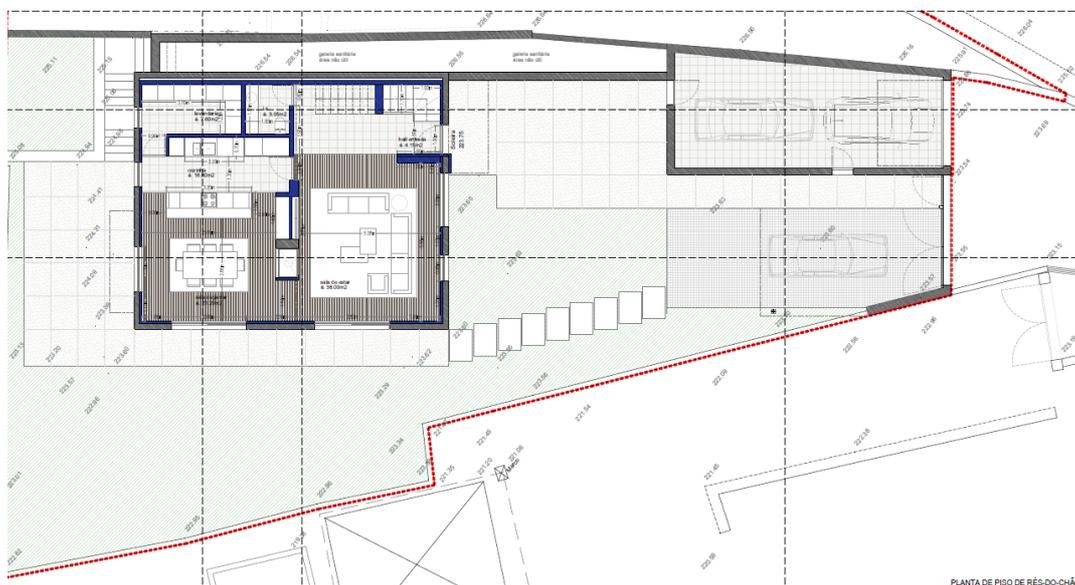


Figura 7: Planta do R/C

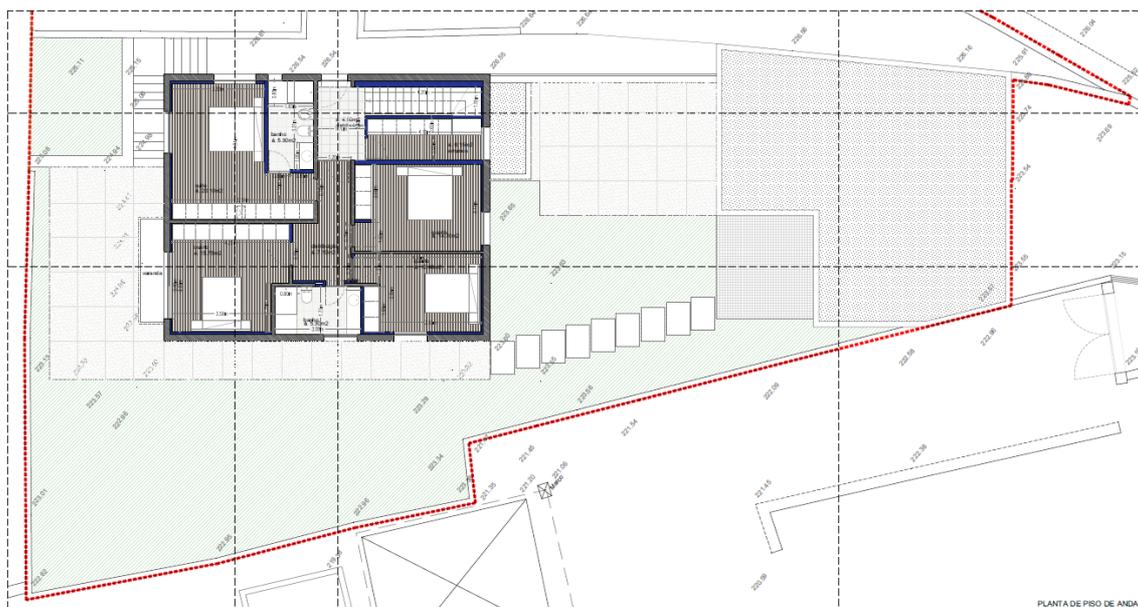


Figura 8: Planta do Piso 1

3.3 Análise Climática dos Locais em Estudo

Tendo como objetivo inicial identificar e estudar quais as melhores soluções construtivas a adotar para uma reabilitação, tal como os melhores equipamentos a usar para aquecimento de águas sanitárias, arrefecimento e aquecimento do edifício com vista para um edifício com necessidades quase nulas de energia (nZEB), é importante perceber quais as dificuldades do edifício sendo este implantado em diferentes locais com necessidades termo-energéticas diferentes, bem como a exposição solar e ao vento, para manter o interior do edifício a uma temperatura mínima de conforto de 18 °C na estação de aquecimento e 25 °C na estação de arrefecimento. Assim, foram escolhidas 3 localidades (Lisboa, Beja e Bragança) onde implantar o edifício, com características climáticas diferentes, para que fosse possível avaliar os vários tipos de cenários adotados em diferentes ambientes e perceber qual desses cenários tem um maior impacto no desempenho termo-energético do edifício.

Assim, foi necessário executar uma análise climática para três localizações referidas, onde foi analisado, segundo o Manual Técnico para Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios, o entorno e clima, o enquadramento climático e os parâmetros climáticos associados a cada território.

3.3.1 Entorno e Clima

Através do Manual SCE que estabelece a metodologia de cálculo para efeitos da avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios (DEE), é necessário caracterizá-lo tendo em conta o entorno, que

deve ser definido pela região do território, rugosidade e classe de proteção da fachada, e o clima, onde deve ser definida a respetiva Nomenclatura das Unidades Territoriais para fins Estatísticos (NUTS) e caracterizar o edifício em função da zona climática de inverno (I1, I2 e I3) e verão (V1, V2 e V3). Para a verificação do cumprimento dos requisitos de qualidade térmica da envolvente, é necessário definir as zonas climáticas.

Através da folha de cálculo SCE.CLIMA (v1.0), que se encontra no Anexo I, foi possível obter os ficheiros climáticos para se conhecer o clima da região de implantação dos edifícios. Na Figura 9 é possível observar as temperaturas médias mensais no ano de 2022 para as três localizações consideradas.

Para o caso de Lisboa, considerou-se o edifício localizado a cerca de 50 m de altitude em relação ao nível do mar, a uma distância inferior a 5 km da costa (Região B) e inserido no interior de uma zona urbana, sem obstruções do horizonte provocadas por edifícios adjacentes (Rugosidade I).

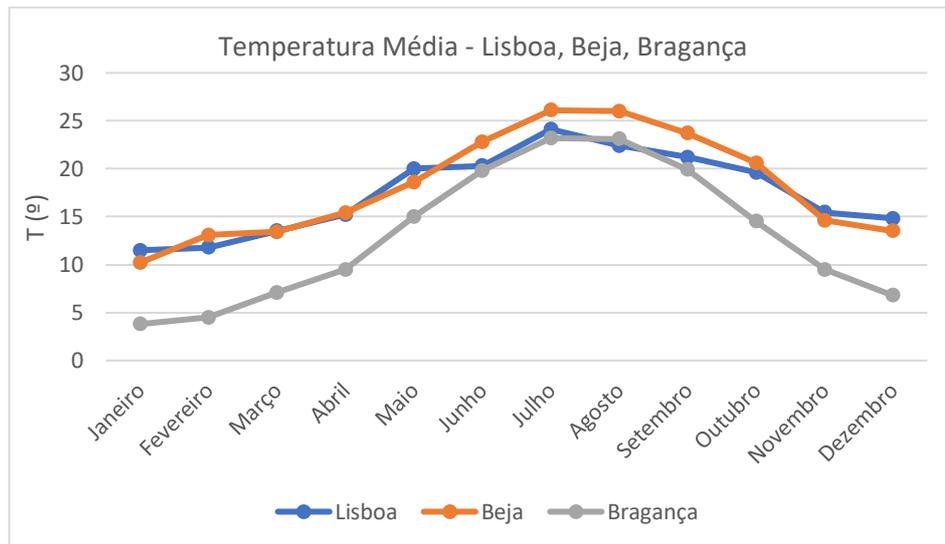


Figura 9: Temperaturas Médias Mensais para Lisboa, Beja e Bragança (Fonte: SCE.CLIMA)

No cenário de implantação em Beja, considerou-se que o edifício estava localizado a 230 m de altitude em relação ao nível do mar, a uma distância superior a 5 km da costa e inserido numa zona urbana sem obstruções do horizonte provocada por edifícios adjacentes (Região A e Rugosidade II). Considerando o edifício localizado em Bragança, o último local em estudo, a 723 m de altitude, o local de implantação é também caracterizado estar situado na Região A, com Rugosidade II.

3.3.2 Enquadramento Climático

O enquadramento climático baseia-se na nomenclatura das unidades territoriais para fins estatísticos (NUTS) de nível III, em função do concelho onde o edifício se localiza, e tem por base o Decreto-Lei n.º 21/2010, de 23 de agosto.

Segundo o Manual SCE, são definidas três Zonas Climáticas de Inverno (I1, I2 e I3) e três Zonas Climáticas de Verão (V1, V2 e V3), para aplicação de requisitos de qualidade térmica da envolvente, conforme apresentado na Tabela 1.

As Zonas Climáticas de Inverno são definidas a partir de número de graus-dias (GD) na base de 18°C, que correspondem à estação de aquecimento.

Tabela 1: Zonas Climáticas de Inverno

Critério	$GD \leq 1300$	$1300 < GD \leq 1800$	$GD > 1800$
Zona	I1	I2	I3

As Zonas Climáticas de Verão são definidas a partir da temperatura média exterior correspondente à estação convencional de arrefecimento ($\theta_{ext,v}$), tal como apresenta a Tabela 2.

Tabela 2: Zonas Climáticas de Verão

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

3.3.3 Parâmetros Climáticos

Os valores dos parâmetros climáticos X associados a um determinado local, são obtidos a partir de valores de referência X_{REF} para cada NUTS III e ajustados com base na altitude desse local, z . As correções de altitude referidas anteriormente, são do tipo linear, com declive a , proporcionais à diferença entre a altitude do local e uma altitude de referência z_{REF} para a NUTS III, segundo a Equação 1.

$$X = X_{REF} + a(z - z_{REF}) \quad \text{Equação 1}$$

Os parâmetros climáticos para a estação de aquecimento (inverno) são os seguintes:

GD – Número de graus-dias na base de 18°C, correspondente à estação convencional;

M – Duração da estação de aquecimento;

$\theta_{ext,v}$ – Temperatura exterior média do mês mais frio da estação de aquecimento;

G_{sul} – Energia solar média mensal durante a estação, recebida numa superfície vertical orientada a Sul (kWh/m². mês).

Com base nos valores de referência e declive para ajustes em altitude tabelados no Despacho n.º 15793-F, procedeu-se aos cálculos apresentados para a determinação do número de graus-dias (X), Tabela 3 (da Estrela et al. 2013).

Tabela 3: Parâmetros Climáticos para Estação de Aquecimento

Número de GD (X)			
	Lisboa	Beja	Bragança
X_{REF} ($^{\circ}C$)	1071	1068	2015
a (mês./m)	3	0	0
z (m)	50	232	723
Z_{REF} (m)	109	178	680
X ($^{\circ}C$)	<u>894</u>	<u>1068</u>	<u>2015</u>
Zona	<u>I1</u>	<u>I1</u>	<u>I3</u>

Para classificar a estação convencional de arrefecimento (Tabela 4), os parâmetros climáticos são os seguintes:

L_V – Duração da estação de arrefecimento;

$\theta_{ext,v}$ – Temperatura exterior média ($^{\circ}C$);

I_{SOL} – Energia solar acumulada durante a estação, recebida na horizontal (inclinação 0°) e em superfícies verticais (inclinação 90°) para os quatro pontos cardeais e os quatro colaterais (kWh/m^2).

Tabela 4: Parâmetros Climáticos para Estação de Arrefecimento

Número de GD (X)			
	Lisboa	Beja	Bragança
X_{REF} ($^{\circ}C$)	21,7	24,7	21,5
a (mês./m)	-10	0	-7
z (m)	50	232	723
Z_{REF} (m)	109	178	680
X ($^{\circ}C$)	<u>22,29</u>	<u>24,7</u>	<u>21,19</u>
Zona	<u>V3</u>	<u>V3</u>	<u>V2</u>

3.4 Caracterização dos Espaços e Envolventes

Sendo necessário caracterizar os espaços existentes no edifício, recorreu-se à definição do Decreto-Lei n.º 101-D/2020 onde consta os seguintes termos (Presidência do Conselho de Ministros 2020):

- Espaço interior útil: o espaço com condições de referência, que, para efeito de cálculo das necessidades energéticas, se pressupõe aquecido ou arrefecido de forma a manter uma temperatura interior de referência de conforto térmico, incluindo os espaços que, não sendo usualmente climatizados, tais como arrumos interiores, despensas, vestíbulos ou instalações sanitárias, devam ser considerados espaços com condições fronteiras;
- Espaço não útil: espaço sem ocupação humana permanente atual ou prevista, e sem consumo de energia atual ou previsto associado ao aquecimento ou arrefecimento ambiente para conforto térmico, com exceção do espaço interior útil.

Nas Figura 10, 11 e 12, estão indicados os espaços interiores úteis e não úteis do caso de estudo.

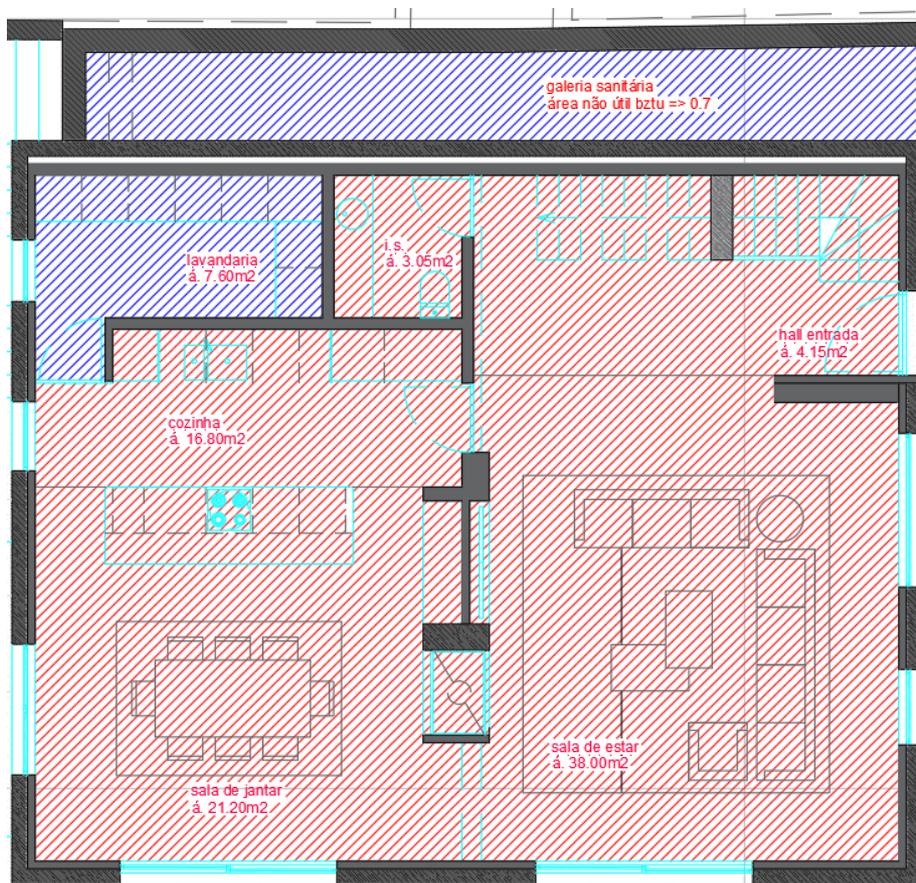


Figura 10: R/C, Indicação dos Espaços Úteis  e não Úteis .

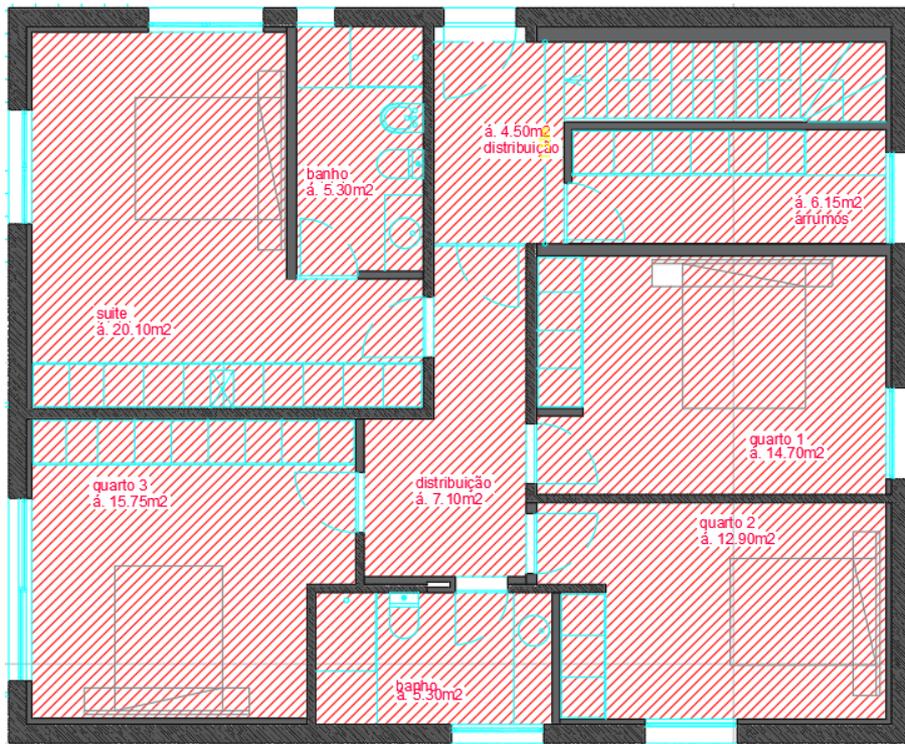


Figura 11: Planta Piso 1, Indicação dos Espaços Úteis  e não Úteis 

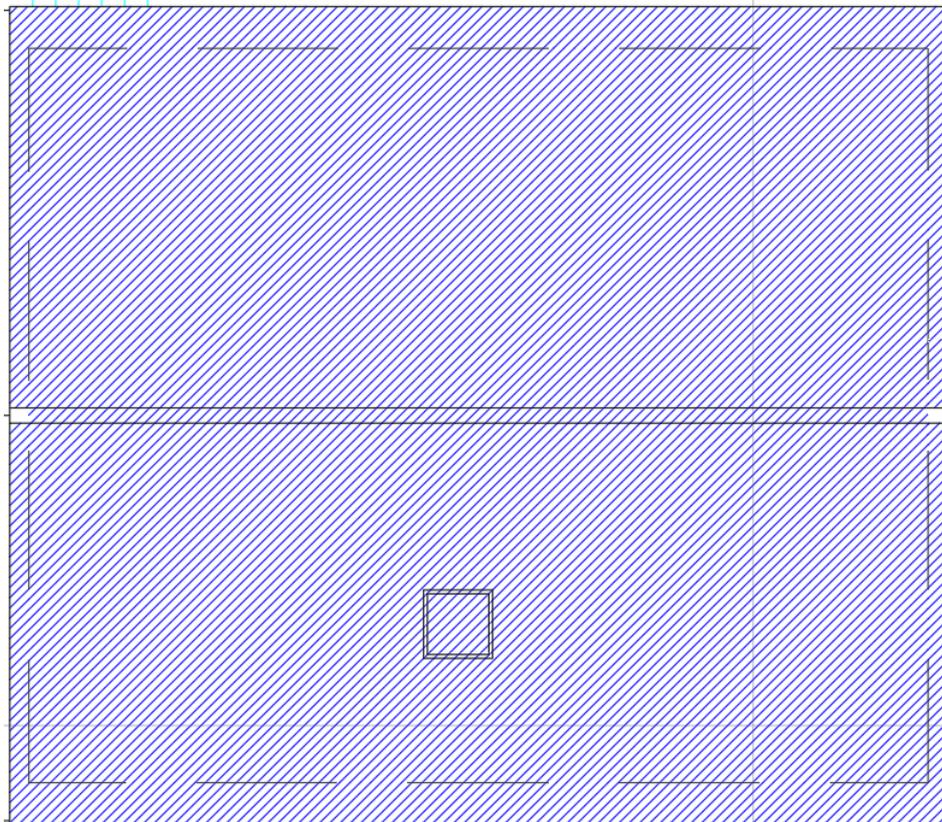


Figura 12: Cobertura, Indicação dos Espaços Úteis  e não Úteis 

Um edifício é caracterizado pelos seus espaços, mas também pela sua envolvente, que se entende por: o conjunto dos elementos de um edifício que separam o seu espaço interior útil, dos espaços não úteis do exterior, do solo e de outros edifícios (Presidência do Conselho de Ministros 2020).

A envolvente deve ser assinalada nos cortes e plantas. Com um código de marcação específico (Tabela 5) é possível de uma forma expedita compreender quais os elementos das envolventes por onde existem mais trocas térmicas.

Tabela 5: Condições Fronteira

Código de Cores (RGB)	Condição Fronteira
Vermelho	Exterior
Amarelo	Interior com $b_{ztu} > 0,7$
Azul	Interior com $b_{ztu} \leq 0,7$
Verde	Sem trocas térmicas
Ciano	Solo

No caso das envolventes interiores (Amarelo e azul) é feita a separação entre espaços úteis de espaços não úteis, em que pode ter duas designações:

Envolvente interior com requisitos de exterior;

Envolvente interior com requisitos de interior.

Estas, são distinguidas através do coeficiente de redução de perdas b_{ztu} . O coeficiente de redução de perdas varia entre 0 e 1, e é necessário para o seu cálculo o somatório das áreas dos elementos de todas as frações de habitação e comércio e serviços que separam os respetivos espaços interiores úteis do espaço interior não útil – A_i (m^2); o somatório das áreas dos elementos que separam o espaço interior não útil do ambiente exterior – A_u (m^2); o volume do espaço interior não útil - V_{enu} (m^3); espaço interior não útil que tem todas as ligações entre elementos bem vedadas, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas – f ; e espaço interior não útil permeável ao ar devido à presença de ligações e aberturas de ventilação permanentemente abertas - F .

Através do método descrito, caracterizaram-se os espaços não úteis existentes no edifício.

Tabela 6: Caracterização dos Espaços Não Úteis

Espaço Não-Útil	A_i/A_u	$V_{enu} (m^3)$	Ventilação	b_{ztu}
Sótão	0,76	143,47	fraca (f)	0,8
Lavandaria -R/C	1,01	19	Forte (F)	0,8
Galeria	1,17	52,87	fraca (f)	0,7

Tabela 7: Coeficiente de Redução

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

Tendo em conta a convenção definida anteriormente, é apresentado nas Figura 13, 14, 15 e 16, a marcação da envolvente para todo o edifício em estudo.

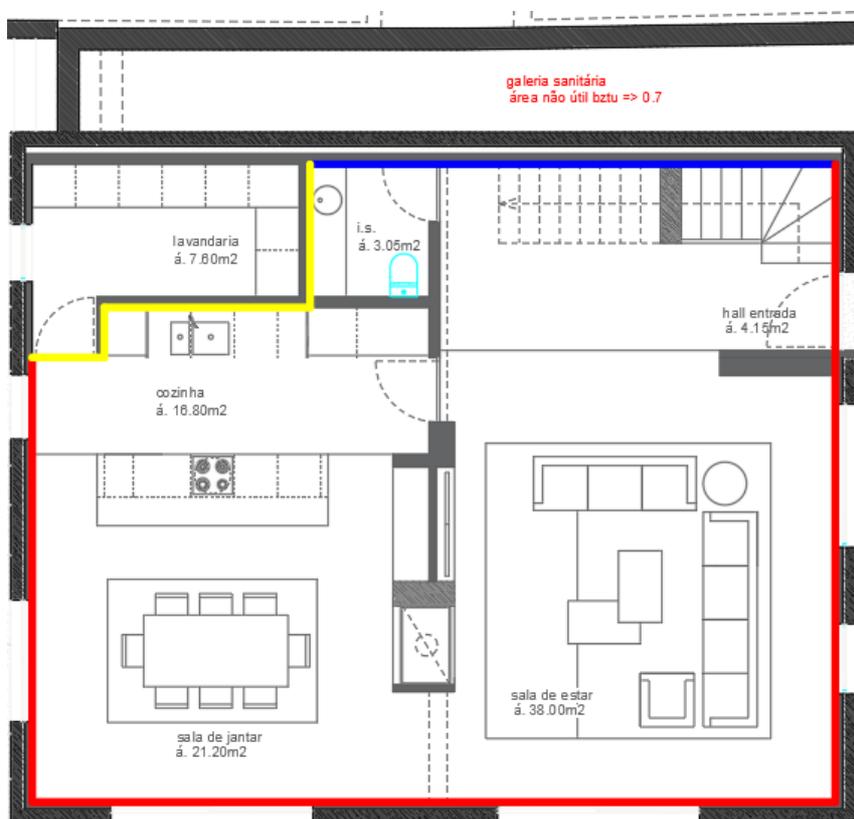


Figura 13: Indicação do tipo de Envolvente no piso R/C

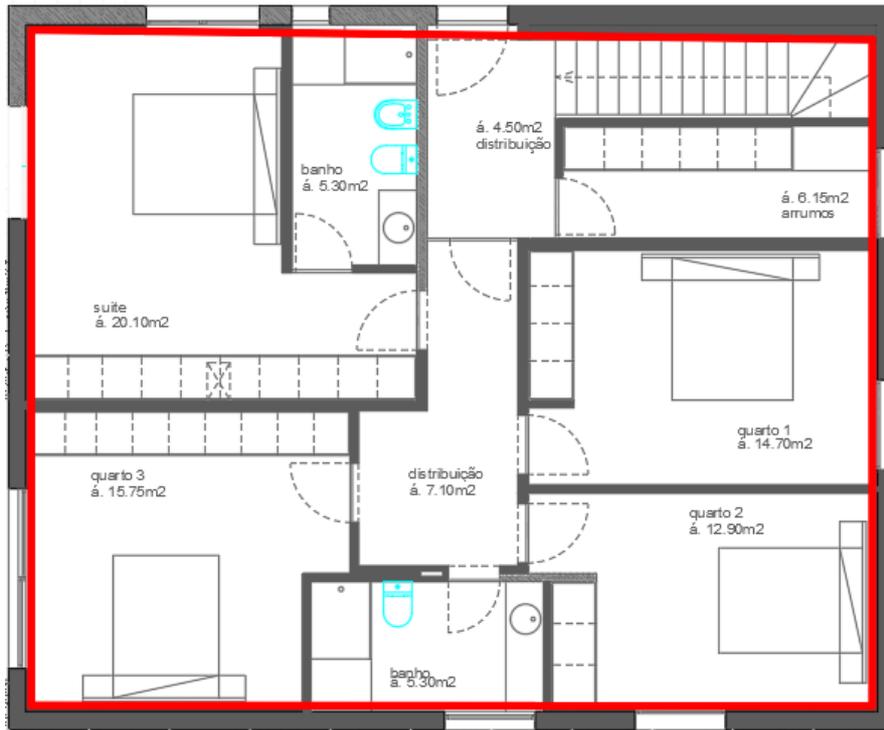


Figura 14: Indicação do Tipo de Envolvente no Piso 1

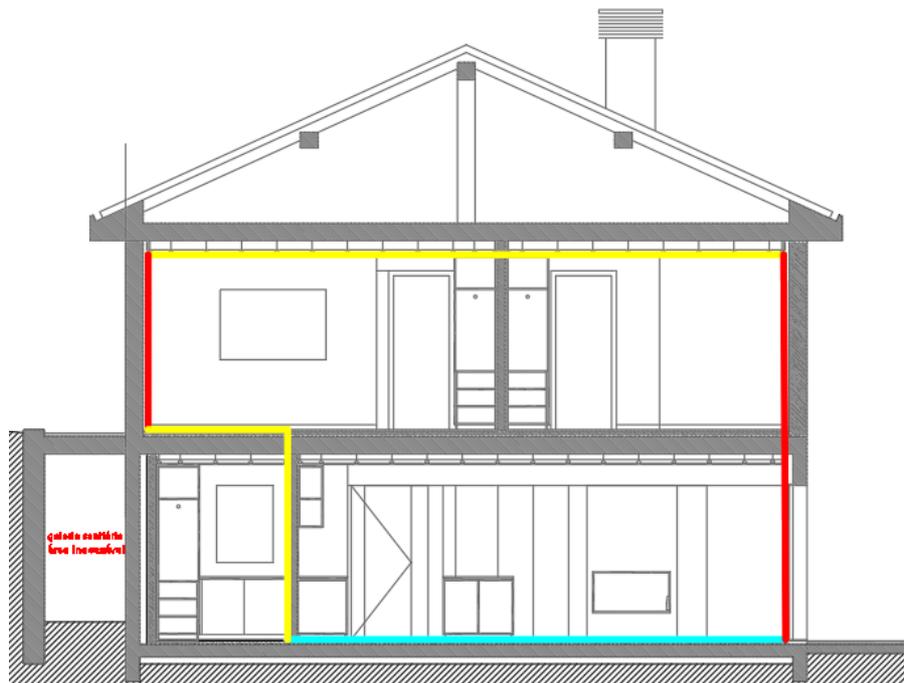


Figura 15: Indicação do tipo Envolvente no Corte Transversal

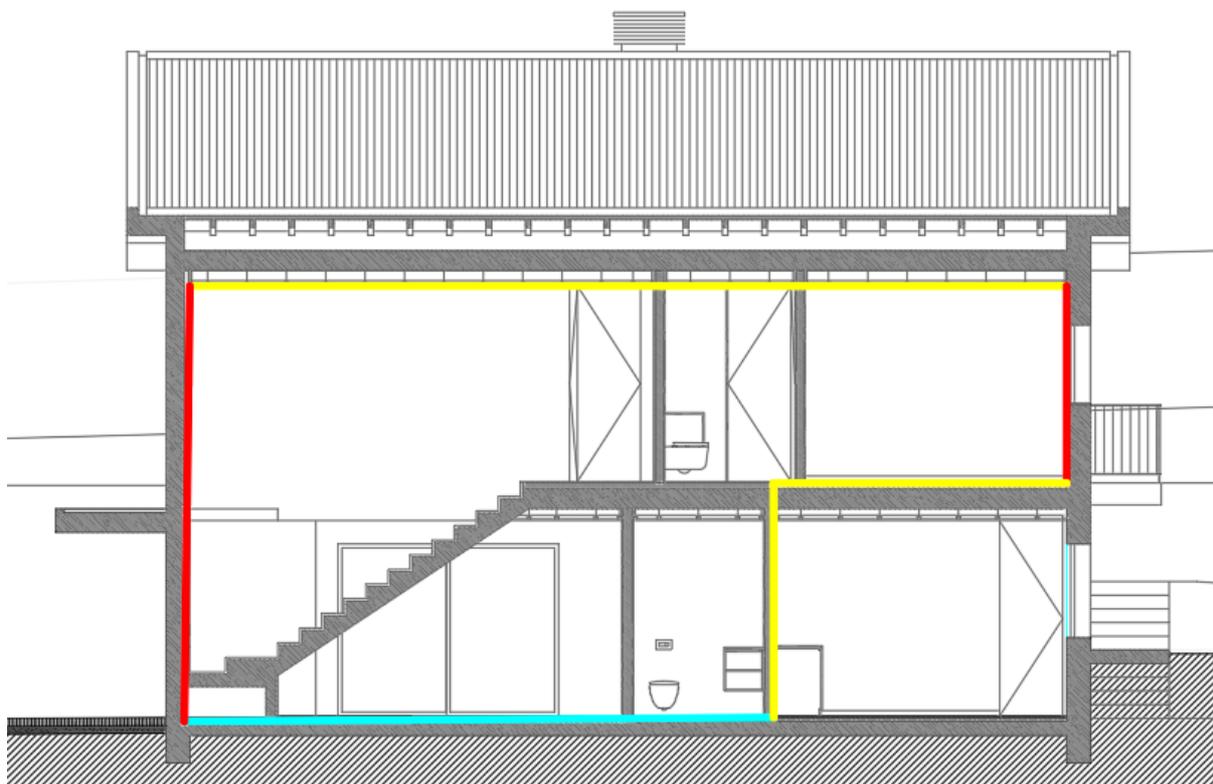


Figura 16: Indicação do tipo de Envolvente no Corte Longitudinal

3.5 Cenários de Reabilitação e Exigências Regulamentares

Neste subcapítulo são identificadas as soluções construtivas do edifício e as soluções de reabilitação a adotar em cada cenário de reabilitação do caso em estudo, com o objetivo de assegurar e promover a melhoria do respetivo desempenho energético, e assegurar que se encontram em conformidade com os valores regulamentares do coeficiente de transmissão térmica (U), estabelecido pela Portaria n.º 138-I/2021 de 1 de julho (Governo da República Portuguesa 2021).

3.5.1 Cenário 0 – Manutenção do Interior do Edifício

Pretendendo comparar os cenários apresentados com o estado inicial do edifício, foi necessário analisar e caracterizar os elementos que o constituíam a envoltura opaca e na envoltura envidraçada. Neste cenário contabilizou-se a pintura de todo o espaço no interior do edifício, para que este fique em condições habitáveis, e poder comparar as melhorias quando aplicadas as medidas descritas nos capítulos seguintes.

Em relação aos sistemas técnicos, o edifício existente apenas apresenta um cilindro elétrico para AQS, não existindo qualquer fonte de aquecimento ou arrefecimento no seu interior.

Envolvente Opaca

Na Tabela 8 estão descritos os elementos construtivos que constituem o edifício tal como ele se encontra, sem qualquer reabilitação. Num cenário de manutenção do edifício, a pintura do interior do edifício teria um custo de 4485,31 €.

Tabela 8: Descrição dos Elementos Construtivos Presentes no Edifício

Elemento Construtivo	Espessura (m)	$U_{sol.}$	$U_{máx.}$	Descrição do Elemento (Exterior para Interior)
Parede Exterior	0,29	1,06	0,50	Parede já existente constituída por reboco de cimento com 0,02 m, tijolo cerâmico perfurado de 0,25 m de espessura e reboco de gesso com 0,02 m.
Parede Exterior em Contacto com o Solo	0,29	1,09	-	Parede existente constituída por tela pitonada, reboco de cimento 0,02 m, tijolo cerâmico perfurado com 0,25 m, reboco de cimento com 0,02 m.
Cobertura	0,02	Asc. 5,03 e Desc. 3,72	0,40	Cobertura inclinada com estrutura em madeira, constituída por telha cerâmica tipo "Lusa" com 0,02 m.
Pavimento Térreo	0,23	0,71	2,00	Piso existente composto por laje maciça de betão armado com 0,15 m, tela antivapor e betonilha de regularização 0,08 m.
Laje entre Pisos	0,275	1,77	2,00	Material cerâmico com 0,005 m, laje aligeirada existente com 0,25 m, e estuque de gesso com 0,02 m.
Laje entre Pisos (ENU)	0,275	1,77	0,40	Material cerâmico com 0,005 m, laje aligeirada existente com 0,25 m, e estuque de gesso com 0,02 m.
Paredes Divisórias Interiores	0,115	2,00	-	Parede divisória composta por reboco com 0,02 m, tijolo cerâmico perfurado de 0,07 m, reboco de 0,02 m e material cerâmico de 0,005 m.
Parede Divisória Lavandaria - Cozinha, WC - Lavandaria	0,115	2,00	2,00	Parede divisória composta por reboco com 0,02 m, tijolo cerâmico perfurado de 0,07 m, reboco de 0,02 m e material cerâmico de 0,005 m.

Envolvente Envidraçada

Sendo a caixilharia existente de alumínio composta por um vidro simples e com uma proteção solar de persiana de lâminas sem isolamento, adotou-se um valor de U (Tabela 9) por defeito presente no quadro III.1 do ITE50 (LNEC 2006).

Tabela 9: Descrição dos elementos Envidraçados

Cenário de Reabilitação 0						
Elemento Construtivo	$U_{sol.}$	$U_{Ref.}$	$g_{\perp,vi}$	F_g	Classe Caixilharia	Descrição do Elemento
Vãos Envidraçados Exteriores	3,40	2,80	0,85	0,70	1	Caixilharia em alumínio e vidro simples de 6 mm de espessura. Proteção de persiana de lâminas sem isolamento.

3.5.2 Primeiro Cenário de Reabilitação

Envolvente Opaca

Nas Tabela 10 e 11, são apresentadas as soluções construtivas adotadas para o primeiro cenário de reabilitação que apresenta um custo total de 92197,69 € incluindo a pintura no interior do edifício, juntamente com coeficiente de transmissão térmica e o respetivo limite imposto.

Tabela 10: Descrição dos Elementos Construtivos de Cenário de Reabilitação 1 (Continua)

Cenário de Reabilitação 1					
Envolvente Opaca					
Elemento Construtivo	Espessura (m)	$U_{sol.}$	$U_{máx.}$	Descrição do Elemento (exterior para interior)	Valor (€/m²)
Parede Exterior	0,37	0,3	0,50	Sistema <i>External Thermal Insulation Composite System</i> (ETICS) com Lã de Rocha com 0,08 m aplicado na parede existente constituída por reboco de cimento com 0,02 m, tijolo cerâmico perfurado de 0,25 m de espessura e reboco de gesso com 0,02 m.	88,84
Parede Exterior em Contacto com o Solo	0,39	0,23	0,50	Parede existente constituída por tela pitonada, reboco de cimento 0,02 m, tijolo cerâmico perfurado com 0,25 m, reboco de cimento com 0,02 m, reabilitada com um pano de parede leve com lã mineral com 0,07 m e placas de gesso cartonado com elevada resistência à humidade de 0,0125 m devido à humidade existente na área.	68,02
Cobertura	0,122	0,39	0,40	Cobertura inclinada com estrutura em madeira, constituída por telha cerâmica tipo "Lusa" com 0,02 m, placas OSB de 0,022 m, e poliestireno extrudido (XPS) com 0,08 m de espessura.	118,60
Pavimento Térreo	0,36	0,28	2,00	Piso existente composto por laje maciça de betão armado com 0,15 m, tela anti vapor e betonilha de regularização com 0,08 m. Reabilitado com placas de poliestireno extrudido (XPS) com 0,05 m, betonilha de regularização com 0,07 m e material cerâmico com 0,005 m.	254,69

Tabela 11: Descrição dos Elementos Construtivos do Cenário de Reabilitação 1 (Conclusão)

Cenário de Reabilitação 1					
Envolvente Opaca					
Elemento Construtivo	Espessura (m)	$U_{sol.}$	$U_{máx.}$	Descrição do Elemento (exterior para interior)	Valor (€/m²)
Laje entre Pisos	0,45	0,30	2,00	Material cerâmico com 0,005 m, betonilha de regularização com 0,07 m, membrana resiliente para atenuação da transmissão de sons de percussão com 0,008 m, laje aligeirada existente com 0,25 m, teto falso composto por lâ mineral de 0,1 m e gesso cartonado de 0,015 m.	297,21
Laje entre Pisos (ENU)	0,45	0,30	0,40	Material cerâmico com 0,005 m, betonilha de regularização com 0,07 m, membrana resiliente para atenuação da transmissão de sons de percussão com 0,008 m, laje aligeirada existente com 0,25 m acrescentando teto falso composto por lâ mineral de 0,1 m e gesso cartonado de 0,015 m.	297,21
Paredes Divisórias Interiores	0,13	0,34	2,00	Paredes divisórias compostas por estrutura metálica para gesso cartonado com uma placa por cada lado de 0,15 m e a alma dos montantes metálicos de 0,10 m preenchidos com lâ mineral de 0,10 m.	49,66
Parede Divisória Lavandaria - Cozinha, WC - Lavandaria	0,13	1,79	2,00	Parede divisória composta por estrutura metálica e placa de gesso cartonado de 0,015 m, reboco com 0,02 m, tijolo cerâmico perfurado de 0,07 m, reboco de 0,02 m e material cerâmico de 0,005 m.	138,72

Na escolha dos cenários de reabilitação é necessário considerar a Absortância Solar α_{sol} e a inércia térmica.

A absortância solar é necessária para a determinação dos ganhos solares na estação de arrefecimento, sendo determinada em função da cor do revestimento superficial exterior, sendo benéfico o uso de cores claras, optadas no caso em estudo.

Em relação à inércia térmica, esta traduz a capacidade de armazenamento de calor que os elementos construtivos apresentam e varia em função da massa superficial útil por metro quadrado de área interior útil de pavimento. Entende-se por massa superficial útil, o peso por metro quadrado dos elementos que constituem a parede, contabilizando do interior até ao exterior, até ao material de isolamento. A inércia

térmica é caracterizada em função do valor de massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento, através da Tabela 12.

Tabela 12: Classes de Inércia Térmica

Classe de Inércia Térmica	I_t (kg/m^2)
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 < I_t \leq 400$
Forte	$I_t > 400$

No presente edifício com a solução de reabilitação 1, a inércia térmica é considerada como forte, tendo em conta a massa superficial útil elevada no reboco e do tijolo cerâmico.

Envolvente Envidraçada

No presente caso de estudo, de forma a cumprir com os requisitos impostos, foi necessário adotar um vão envidraçado com um grande desempenho, que acresce ao valor da renovação cerca de 9469 € que se encontra na Tabela 13, tal como o coeficiente de transmissão térmica linear máximo admitido naquela zona climática.

Tabela 13: Descrição dos Elementos Envidraçados

Cenário de Reabilitação 1						
Elemento Construtivo	$U_{sol.}$	$U_{w,máx.}$	$g_{\perp,vi}$	F_g	Classe Caixilharia	Descrição do Elemento
Vãos Envidraçados Exteriores	1,08	2,80	0,75	0,75	4	Caixilharia em PVC, vidro duplo de 6 mm cada um e caixa de ar de 4 mm composta por argon e classificada como classe de caixilharia 4. O dispositivo de proteção solar, exterior, é uma persiana de lâminas com isolamento com baixa permeabilidade ao ar.

Ainda no que toca aos envidraçados, foi necessário apurar em qual parede estes estão inseridos, a sua orientação e os ângulos para com os elementos de sombreamento do horizonte, por elementos horizontais e por elementos verticais.

O fator de sombreamento do horizonte (F_h), traduz o efeito provocado por obstruções existentes num ângulo de 120° , 60° para cada lado, em relação à perpendicular ao centro do vão envidraçado, conforme a vista em planta da Figura 17. Selecionados os obstáculos a incluir, a medição do respetivo ângulo deve ser efetuada entre a perpendicular ao centro do vão envidraçado e a linha que une este e o ponto superior do obstáculo, conforme vista em corte da Figura 17. O ângulo do horizonte deve ser calculado individualmente para cada vão.

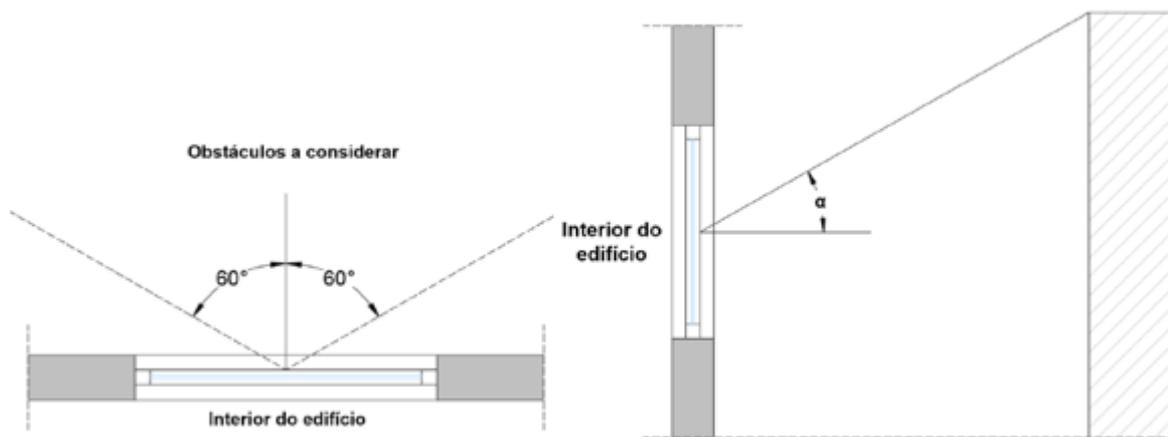


Figura 17: Ângulo de Horizonte α (Fonte: Manual SCE, 2021)

Em relação ao fator de sombreamento por elementos horizontais e verticais, por exemplo palas, varandas, paredes e outros elementos do edifício, e dependem do comprimento e ângulo de obstrução, medindo do ponto central do envidraçado como está representado na Figura 18.

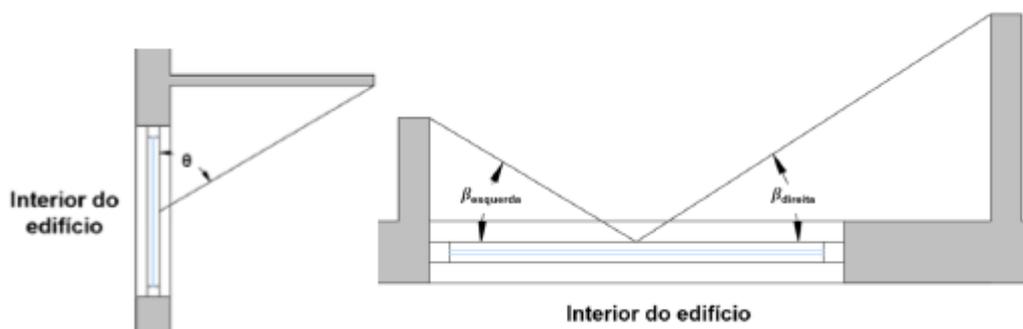


Figura 18: Ângulo por Elementos Horizontais (esquerda) e Elementos Verticais (direita) (Fonte: Manual SCE, 2021)

Pontes Térmicas Lineares e Planas

Em relação às pontes térmicas planas, estas são tratadas quando é utilizado um sistema de isolamento contínuo pelo exterior como na solução de reabilitação em causa. Desta forma, estas apresentam um U de $0,38 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

As pontes térmicas lineares ocorrem, principalmente, na mudança de materiais na envolvente do edifício criando uma área de maior transmissão de calor entre o interior e o exterior. As PTL podem resultar em perdas de calor significativas, condensações e desconforto térmico no edifício.

De maneira a mitigar esse problema, é necessário localizá-las e caracterizar mediante o coeficiente de transmissão térmica linear (ψ). Neste trabalho o coeficiente de transmissão térmica linear foi determinado considerando os valores indicados na tabela 33 do Manual SCE.

As perdas térmicas registadas nas pontes térmicas lineares são contabilizadas pelo produto do valor do coeficiente (Ψ), pelo desenvolvimento linear ou pelo comprimento da ponte térmica, que é medido pelo interior. As ligações existentes são:

- Fachada com pavimentos térreos;
- Ligação da Fachada com pavimentos sobre o exterior ou espaço interior não útil;
- Fachada com pavimento a nível intermédio;
- Fachada com varanda;
- Fachada com cobertura;
- Duas paredes verticais com ângulo saliente;
- Fachada com caixilharia;
- Zona de caixa de estores.

As pontes térmicas lineares existentes no caso de estudo para o primeiro, segundo e terceiro cenário de reabilitação bem como o seu comprimento, encontram-se na Tabela 14.

Tabela 14: Pontes Térmicas Lineares

Cenário de Reabilitação 1, 2 e 3				
Pontes Térmicas Lineares				
Tipo de Ligação Entre Elementos	Comp. B (m)	Sistema de Isolamento nas Paredes	Ψ	$\Psi_{REF.}$
Fachada com Pavimentos Térreos	39,19	Exterior	0,7	0,50
Fachada com Varanda	3,85	Exterior	0,6	0,50
Fachada com Caixilharia	88,74	Exterior	0,25	0,20
Fachada com Pavimento Sobre o Exterior ou ENU	29,83	Exterior	0,50	0,50
Duas Paredes Verticais em Ângulo Saliente	22,80	Exterior	0,40	0,40
Fachada com Cobertura	23,46	Exterior	0,70	0,50
Fachada com Pavimentos Intermédios	43,46	Exterior	0,19	0,50

Ventilação

A qualidade do ar interior tem um impacto significativo na saúde e bem-estar das pessoas que ocupam o edifício. Deste modo, é necessário ventilar o interior do edifício através de ventilação natural, sistema mecânico ou sistema misto. Um sistema de ventilação natural, é um sistema constituído por aberturas, passagens de ar e condutas, exclusivamente promovida pelos efeitos da variação de temperatura e ação do vento, que permitem assegurar a renovação de ar mínima estabelecida sem qualquer sistema mecânico e sem comprometer o conforto no interior do edifício.

A ventilação mecânica baseia-se, tal como o nome indica, em meios mecânicos que promovam a renovação do ar interior por extração e/ou insuflação de ar. Os sistemas mistos de ventilação, resultam

de uma combinação do sistema de ventilação natural, auxiliada pelos equipamentos de ventilação mecânica.

Em edifícios de habitação, como no caso de estudo, a norma EN 15242 refere que para edifícios novos ou sujeitos a grandes renovações, é necessário, no mínimo, 0,5 renovações de ar por hora. Desta forma, recorrendo a meios de ventilação mecânicos colocados nas casas de banho com um caudal nominal de 95 m³/h cada um, e complementando com a ventilação natural, obteve-se um valor de 0,62 renovações por hora de acordo com a folha de cálculo do ITeCons. Este valor encontra-se acima do mínimo estabelecido sem causar desconforto para os utilizadores. O sistema de ventilação descrito, será utilizado em todos os cenários de reabilitação.

Sistemas Técnicos

No que diz respeito aos sistemas técnicos, estes são entendidos como equipamentos que funcionam no sentido de aumentar o conforto no interior do edifício. Estes podem ser mais ou menos eficientes, e são alimentados através de energia, biomassa, gás natural/propano/butano, gásóleo, energia elétrica proveniente de fontes renováveis, eólica, hídrica, solar e geotérmica. Por norma, no certificado energético de uma habitação, estes sistemas têm muita influência na classificação.

No caso de estudo apresentado e neste primeiro cenário de reabilitação, os sistemas técnicos escolhidos são um recuperador de calor, colocado na sala de estar, e 4 painéis solares térmicos e apresentam um valor de colocação de 8541 €. Através da folha de cálculo da DGEG SCE.ER que se encontra em anexo, foi possível calcular o desempenho dos equipamentos.

O recuperador de calor com uma potência de 28,2 kW, é responsável pelo aquecimento da habitação através de radiadores e, em parte, também pelo aquecimento das águas quentes sanitárias.

Os painéis solares térmicos localizados na cobertura do edifício, têm como função o aquecimento das águas sanitárias e, como já referido, com o apoio do recuperador de calor na estação de aquecimento, e um termoacumulador elétrico de 200 litros. Considerando os 40 litros por ocupante, durante 365 dias por ano (DGEG 2020a), o cálculo foi efetuado através das seguintes regras:

T₀ para 2 ocupantes e T_n para n+1 ocupantes. Sendo o caso de estudo, um edifício T4, obrigatoriamente implica uma produção de AQS com capacidade para 5 ocupantes, 5 x 40 = 200 litros.

3.5.3 Segundo Cenário de Reabilitação

Evolvente Opaca

No 2º cenário de reabilitação, com um custo total de 83177,24 €, optou-se por modificar alguns elementos construtivos, como por exemplo o tipo de isolamento colocado na parede exterior e o local de

colocação do mesmo, que neste cenário foi colocado na parte de dentro do edifício. Também na cobertura e no piso térreo foi alterado o tipo de isolamento, com o objetivo de comparar o desempenho dos sistemas adotados em cada cenário.

Todas as alterações estão visíveis nas Tabela 15 e 16.

Tabela 15: Descrição dos Elementos Construtivos do Cenário de Reabilitação 2 (Continua)

Cenário de Reabilitação 2					
Envolvente Opaca					
Elemento Construtivo	Espessura (m)	$U_{sol.}$	$U_{máx.}$	Descrição do Elemento (Exterior para Interior)	Valor (€/m²)
Parede Exterior	0,41	0,24	0,50	Parede já existente constituída por reboco de cimento com 0,02 m, tijolo cerâmico perfurado de 0,25 m de espessura e reboco de gesso com 0,02 m, reabilitada pelo interior com estrutura metálica para aplicação de gesso cartonado com lâ mineral na alma dos montantes de 0,07 m e painel de poliestireno extrudido com 0,05 m.	110,41
Parede Exterior em Contacto com o Solo	0,39	0,23	0,50	Parede existente constituída por tela pitonada, reboco de cimento 0,02 m, tijolo cerâmico perfurado com 0,25 m, reboco de cimento com 0,02 m, reabilitada com estrutura de gesso cartonado composta por lâ mineral com 0,07 m e painel de poliestireno extrudido com 0,05 m.	110,41
Cobertura	0,15	0,31	0,40	Cobertura inclinada com estrutura em madeira, constituída por telha cerâmica tipo "Lusa" com 0,02 m, tela isotérmica, placa OSB de 0,022 m e poliuretano projetado com 0,1 m.	123,82
Pavimento Térreo	0,29	0,28	2,00	Piso existente composto por laje maciça de betão armado com 0,15 m, tela anti vapor e betonilha de regularização 0,08 m. Reabilitado com tela isotérmica, painel de poliestireno extrudido com 0,05 m, e material cerâmico de 0,005 m.	300,83
Laje entre Pisos	0,45	0,30	2,00	Material cerâmico com 0,005 m, betonilha de regularização com 0,07 m, membrana de isolamento a sons de percussão com 0,008 m, laje aligeirada existente com 0,25 m, teto falso composto por lâ mineral de 0,1 m e gesso cartonado de 0,015 m.	277,54
Laje entre Pisos (ENU)	0,45	0,30	0,40	Material cerâmico com 0,005 m, betonilha de regularização com 0,07 m, membrana de isolamento a sons de percussão com 0,008 m, laje aligeirada existente com 0,25 m, teto falso composto por lâ mineral de 0,1 m e gesso cartonado de 0,015 m.	277,54

Tabela 16: Descrição dos elementos Construtivos do Cenário de Reabilitação 2 (Conclusão)

Cenário de Reabilitação 2					
Envolvente Opaca					
Elemento Construtivo	Espessura (m)	$U_{sol.}$	$U_{máx.}$	Descrição do Elemento (Exterior para Interior)	Valor (€/m²)
Paredes Divisórias Interiores	0,13	0,34	2,00	Paredes divisórias compostas por estrutura metálica para gesso cartonado com uma placa por cada lado de 0,15 m e a alma dos montantes metálicos de 0,10 m preenchidos com lã mineral de 0,10 m.	49,66
Parede Divisória Lavandaria - Cozinha, WC - Lavandaria	0,13	1,79	2,00	Parede divisória composta por estrutura metálica e placa de gesso cartonado de 0,015 m, reboco com 0,02 m, tijolo cerâmico perfurado de 0,07 m, reboco de 0,02 m e material cerâmico de 0,005 m.	138,75
Pontes Térmicas Planas em Vigas - Laje	0,36	0,29	0,90	Ponte térmica através das vigas estruturais, compostas por betão armado e reabilitadas com estrutura de gesso cartonado com lã mineral na alma dos montantes de 0,07 m e painel de poliestireno extrudido com 0,05 m e isolamento contínuo no teto falso e no piso.	110,41

Envolvente Envidraçada

Na escolha dos vão envidraçados e caixilharia adotou-se uma caixilharia de alumínio, com um custo de 17545,52 €, de modo a haver um termo de comparação entre o alumínio e a escolhida anteriormente de PVC. A solução escolhida (Tabela 17) apresenta um coeficiente de transmissão térmica mais elevado comparativamente ao conjunto anteriormente adotado.

Tabela 17: Descrição dos Elementos Envidraçados

Cenário de Reabilitação 2						
Elemento Construtivo	$U_{sol.}$	$U_{Ref.}$	$g_{\perp,vi}$	F_g	Classe Caixilharia	Descrição do Elemento
Vãos Envidraçados Exteriores	1,2	2,80	0,75	0,70	4	Caixilharia em alumínio, vidro duplo de 6 mm cada um e caixa de ar de 4 mm composta por argon. Como dispositivo de proteção pelo exterior, existe persiana de lâminas com isolamento.

Pontes Térmicas

A colocação do isolamento pelo interior do edifício origina pontes térmicas planas, que ocorrem numa superfície plana como uma viga, um teto ou pilar. Estas podem causar perdas de calor significativas e como consequência aumentar o consumo de energia do edifício.

No presente caso, com a colocação do isolamento pelo interior, verificou-se a existência de pontes térmicas planas na transição parede, viga, pavimento numa extensão de 73,83 metros lineares. Na Figura 19 é apresentado um pormenor construtivo de uma ponte térmica plana.

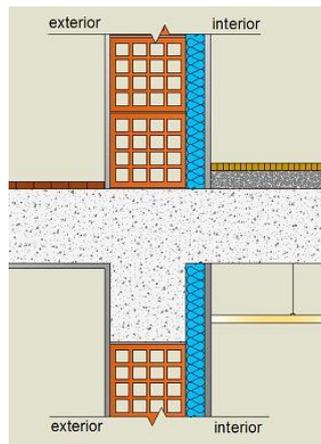


Figura 19: Ponte Térmica Plana (fonte: ITeCons)

De maneira a colmatar esta ponte térmica, estendeu-se o isolamento vertical até à laje e aplicou-se um isolamento contínuo no teto falso e piso.

No que toca a pontes térmicas lineares, estas apresentam-se na Tabela 14.

Sistemas Técnicos

No presente cenário de reabilitação, optou-se por uma combinação sugerida pela marca de referência “DAIKIN”, que conta com uma bomba de calor ar-água, com capacidade de 300 l, capaz de satisfazer as necessidades de aquecimento, arrefecimento e aquecimento das águas quentes sanitárias de toda a habitação, com o apoio de dois painéis solares térmicos da presente marca, mais eficazes do que os utilizados no cenário anterior, embora apresentem um custo mais elevado de 9613,33 €.

Este sistema, na sua totalidade, é constituído por uma unidade interior, uma unidade exterior e os painéis solares térmicos. As bombas de calor ar-água transferem energia do ar exterior para o interior da sua habitação, ou vice-versa. A unidade exterior da bomba de calor troca energia com o ar exterior e, com a ajuda de um fluido frigorígeno, liberta a energia a uma temperatura superior ou inferior para gerar aquecimento ou arrefecimento do ambiente e água quente.

Na função de AQS, a bomba de calor apenas serve 25% da fração, pois, a restante percentagem é coberta pelos painéis solares térmicos que contam com uma produtividade de 650 kWh/m².ano.

3.5.4 Terceiro Cenário de Reabilitação

Envolvente Opaca

Como último cenário de reabilitação e como se trata de uma reabilitação real, optou-se por estudar a solução realmente adotada na reabilitação do próprio edifício, embora esta apresente um elevado custo de 99496,26 €, que se encontra presente na Tabela 18.

Tabela 18: Descrição dos Elementos Construtivos do Cenário de Reabilitação 3 (Continua)

Cenário de Reabilitação 3					
Envolvente Opaca					
Elemento Construtivo	Espessura (m)	$U_{sol.}$	$U_{máx.}$	Descrição do Elemento (Exterior para Interior)	Valor (€/m²)
Parede Exterior	0,49	0,18	0,50	Sistema "ETICS" com poliestireno expandido (EPS) com 0,1 m e parede já existente constituída por reboco de cimento com 0,02 m, tijolo cerâmico perfurado de 0,25 m de espessura e reboco de gesso com 0,02 m, estrutura de gesso cartonado tipo com lã mineral no interior da alma dos montantes de 0,07 m e placa de gesso cartonado de 0,013 m.	141,11
Parede Exterior em Contacto com o Solo	0,39	0,23	0,50	Parede existente constituída por tela pitonada, reboco de cimento 0,02 m, tijolo cerâmico perfurado com 0,25 m, reboco de cimento com 0,02 m, reabilitada com estrutura de gesso cartonado composta por lã mineral com 0,07 m e placas de gesso cartonado de elevada resistência à humidade de 0,0125 m devido à humidade existente na área.	68,02
Cobertura	0,12	0,39	0,40	Cobertura inclinada com estrutura em madeira, constituída por telha cerâmica tipo "Lusa" com 0,02 m, placas OSB de 0,022 m, e poliestireno extrudido (XPS) com 0,1 m de espessura e tela isotérmica.	125,55
Pavimento Térreo	0,36	0,28	2,00	Piso existente composto por laje maciça de betão armado com 0,15 m, tela anti vapor e betonilha de regularização 0,08 m. Reabilitado com tela isotérmica, placas de poliestireno extrudido (XPS) com 0,05 m, betonilha de regularização com 0,07 m e material cerâmico com 0,005 m.	258,72

Tabela 19: Descrição dos Elementos Construtivos do Cenário de Reabilitação 3 (Conclusão)

Cenário de Reabilitação 3						
Envolvente Opaca						
Elemento Construtivo	Espessura (m)	$U_{sol.}$	$U_{máx.}$	Descrição do Elemento (Exterior para Interior)	Valor (€/m²)	
Laje entre Pisos	0,45	0,22	2,00	Material cerâmico com 0,005 m, betonilha de regularização com 0,07 m, tela isotérmica, laje aligeirada existente com 0,25 m, teto falso composto por lâ mineral de 0,15 m e gesso cartonado de 0,015 m.	268,76	
Laje entre Pisos (ENU)	0,45	0,22	0,40	Material cerâmico com 0,005 m, betonilha de regularização com 0,07 m, tela isotérmica, laje aligeirada existente com 0,25 m, teto falso composto por lâ mineral de 0,15 m e gesso cartonado de 0,015 m.	268,76	
Paredes Divisórias Interiores	0,13	0,34	2,00	Paredes divisórias compostas estrutura metálica para gesso cartonado com uma placa por cada lado de 0,15 m e a alma dos montantes de 0,10 m preenchidos com lâ mineral de 0,10 m.	49,66	
Parede Divisória Lavandaria - Cozinha, WC - Lavandaria	0,13	1,79	2,00	Parede divisória composta por estrutura metálica e gesso cartonado de 0,015 m, reboco com 0,02 m, tijolo cerâmico perfurado de 0,07 m, reboco de 0,02 m e material cerâmico de 0,005 m.	138,72	

Envolvente Envidraçada

Relativamente à envolvente envidraçada, como esta traduz o que realmente se adotou na reabilitação real, manteve-se os vãos envidraçados constituídos por caixilharia em PVC (Tabela 20), como na proposta de reabilitação 1.

Tabela 20: Descrição dos Elementos Envidraçados

Cenário de Reabilitação 3						
Elemento Construtivo	$U_{sol.}$	$U_{Ref.}$	$g_{\perp,vi}$	F_g	Classe Caixilharia	Descrição do Elemento
Vãos Envidraçados Exteriores	1,08	2,80	0,75	0,75	4	Caixilharia em PVC, vidro duplo de 6 mm cada um e caixa de ar de 4 mm composta por argon. Como dispositivo de proteção pelo exterior, existe persiana de lâminas com isolamento.

Sistemas Técnicos

Neste último cenário de reabilitação, teve-se como objetivo o aproveitamento máximo de energia proveniente de fontes renováveis produzidas no local através de painéis fotovoltaicos instalados na cobertura. A habitação conta com um recuperador de calor e uma bomba de calor da marca “BAXI” e 5 painéis fotovoltaicos. Os sistemas técnicos referidos, embora apresentem uma grande eficiência energética e um ótimo rendimento, apresentam um custo de 15049 €.

O recuperador de calor, localizado na sala de estar, é responsável pelo aquecimento de edifício e auxilia no aquecimento das águas quentes sanitárias.

A bomba de calor, alimentada maioritariamente pela energia produzida através dos painéis fotovoltaicos em teoria, está responsável pelo aquecimento das águas quentes sanitárias e pela climatização do edifício na estação de arrefecimento.

De forma a não colocar uma quantidade exagerada de painéis fotovoltaicos, recorreu-se à folha de cálculo da DGEG para o dimensionamento, obtendo uma produção de 2733 kWh/ano, capaz de fornecer energia para a bomba de calor e para uma grande parte dos consumos ferais do edifício.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Com base no Decreto-Lei 101-D/2021 de 7 de dezembro, que estabeleceu os requisitos aplicáveis à conceção e renovação de edifícios, com o objetivo de assegurar e apoiar a melhoria do desempenho energético promovendo o conforto ambiente e o comportamento térmico adequado dos edifícios, pretende-se analisar os resultados obtidos através da folha de cálculo do ITeCons para cada cenário de reabilitação definido, e também comparar o desempenho de cada cenário nas três localidades em estudo.

Através da análise destes resultados, é necessário interpretar cada indicador energético fornecidos pela folha de cálculo do ITeCons, indicados na Tabela 21.

Tabela 21: Indicadores Energéticos

Símbolo	Significado	Unidade
N_{ic}	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento.	kWh/m ² .ano
N_{vc}	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento.	kWh/m ² .ano
N_{tc}	Necessidades nominais anuais globais de energia primária.	kWh/m ² .ano
R_{nt}	Rácio da classe energética.	
Ren_{Hab}	Percentagem de energia renovável da habitação.	%
H_{ecs}	Coefficiente de transferência de calor por transmissão através de elementos em contacto com o solo.	W/°C
H_{ext}	Coefficiente de transferência de calor por transmissão através de elementos da envolvente em contacto com o exterior.	W/°C
$Q_{sol,v} EXT$	Ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar.	kWh

Neste capítulo é necessário salientar que para o efeito de edifícios com necessidades quase nulas de energia (nZEB) os edifícios têm de verificar o cumprimento das condições previstas para os edifícios sujeitos as grandes renovações, em função da sua zona climática, presentes no Despacho n.º 6476-E/2021 para habitações em que o ano de construção se situa entre 1960 e 1990, como por exemplo:

- Necessidades de aquecimento onde $N_{ic}/N_i \leq 1,25$;
- Necessidades de arrefecimento em que $N_{vc}/N_v \leq 1,25$;
- Classe energética igual ou superior a C;
- Energia primária total $R_{NT} \leq 1,50$;
- Energia primária renovável $Ren_{HAB} \geq 0,50$, quando renovada a rede de distribuição e o sistema de AQS.

4.1 Cenários com Localização em Lisboa

Na cidade de Lisboa, apresentando um clima ameno com invernos suaves e verões quentes, todos os cenários correspondentes à grande reabilitação definidos apresentaram a classe energética mais elevada (A+) respeitando os limites impostos pelo Despacho n.º 6476-E/2021. Os resultados obtidos de cada cenário, estão apresentados nas Tabela 22 e 23, complementando com uma visão gráfica (Figura 20 e Figura 21) onde fica claro o impacto das medidas aplicadas.

A análise dos resultados apresentados nas Tabela 22 e 23 e nas Figura 20 e Figura 21 é realizada nas Subsecções 4.1.1 à 4.1.4, para cada cenário.

Tabela 22: Indicadores Energéticos do Edifício, Lisboa

Lisboa									
	Cenário 0		1º Cenário		2º Cenário		3º Cenário		Limites
	Valor	Referência	Valor	Referência	Valor	Referência	Valor	Referência	
N_{ic}	183,4	50,2	27,2	50,2	22,9	50,6	21,3	49,0	
N_{ic} / N_i	3,65		0,54		0,45		0,43		1,25
N_{vc}	26,1	14,3	9,57	14,3	12,6	14,3	9,8	14,3	
N_{vc} / N_v	1,84		0,67		0,88		0,69		1,25
N_{tc}	482,8	100,6	23,9	100,6	24,7	108	1,8	97,2	
RN_{NT}	3,17	≤ 0,25	0,24	≤ 0,25	0,23	≤ 0,25	0,02	≤ 0,25	
	F		A+		A+		A+		
$Ren_{Hab} (%)$	56,7	≥ 50	60,3	≥ 50	88,4	≥ 50	210,3	≥ 50	

Tabela 23: Indicadores de Desempenho do Edifício, Lisboa

Indicadores de Desempenho					
		Cenário 0	1º Cenário	2º Cenário	3º Cenário
Indicadores de Aquecimento (W/°C)	Paredes em Contacto com o Exterior	274,79	77,77	49,33	46,66
	Elementos em Contacto com o Solo	65,2	30,91	29,08	29,34
	Envidraçados	134,95	42,87	47,63	35,72
	Cobertura	747,91	44,61	43,12	44,61
Indicadores de Arrefecimento (kWh)	Paredes em Contacto com o Exterior	1847,52	522,88	384,08	313,73
	Cobertura	9292,53	749,4	674	724,42
	Envidraçados	1660,05	1159,9	1342,62	1159,9
	Valor Reabilitação	4485,31 €	108898,50 €	114821,80 €	124499,57 €

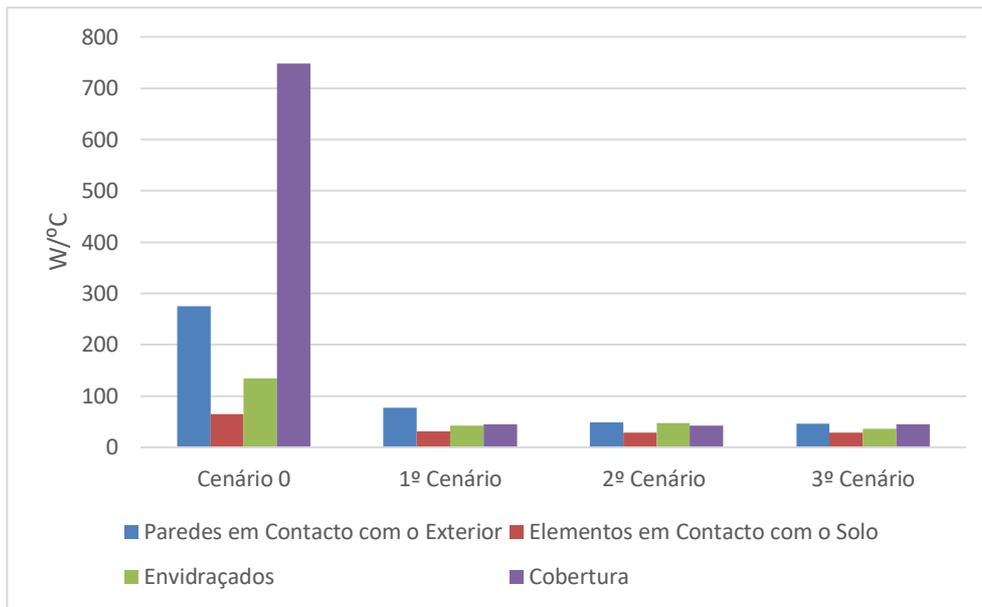


Figura 20: Indicadores de Aquecimento (Lisboa)

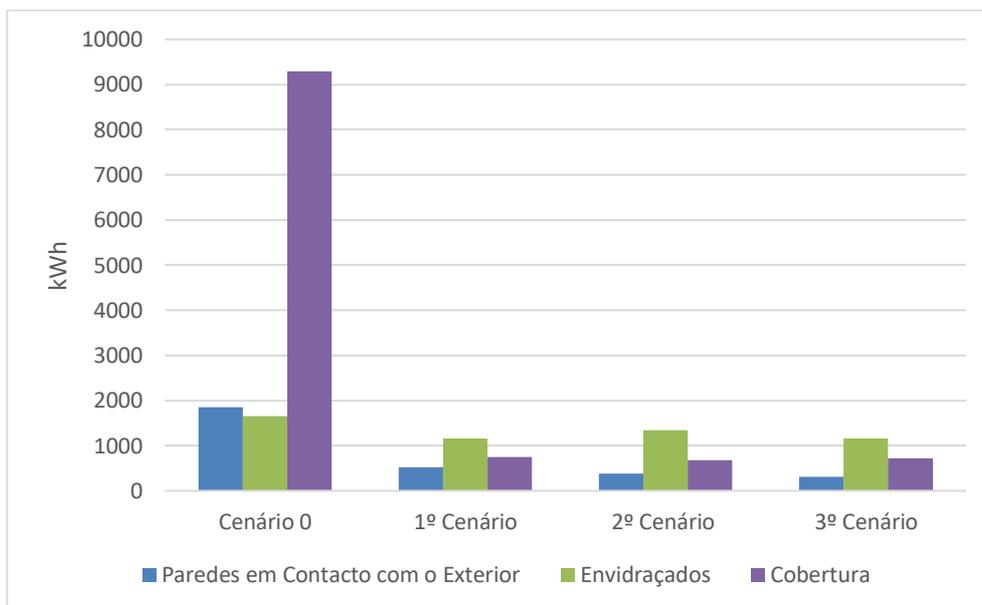


Figura 21: Indicadores de Arrefecimento (Lisboa)

4.1.1 Cenário 0

No Cenário 0 - manutenção, tendo em conta que apenas se melhorou o edifício a nível estético com uma pintura e nada foi acrescentado para a melhoria do desempenho térmico do edifício, não existem melhorias no que toca à envolvente e aos sistemas técnicos, mantendo este cenário o desempenho do edifício existente. O cenário 0, apresenta elevadas perdas por transferência de calor por todos os elementos em contacto com o exterior e tem uma elevada necessidade de aquecimento e arrefecimento para que seja possível manter a temperatura no interior do edifício igual ou superior a 18 °C na estação

de aquecimento e 25 °C na estação de arrefecimento, longe de cumprir os requisitos para um edifício nZEB.

Em contrapartida, o cenário 0 apresenta um valor extremamente baixo de execução de 4485,31 €, embora não cumpra qualquer requisito de um edifício nZEB impostos pela Portaria n.º 138-I/2021 apresentados na Tabela 8 e pelo Despacho n.º 6476-E/2021, apresentados na Tabela 22.

4.1.2 1º Cenário

No 1º Cenário, onde se iniciou o estudo de algumas soluções construtivas e sistemas técnicos possíveis de implementar para melhorar o desempenho do edifício, foi possível visualizar uma mudança significativa no comportamento térmico e energético na habitação comparando com o Cenário 0. Tendo em conta as soluções construtivas descritas da Tabela 10 juntamente com os sistemas técnicos apresentados no Capítulo 3, foi possível chegar aos resultados apresentados nas Tabela 22 e 23. Na análise dos resultados, destaca-se a elevada redução de perdas pelos elementos em contacto com o exterior (71% para as paredes exteriores e de 94% para a cobertura), a redução de 156,20 kWh/m².ano e 16,53 kWh/m².ano das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento respetivamente. Estes resultados devem-se ao isolamento implementado na envolvente e da elevada eficiência energética dos equipamentos adotados. Para a redução destes valores, é de uma grande importância a aplicação dos painéis solares térmicos para a produção de AQS.

Com estas soluções, foi possível obter um edifício com requisitos de nZEB. Numa análise económica comparando ao cenário anterior, este apresenta custos de execução mais elevados, de 108898,50 €.

4.1.3 2º Cenário

Com o objetivo de melhorar alguns aspetos menos positivos no cenário anterior, nomeadamente o aumento da percentagem de energia renovável na habitação, e a redução de perdas / ganhos dos elementos da envolvente exterior, estudou-se o impacto das medidas aplicadas no 2º Cenário de reabilitação.

Com estes ajustes foi possível diminuir praticamente todos os indicadores de desempenho exceto nos envidraçados, que com o uso das caixilharias em alumínio aumentou ligeiramente a energia transferida através dos mesmos, bem como os ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar. Houve também um ligeiro aumento em relação às necessidades nominais anuais globais de energia primária, justificada pelo aumento de 3,03 kWh/m².ano do N_{vc} , que nos indica um aumento da energia

necessária para manter o edifício a uma temperatura de 25°C na estação de arrefecimento. O facto de ter colocado o isolamento pelo interior do edifício, criando pontes térmicas e diminuindo a inércia térmica para o valor mais reduzido (fraca), também colabora com o aumento nas necessidades nominais globais de energia primária.

O aumento que neste cenário se destaca mais é o custo da reabilitação de 114821,80 €. Tendo em conta o resultado do desempenho energético do edifício (RN_{NT}) e os restantes indicadores de desempenho, considera-se uma reabilitação mais dispendiosa, mas que não oferece uma melhoria do desempenho energético tão significativo que justifique o aumento do investimento em relação ao 1º Cenário.

4.1.4 3º Cenário

Com a aplicação das soluções apresentadas no 3º Cenário, comparativamente ao 2º Cenário, observou-se uma redução de 1,6 e 2,8 kWh/m².ano (Tabela 22), nos valores das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, respetivamente. A redução destes valores é justificada pelas medidas implementadas como isolamento na envolvente do edifício e também a alta eficiência dos equipamentos de sistemas técnicos utilizados. Também as necessidades nominais anuais globais de energia primária sofreram uma redução de 22,9 kWh/m².ano, valor este que evidencia uma diminuição significativa da dependência energética em relação ao consumo de energia não produzida no local, sendo a energia consumida pelo edifício maioritariamente produzida através de fontes renováveis implantadas no local.

Sobre os indicadores de desempenho é notório algumas melhorias em certos elementos, como também um ligeiro agravamento em relação a outros, como por exemplo na cobertura tanto nos indicadores de aquecimento como de arrefecimento. Os valores relacionados com os indicadores de desempenho de aquecimento e arrefecimento, comparativamente ao cenário anterior, são similares, onde sobressai uma redução de energia por unidade de diferença de temperatura de 11,91 W/°C.

No que diz respeito ao custo da reabilitação (124499,57 €), apresenta um aumento significativo em relação aos cenários anteriores, embora tenha um desempenho energético elevado.

4.2 Cenários com Localização em Beja

Na segunda cidade em estudo, Beja, caracterizada por um clima mediterrâneo, com verões bastante quentes e secos, invernos amenos e chuvosos e com baixo teor de humidade, aplicando as mesmas

propostas de reabilitação de maneira a ser possível a comparação entre localidades, existiram algumas dificuldades em obter a classificação energética mais alta, independentemente do cenário implementado, cumprindo os limites estabelecidos para edifícios nZEB.

4.2.1 Cenário 0

No cenário 0, mais uma vez, não foi efetuada nenhuma alteração ao edifício para obter um melhor desempenho energético, apenas se procedeu a uma pintura para melhores condições habitacionais e de forma a este cenário funcionar como um cenário de referência para os seguintes.

Desta forma, os dados obtidos como indicadores de desempenho e relativamente às necessidades energéticas do edifício apresentam valores acima dos limites para o um edifício nZEB. Como é possível observar nas Tabela 24 e 25, no atual cenário o edifício apresenta valores de necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento elevadas, como também uma elevada necessidade energética para satisfazer todos os seus gastos energéticos anuais, como por exemplo, iluminação e fontes de aquecimento móveis.

Tabela 24: Indicadores Energéticos do Edifício, Beja

Beja									
	Cenário 0		1º Cenário		2º Cenário		3º Cenário		Limites
	Valor	Referência	Valor	Referência	Valor	Referência	Valor	Referência	
N_{ic}	217,2	61,11	35,2	61,1	29,4	61,6	28	59,8	
N_{ic} / N_{vc}	3,6		0,6		0,5		0,5		1,25
N_{vc}	75	30,6	23,1	30,6	23,3	30,6	22,1	30,6	
N_{vc} / N_v	2,5		0,8		0,8		0,7		1,25
N_{tc}	603,7	192,3	36,1	126,7	35,4	134,3	14,1	126,3	
RN_{NT}	3,14	$\leq 0,25$	0,28	$\leq 0,25$	0,26	$\leq 0,25$	0,11	$\leq 0,25$	
	F		A		A		A+		
$Ren_{Hab} (\%)$	67,1	≥ 50	60,1	≥ 50	88,4	≥ 50	210	≥ 50	

Tabela 25: Indicadores de Desempenho do Edifício, Beja

Indicadores de Desempenho					
		Cenário 0	1º Cenário	2º Cenário	3º Cenário
Indicadores de Aquecimento (W/°C)	Paredes em Contacto com o Exterior	274,29	77,77	49,93	46,66
	Elementos em Contacto com o Solo	200,54	33,99	29,08	29,34
	Envidraçados	134,95	42,87	47,63	35,72
	Cobertura	747,91	44,61	43,12	44,61
Indicadores de Arrefecimento (kWh)	Paredes em Contacto com o Exterior	1856,67	525,47	385,97	315,28
	Cobertura	9458,47	762,78	656,5	737,35
	Envidraçados	1669,74	1167,11	1350,96	1167,11
	Valor Reabilitação	4485,31 €	108898,50 €	114821,80 €	124499,57 €

4.2.2 1º Cenário

Neste 1º cenário de reabilitação, igual ao 1º cenário apresentado para a cidade de Lisboa, não obteve uma classificação energética ideal, onde desde já se percebe uma variação de clima com necessidades diferentes. Mesmo que todas as soluções encontradas para cada elemento construtivo e sistemas técnicos implementados no edifício cumpram os requisitos estabelecidos pela Portaria n.º 138-I/2021 e pelo Despacho n.º 6476-E/2021, não foram suficientes para atingir a classificação energética A+ (Tabela 24), sendo este cenário o que apresenta pior resultado dentro dos três correspondentes a grandes reabilitações.

Comparando com o Cenário 0, este apresenta uma redução significativa de perdas através da envolvente (Tabela 25) como já era de esperar. O elemento com maior destaque de redução de perdas é a cobertura com uma redução, relativamente ao Cenário 0, de 94%. Realça-se também uma redução significativa das necessidades energéticas (aquecimento, arrefecimento e energia primária) da habitação. Desta forma, os dados obtidos como indicadores de desempenho e relativamente às necessidades energéticas do edifício apresentam valores acima dos limites para um edifício nZEB. Como é possível observar nas Tabela 24 e 25, no atual cenário o edifício apresenta valores de necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento elevadas, como também uma elevada necessidade energética para satisfazer todos os seus gastos energéticos anuais, como por exemplo, iluminação e fontes de aquecimento móveis. Analisando em relação à cidade de Lisboa, os indicadores de desempenho

mantêm-se aproximadamente iguais sendo que os materiais mantêm as características, e é notável uma maior variação nas necessidades energéticas devido à diferença do clima como se pode observar na Tabela 26, sendo Beja uma cidade com maior necessidade energética para manter o edifício na temperatura de conforto.

Tabela 26: Comparação Indicadores Energéticos 1º cenário (Lisboa, Beja)

	Lisboa – 1º Cenário	Beja – 1º Cenário
N_{ic}	27,2	35,15
N_{vc}	9,57	23,08
N_{tc}	23,86	36,09

Em relação ao valor da reabilitação, este é o mais reduzido dos três cenários que correspondem a grandes reabilitações com um valor de 108898,50 €.

4.2.3 2º Cenário

Analisando o 2º Cenário de reabilitação, destaca-se mais uma vez a classificação energética A embora esta mais próxima da máxima classificação confrontando com o cenário anterior.

Mais uma vez, sendo que a reabilitação efetuada no edifício implantado na cidade de Beja é exatamente igual à do edifício em estudo na cidade de Lisboa, é natural que os indicadores de desempenho apresentem valores semelhantes ou até mesmo iguais, mesmo com um clima e Zona Climática de Verão diferentes.

Relativamente aos valores das necessidades energéticas estes sofreram uma redução de 16% no valor de N_{ic} e 26% no valor de N_{tc} , relativamente ao cenário anterior. Comparando ao valor de N_{vc} , este sofreu um ligeiro agravamento de 46%. Com isto, foi possível diminuir de uma forma pouco significativa o rácio da classe energética, sem alterar a sua classificação final.

Comparando as necessidades energéticas relativamente ao mesmo cenário, mas na cidade de Lisboa, dadas as diferenças climáticas as necessidades de aquecimento e arrefecimento são também distintas, tal como mostra a Tabela 27.

Tabela 27: Comparação Indicadores Energéticos 2º cenário, (Lisboa, Beja)

	Lisboa – 2º Cenário	Beja – 2º Cenário
N_{ic}	22,86	29,37
N_{vc}	12,6	23,28
N_{tc}	24,69	35,36

4.2.4 3º Cenário

O último cenário em análise, para o qual se obteve a máxima classificação energética, com um rácio relativamente reduzido (RN_{NT}), também apresenta os melhores valores em relação à transferência de energia através dos elementos com contacto com o exterior, comparando com os cenários anteriores, e onde as suas necessidades energéticas são inferiores, mesmo sendo mais elevadas do que no mesmo cenário apresentado na cidade de Lisboa (Tabela 28).

Tabela 28: Comparação Indicadores Energéticos 3º cenário (Lisboa, Beja)

	Lisboa – 3º Cenário	Beja – 3º Cenário
N_{ic}	21,33	28,01
N_{pc}	9,82	22,05
N_{tc}	1,79	14,05

A elevada redução de 60% do valor de N_{tc} em comparação com o cenário anterior, deve-se ao aumento de fontes de energia renovável que abastecem este edifício e a sua elevada eficácia. Para a redução deste valor, também tem grande relevância a classe energética de todos os sistemas técnicos adotados. O presente cenário embora apresente um valor superior ao 1º Cenário e o 2º Cenário, apresenta um elevado desempenho energético apresentando capacidades para uma verdadeira proposta de reabilitação para climas idênticos aos da cidade de Beja.

Nas Figura 22 e 23 é possível observar o impacto das medidas de reabilitação adotadas para o edifício em causa.

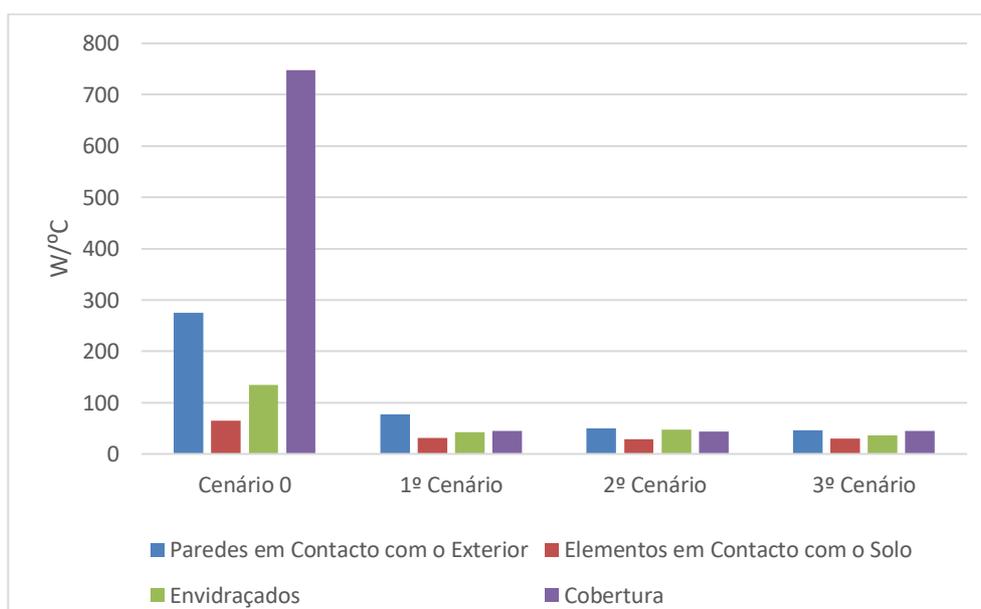


Figura 22: Indicadores de Aquecimento (Beja)

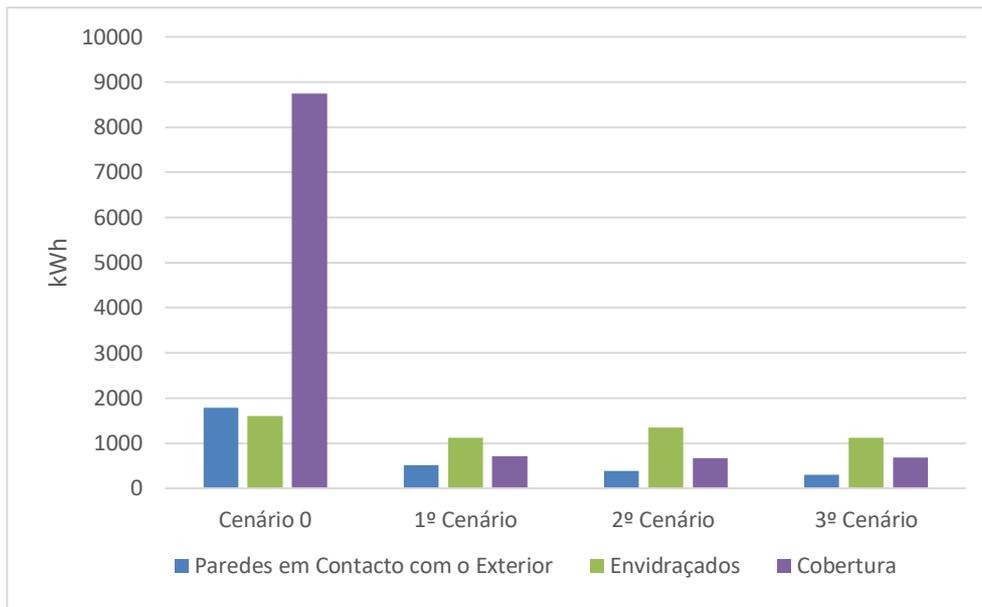


Figura 23: Indicadores de Arrefecimento (Beja)

4.3 Cenários com Localização em Bragança

Sendo Bragança uma cidade sujeita a temperaturas extremas na estação de arrefecimento e na de aquecimento, existe um maior desafio na escolha das soluções construtivas. Tendo sido analisados os três cenários de reabilitação para as três cidades de igual forma, a cidade que se apresentou mais desafiante, principalmente na estação de aquecimento, foi a cidade de Bragança. Ainda assim obteve-se a máxima classe energética para os dois primeiros cenários.

Nos resultados apresentados nas Tabela 29 e 30, e analisando a Figura 9, é captada a atenção para os valores das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, pois comparando com as outras cidades em estudo, em média, esta apresenta uma necessidade de aquecimento 72% superior a Lisboa e 58% superior a Beja, como se pode observar na Figura 24. Ou seja, na cidade de Bragança o edifício apresenta maiores necessidades de aquecimento tendo em conta as temperaturas a que está sujeito no decorrer da estação de aquecimento.

Em relação às necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento são apresentados valores relativamente baixos, o que indica que o edifício irá necessitar de pouca energia para manter a temperatura de conforto no seu interior comparando com as outras cidades, como se pode observar na Figura 25, e traduz o bom desempenho do isolamento aplicado na envolvente do edifício para temperaturas mais elevadas.

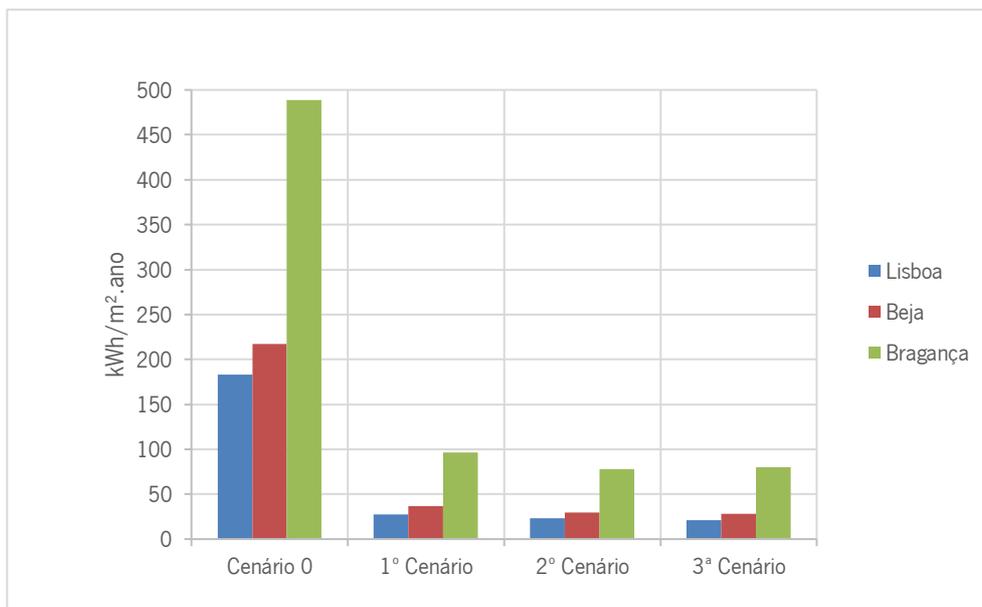


Figura 24: Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil para Aquecimento

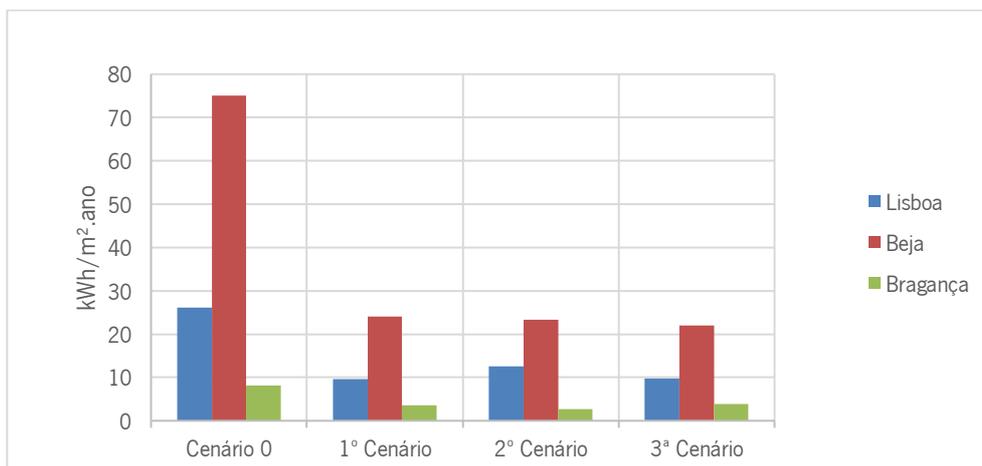


Figura 25: Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil para Arrefecimento

4.3.1 Cenário 0

Mais uma vez, o Cenário 0 é o cenário base, o termo de comparação da evolução dos restantes cenários, em que apenas se efetuou uma pintura no interior do edifício de forma que este fique nas condições mínimas de habitabilidade. Destaca-se, de novo, o elevado desempenho energético dos restantes cenários em comparação com o cenário zero, com principal relevância a grande necessidade de aquecimento do edifício, e como consequência, o elevado consumo energético para que este se mantenha nas condições ideais de temperatura.

4.3.2 1º Cenário

O 1º cenário, o cenário de menor valor de reabilitação, apresenta valores satisfatórios em relação ao seu desempenho atingido a mais elevada classificação energética. É notória, mais uma vez, a elevada necessidade de aquecimento no presente cenário quando confrontada com o mesmo cenário apresentado nas cidades anteriores, como se pode observar na Figura 24 e a redução da necessidade de arrefecimento do edifício, mesmo que em Bragança se registem temperaturas elevadas na estação de arrefecimento (Figura 25).

Na Tabela 29, é possível observar o valor da necessidade nominal anual global de energia primária, que, por curiosidade, é o mais reduzido comparando com o mesmo cenário nas restantes cidades. Com uma necessidade de aquecimento elevada, a escolha de um equipamento para aquecimento eficiente, faz com que a necessidade nominal anual global de energia primária reduza de forma significativa. Sendo uma zona rural, faz ainda mais sentido adotar um sistema de aquecimento a biomassa.

Sendo a proposta de reabilitação mais em conta a nível económico, o elevado desempenho energético da mesma e apresentando uma margem de melhoria a nível dos equipamentos técnicos, apresenta-se como uma proposta de reabilitação com potencial para climas idênticos ao da cidade de Bragança.

Tabela 29: Indicadores Energéticos do Edifício, Bragança

Bragança									
	Cenário 0		1º Cenário		2º Cenário		3º Cenário		Limites
	Valor	Referência	Valor	Referência	Valor	Referência	Valor	Referência	
N_{ic}	488,4	120,4	96,6	120,4	78,1	123,3	80,2	118,2	
N_{ic} / N_{vc}	4,1		0,8		0,6		0,7		1,25
N_{vc}	8,2	5,9	3,6	5,9	2,7	5,9	3,9	5,9	
N_{vc} / N_v	1,4		0,6		0,5		0,7		1,25
N_{tc}	1185,4	315,8	20,1	175,5	15	176	53,9	186,3	
RN_{NT}	3,75	≤ 0,25	0,11	≤ 0,25	0,08	≤ 0,25	0,29	≤ 0,25	
	F		A+		A+		A		
$Ren_{Hab} (%)$	150,9	≥ 50	64,2	≥ 50	94,1	≥ 50	101,2	≥ 50	

4.3.3 2º Cenário

Relativamente ao 2º cenário, este apresenta uma classe energética A+ com um rácio ligeiramente mais baixo do que o cenário anterior (27%). Observa-se uma redução de transferência de calor através dos elementos da envolvente, exceto nos envidraçados, sendo notada uma ligeira redução nas necessidades energéticas (Tabela 30). O presente cenário, apresenta necessidades de aquecimento mais reduzidas em 20%, comparando com o cenário anterior, mas um aumento significativo em relação ao mesmo cenário, considerando o edifício localizado em Lisboa e Beja (Figura 24). Esta diminuição ocorre devido

à melhoria do isolamento na envolvente, e à eficiência energética dos equipamentos que fazem parte desta proposta de reabilitação. Uma melhor eficiência energética dos sistemas técnicos, implica uma redução da necessidade nominal anual global de energia primária (N_{tc}).

Tabela 30: Indicadores de Desempenho do Edifício, Bragança

Indicadores de Desempenho					
		Cenário 0	1º Cenário	2º Cenário	3º Cenário
Indicadores de Aquecimento (W/°C)	Paredes em Contacto com o Exterior	274,79	77,77	49,93	46,66
	Elementos em Contacto com o Solo	65,2	30,91	29,08	29,34
	Envidraçados	134,95	42,87	47,63	35,72
	Cobertura	747,91	44,61	43,12	44,61
Indicadores de Arrefecimento (kWh)	Paredes em Contacto com o Exterior	1787,09	505,78	384,08	303,47
	Cobertura	8739,4	704,79	674,46	681,3
	Envidraçados	1602,05	1118,28	1342,62	1118,28
	Valor Reabilitação	4485.31 €	108898,50 €	114821,80 €	124499,57 €

O atual cenário apresenta um elevado desempenho energético que satisfaz as necessidades exigidas pelo clima envolvente, em contrapartida, este apresenta um elevado custo de investimento, em que na maioria das vezes tem um peso bastante significativo na escolha da opção para reabilitar um edifício.

4.3.4 3º Cenário

Neste último cenário, embora cumpra todas as exigências regulamentares impostas, não foi possível obter a classificação energética A+, pois, nesta situação é mais eficiente utilizar sistemas de aquecimento eficientes tendo em conta as necessidades no edifício, do que um sistema renovável de base solar, dado que não tem a mesma capacidade de captação de Beja ou até mesmo Lisboa.

Repara-se num aumento das necessidades energéticas em relação ao cenário anterior e comparando o mesmo cenário nas outras cidades. Importante salientar uma ligeira redução em relação ao 1º cenário abordado, com exceção das necessidades de energia primária, em que se observa um elevado acréscimo, de 63%, em relação ao 1º cenário e de 73% em relação ao 3º cenário, que acaba por contribuir para a redução do desempenho energético, mesmo existindo uma elevada percentagem de energias produzida a partir de fontes renováveis no local. Em relação aos indicadores de desempenho

apresentados nas Figura 26 e 29, existem certas melhorias comparando com os cenários anteriores em determinados elementos, como nas paredes em contacto com o exterior e nos envidraçados, e um ligeiro aumento nos restantes elementos, como já se tem vindo a notar nas análises anteriores.

Sendo o presente cenário mais dispendioso e apresentando um menor desempenho energético, apresenta um custo-benefício mais reduzido, não sendo o cenário mais adequado também para esta localização.

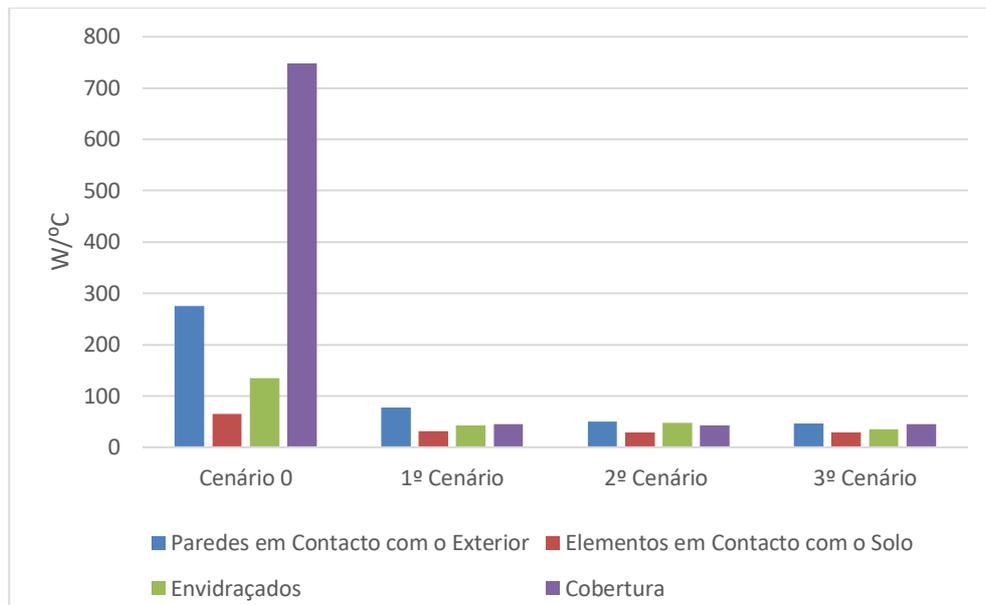


Figura 26: Indicadores de Aquecimento (Bragança)

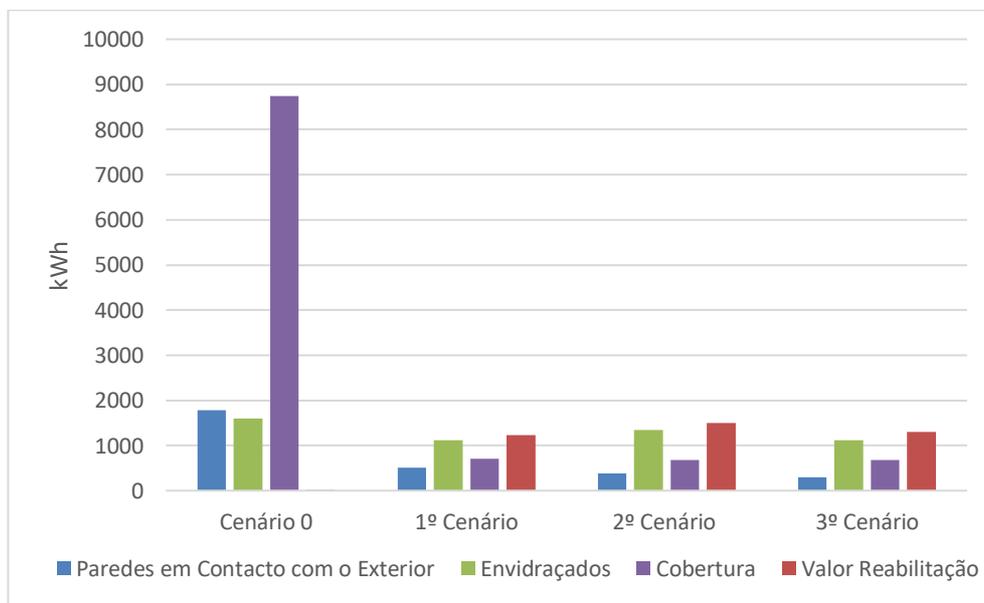


Figura 27: Indicadores de Arrefecimento (Bragança)

4.4 Redução da Pobreza Energética

As soluções adotadas e analisadas anteriormente apresentam um outro objetivo: reduzir o consumo de energia para aquecimento e arrefecimento da habitação, de modo a mitigar a situação de pobreza energética das famílias. Para esta análise, foi considerado que no edifício habitava uma família com o salário médio mensal português, 2713,70 € por casal, com um total anual de 37991,80 € (PORDATA 2023).

De maneira a analisar o pretendido, foi necessário processar os dados fornecidos pela folha de cálculo utilizada durante a dissertação relativos às necessidades nominais de energia útil para aquecimento, arrefecimento e energia primária (N_{ic} , N_{vc} e N_{tc}) para manter o interior do edifício à temperatura mínima de conforto de 18 °C na estação de aquecimento e 25 °C na estação de arrefecimento. Com a soma das necessidades energéticas do edifício em kWh, foi necessário multiplicar pelo valor praticado em Portugal do kWh de 0,15 € (Pinto 2023), de modo que fosse possível calcular qual a percentagem do salário, gasto por ano, contabilizando os 14 meses de vencimento, para manter o interior do edifício nas temperaturas de conforto, para ver qual a percentagem salarial gasta em energia.

Iniciando esta análise com as características em que o edifício se encontrava antes de qualquer renovação, o Cenário 0, era expectável o elevado consumo energético em qualquer região, tendo em conta as características térmicas do edifício e a ausência de equipamentos de aquecimento e arrefecimento eficientes.

Na Tabela 31, é possível observar o elevado consumo do edifício em média por ano, aumentando de região para região, devido à alteração do clima e às necessidades de cada região. Estes resultados são característicos de edifícios ineficientes tanto a nível térmico como energético, representando estes uma grande percentagem do parque habitacional português.

Tabela 31: Consumo e Gastos Energéticos Médios Anuais

Localidade	Cenário de Reabilitação	Consumo Energético (kWh/ano)	Custo Anual	% Salarial
Lisboa	Cenário 0	38269,31	5778,67 €	15%
	1º Cenário	3714,20	1013,84 €	3%
	2º Cenário	6475,00	977,72 €	3%
	3º Cenário	5687,99	858,89 €	2%
Beja	Cenário 0	53357,55	8056,99 €	21%
	1º Cenário	11153,21	1684,13 €	4%
	2º Cenário	9613,89	1451,70 €	4%
	3º Cenário	9140,96	1380,28 €	4%
Bragança	Cenário 0	90673,68	13691,73 €	36%
	1º Cenário	18294,69	2762,50 €	7%
	2º Cenário	14757,73	2228,42 €	6%
	3º Cenário	15343,88	2316,93 €	6%

Na Tabela 31, é possível também observar a despesa com energia para assegurar a temperatura mínima de conforto, de acordo com o estipulado no SCE para o cálculo do consumo energético dos edifícios, que em Bragança chega a 36% do salário médio de um casal em Portugal, o que mostra o impacto da energia necessária para aquecimento e arrefecimento no orçamento das famílias e por que motivo muitos agregados familiares não conseguem assegurar as condições mínimas de conforto. Nos restantes cenários, já com medidas implementadas para que o edifício seja nZEB, foi possível reduzir a percentagem salarial gasta para aquecimento e arrefecimento do edifício em mais de 83%.

Nas medidas de reabilitação adotadas, embora haja um investimento inicial para a implementação de equipamentos mais eficientes e colocação de isolamento na envolvente exterior da habitação, a longo prazo este irá ser recuperado tendo em conta a poupança energética para manter o edifício nas temperaturas desejadas durante o ano.

Para ajudar na compreensão da importância deste tipo de intervenções, foi elaborado um orçamento para cada proposta de reabilitação, que indica qual o investimento inicial da empreitada relativamente a cada cenário que estão detalhados no Anexo III. Na Tabela 32 é possível observar o investimento inicial.

Tabela 32: Valores das Propostas de Orçamentos dos Cenários de Reabilitação

	1º Cenário	2º Cenário	3º Cenário
Valor de Reabilitação Total	108898,50 €	114821,80 €	124499,57 €

Desta forma, tendo em conta a disponibilidade financeira da família em causa, é possível analisar a proposta e comparar com os gastos anuais de energia como é apresentado na Tabela 33, e calcular o tempo que demoraria para reaver o investimento feito no edifício para melhorar as condições de conforto dos seus ocupantes, contabilizando a quantia poupada na energia investida na reabilitação.

Tabela 33: Cálculo Tempo de Retorno do Investimento

Localidade	Cenário	Custo Reabilitação	Gasto Energético Anual (€)		Poupança Anual	Retorno do Investimento (Anos)
			N/ Reabilitado	Reabilitado		
Lisboa	1º Cenário	108898,50 €	5778,67 €	1013,84 €	4764,82 €	22,9
	2º Cenário	114821,80 €		977,72 €	4800,94 €	23,9
	3º Cenário	124499,57 €		858,89 €	4919,78 €	23
Beja	1º Cenário	108898,50 €	8056,99 €	1684,13 €	6372,86 €	17,1
	2º Cenário	114821,80 €		1451,70€	6605,29 €	17,4
	3º Cenário	124499,57 €		1380,28€	6676,71 €	18,7
Bragança	1º Cenário	108898,50 €	13691,73 €	2762,50 €	10929,23 €	10
	2º Cenário	114821,80 €		2228,42 €	11463,31 €	10
	3º Cenário	124499,57 €		2316,93 €	11374,80 €	11

Analisando a Tabela 32, realça-se o elevado investimento inicial para melhoria do conforto no interior de uma habitação. Tudo depende do clima onde o edifício está inserido. Nota-se que em Lisboa, considerada uma cidade de clima ameno, os gastos energéticos são mais reduzidos, ou seja, não existe tanta necessidade de aquecimento e arrefecimento como nas outras duas cidades. Daí, aplicando as medidas de reabilitação, o gasto energético anual para manter o edifício em temperaturas mínimas de conforto, reduz para valores muito baixos. Desta forma, tendo em conta as condições financeiras da família, poderia ser feita uma reabilitação parcial, ou seja, de apenas um elemento (paredes, caixilharias ou cobertura) ou aplicando somente uns equipamentos mais eficientes, de forma a reduzir o custo de investimento inicial, e a retirar a família de uma situação de pobreza energética.

Já na cidade de Beja, onde o edifício está sujeito a temperaturas mais altas na estação de arrefecimento, apresenta um gasto energético anual superior em 28% do gasto energético anual de Lisboa. Desta forma, existe uma maior necessidade de uma renovação total do edifício. Com as medidas de reabilitação propostas, é visível a redução significativa do consumo energético do edifício. Assim, é possível reaver o investimento num prazo de, em média, 17,5 anos.

Por último, numa cidade mais desafiante a nível de temperaturas, a cidade de Bragança, uma família com um salário médio nacional, apresenta um grau de pobreza energética mais acentuado em relação a Lisboa e Beja. O edifício estudado apresenta um gasto energético, sem qualquer reabilitação, superior em duas vezes o valor do mesmo edifício situado na cidade de Lisboa. Neste caso, o investimento inicial é recuperado em cerca de 10 anos, com uma redução de 84% no gasto energético anual.

É necessário ter em atenção que uma grande parte dos agregados familiares portugueses não têm disponibilidade financeira para investir no conforto térmico das suas habitações, não climatizando os edifícios, e olhando para os valores apresentados na Tabela 32 do custo de cada reabilitação, também não dispõem de capacidade económica para a realização das obras de reabilitação, o que explica o elevado número de famílias portuguesas em situação de pobreza energética e sem sistemas de aquecimento ou arrefecimento no edifício.

4.5 Medidas de Adaptação e Mitigação às Alterações Climáticas

A Agência Portuguesa do Ambiente (APA), organismo público responsável pela coordenação da política ambiental em Portugal, no âmbito da mitigação e adaptação às alterações climáticas, tem desenvolvido um conjunto de medidas que se enquadram na Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas (ENAAC 2020) prorrogada até 31 de dezembro de 2025. A mitigação e adaptação das alterações climáticas, são conceitos diferentes, mas que se baseiam nos mesmo princípios e complementam-se.

A adaptação às alterações climáticas tem como objetivo reduzir a vulnerabilidade da sociedade e do território aos efeitos das mudanças previsíveis do clima, nomeadamente a maior frequência e intensidade de eventos meteorológicos extremos referidos no parágrafo 2.5 (APA 2021a). O Programa de Ação para a Adaptação às Alterações Climáticas (P-3AC), tem como objetivo implementar medidas de adaptação, com linhas de ação concretas de intervenção direta no território e nas infraestruturas, complementando os trabalhos realizados no contexto da ENAAC 2020 (Governo da República Portuguesa 2019a).

Para os edifícios habitacionais, foram traçadas linhas de ação e medidas que ditam a redução da vulnerabilidade das áreas urbanas às ondas de calor e ao aumento da temperatura máxima (Governo da República Portuguesa 2019a). Essas medidas apresentam como principais objetivos: regular a temperatura em espaços urbanos e minimizar os efeitos negativos do calor intenso na saúde das populações em geral. Alguns exemplos de medidas de adaptação às alterações climáticas em edifícios,

incluem a implementação de infraestruturas verdes, utilização de materiais naturais como material de construção e a renaturalização e recuperação da permeabilidade de pavimentos (APA 2021d).

A mitigação é uma ação de resposta às alterações climáticas que consiste em reduzir as emissões de gases de efeito de estufa (GEE) e aumentar os seus sumidouros, como florestas (APA 2021b). Assim, as intervenções ao nível da mitigação contribuem para minimizar o efeito de estufa provocado por estes gases e reduzir o aquecimento global do planeta. Este objetivo é atingido através de medidas que diminuem as emissões de gases de efeito de estufa nos setores mais críticos da economia e de planos que definem medidas e metas nacionais para essa redução (APA 2021b).

Sendo o setor dos edifícios um dos maiores emissores de GEE, apresenta também uma elevada margem de progressão com a implementação das medidas estabelecidas.

Na análise deste caso de estudo, a aplicação de sistemas de isolamento na envolvente exterior (paredes, cobertura e janelas), contribui para um maior conforto térmico no interior da habitação reduzindo as perdas de calor no inverno e a entrada de calor no verão. Com isto, é possível lidar com as ondas de calor consequentes das alterações climáticas, contribuindo para um menor gasto energético, menos emissões de GEE, e funcionando também como uma medida de adaptação às alterações climáticas.

Em relação aos sistemas de climatização e produção de AQS adotados, apresentam elevada eficiência energética para além de serem alimentados por fontes de energia renovável como por exemplo, painéis fotovoltaicos ou painéis solares térmicos no auxílio da produção de águas quentes sanitárias.

Outras medidas de mitigação às alterações climáticas não abordadas nestas propostas de reabilitação, passam pela utilização de iluminação eficiente, de modo a reduzir o consumo energético; a gestão de água, como por exemplo, implementando sistemas de reutilização de água para irrigação ou descarga nas casas de banho, e também adotar dispositivos de economia de água, como torneiras de baixo fluxo e sistemas de irrigação eficientes.

Para além das medidas descritas, é necessário ter em conta a resiliência às alterações climáticas. A resiliência implica um pensamento futuro na projeção e no planeamento dos edifícios para resistir a eventos extremos como também considerar projeções futuras de temperatura e padrões climáticos. Este planeamento é possível ser feito através de programas de simulação dinâmica, como por exemplo o EnergyPlus.

Com esta análise, conclui-se que o edifício cumpre uma grande parte das medidas de mitigação das alterações climáticas, e que poderá estar adaptado para enfrentar a mudança das condições climatéricas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

No presente trabalho foi usada a ferramenta de cálculo fornecida pelo ITeCons, que utiliza uma metodologia simplificada, para calcular a classificação energética do edifício, para perceber a influência de algumas soluções de reabilitação na envolvente e avaliar as melhorias de eficiência energética para tornar um edifício convencional num edifício nZEB com um maior nível de conforto térmico. Esta ferramenta tem um modelo de cálculo estacionário, em que os parâmetros térmicos não variam ao longo do tempo.

Embora não seja possível avaliar diretamente o conforto térmico humano no interior do edifício como em programas de simulação dinâmica, conclui-se que os resultados alcançados de classificação energética A+ e com necessidades nominais anuais globais de energia primária reduzidas, apresentam a capacidade de conforto desejada no interior do edifício, e que os três cenários estudados com vista à reabilitação energética irão ter um impacto muito positivo em edifícios com características idênticas.

Com a análise dos resultados obtidos é possível identificar qual o cenário de reabilitação mais benéfico tendo em conta a localização. Para a cidade de Lisboa, destaca-se com elevado desempenho o 3º Cenário que em contrapartida apresenta um custo mais elevado e o 1º cenário que é o que apresenta melhor relação custo/benefício.

Em relação à cidade de Beja, o 3º Cenário, que apresenta a melhor classificação energética (A+), é o mais dispendioso para a reabilitação (124499,57 €), aumentando em 2 anos o tempo de retorno do investimento inicial. Assim sendo, destaca-se como cenário mais económico para esta localização o 2º Cenário.

Por último, na cidade mais desafiadora estudada nesta dissertação, a cidade de Bragança, apenas dois cenários atingiram o nível máximo da classe energética, o 1º e 2º Cenários. Tendo em conta a redução de perdas e ganhos da envolvente, as necessidades energéticas de cada um dos cenários, e o tempo de retorno do investimento, destaca-se o 2º Cenário como sendo o mais vantajoso para implementar no edifício nesta localização.

No decorrer das análises realçou-se a importância de estudar a prioridade de reabilitação de cada elemento. Esta análise é realmente importante tendo em conta o elevado investimento necessário para fazer uma reabilitação total do edifício, tendo em conta que uma grande parte da população não tem disponibilidade financeira para tal. Desta forma, foi possível descobrir quais os elementos da envolvente suscetível a maiores perdas ou ganhos térmicos. De acordo com os dados fornecidos pela folha de

cálculo, foi possível fazer uma média para as três localidades do elemento que mais contribuía para as perdas de calor na estação de arrefecimento e na de aquecimento.

Na estação de aquecimento, existem maiores perdas pela cobertura como se pode observar na Figura 28. Já na estação de arrefecimento, o elemento com maiores ganhos térmicos através da radiação solar divide-se entre a cobertura e os envidraçados (Figura 29).

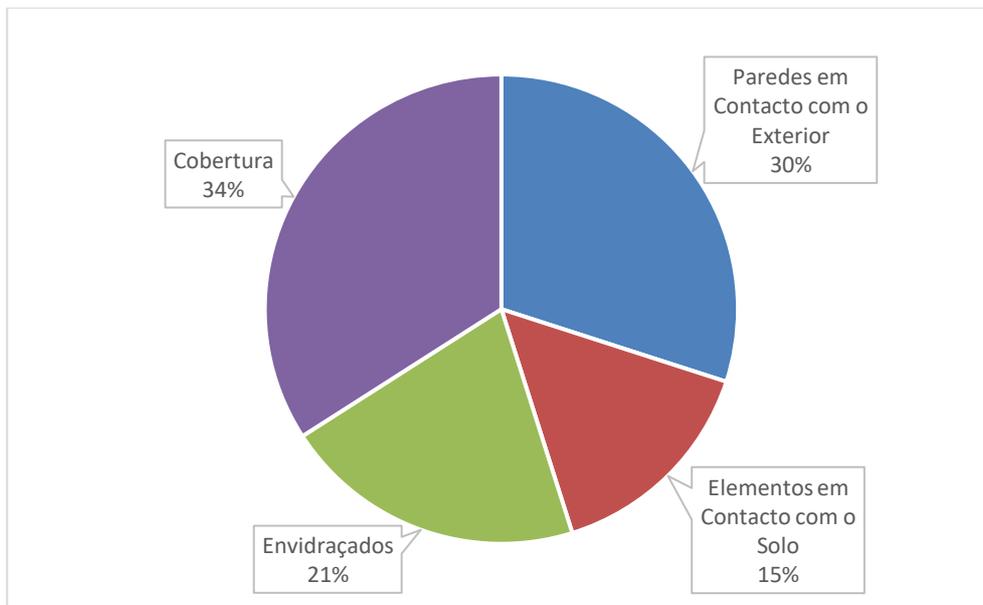


Figura 28: Transferências de Calor Através da Envoltente

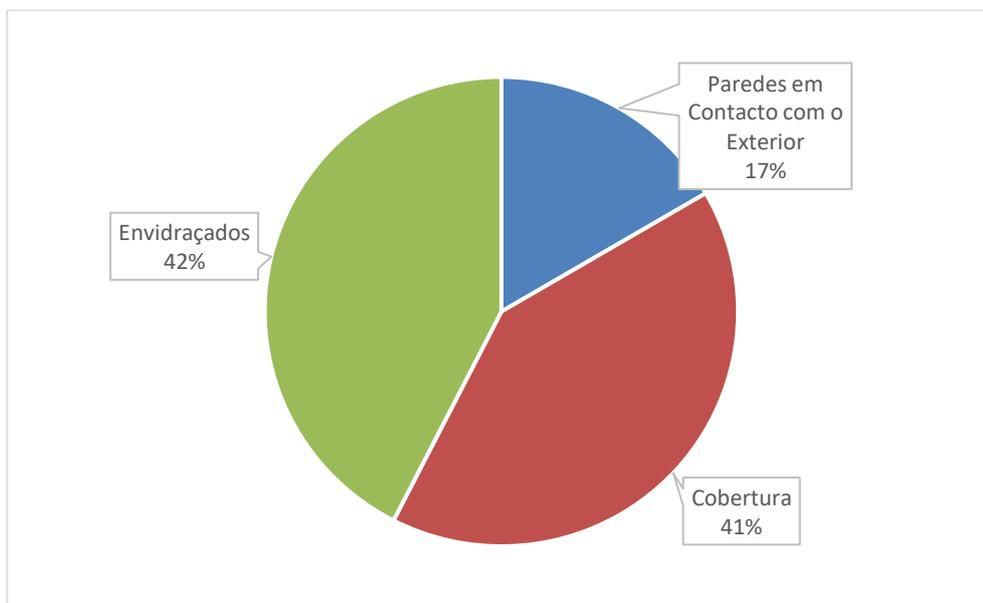


Figura 29: Ganhos Térmicos Através da Radiação Solar

Em relação ao conforto térmico, ainda é possível concluir que, à medida que se melhora o conforto térmico na estação de aquecimento, tem tendência a piorar na estação de arrefecimento. A

implementação de isolamento térmico no edifício faz com que a temperatura do ar interior do mesmo seja naturalmente uma temperatura melhor do que a esperável nos meses mais frios relativamente a um edifício sem isolamento. Isto acontece pela capacidade que o isolamento tem de diminuir as perdas térmicas através da envolvente. Em contrapartida, esta solução poderá aumentar o desconforto térmico durante os meses mais quentes, devido a tornar a temperatura do ar no interior do edifício ainda mais elevada por falta de ventilação. Deste modo, é necessário implementar equipamentos de proteção solar como os adotados no edifício em estudo e, se assim se justificar, sistemas AVAC, de forma a regular a temperatura no interior do edifício.

Em jeito de conclusão, todas as medidas de eficiência adotadas nesta dissertação têm um grande impacto no consumo e conforto energético do edifício, bem como na emissão de GEE e um papel fundamental na redução da pobreza energética. É importante salientar que seria mais completo avaliar o impacto que estas soluções têm em termos práticos com a utilização da metodologia de simulação energética dinâmica.

Estes resultados apresentados, sendo de uma moradia tradicional portuguesa, demonstram que uma grande parte do parque habitacional português é ineficiente termo-energéticamente, pois apresentam níveis de conforto térmico muito baixos e consumos energéticos elevados, contribuindo para a elevada percentagem da população a viver em condições de pobreza energética. Para além disso, não cumprem quaisquer medidas de mitigação ou adaptação às alterações climáticas.

5.1 Trabalhos Futuros

Com este subcapítulo pretende-se apresentar propostas de trabalhos futuros que visam o aperfeiçoamento e a continuidade deste trabalho sendo que, o conforto e o bom desempenho termo-energético dos edifícios é um assunto de elevada relevância e que cada vez mais deve ser estudado. Desta forma, seria interessante desenvolver em trabalhos futuros os seguintes pontos:

- Analise dos impactes ambientais de cada proposta de resolução;
- Analise dos índices energéticos com alterações da área dos envidraçados, elementos de sombreamento (palas, vegetação);
- Análise das mesmas propostas de reabilitação em locais com um clima mais agressivo em ambas as estações (aquecimento e arrefecimento);
- Apresentar propostas de reabilitação com diferentes perspetivas.

REFERÊNCIAS

- APA. 2021a. «Adaptação | Agência Portuguesa do Ambiente». Obtido 29 de Janeiro de 2024 (<https://apambiente.pt/clima/adaptacao>).
- APA. 2021b. «Mitigação». Obtido 12 de Janeiro de 2024 (<https://apambiente.pt/clima/mitigacao>).
- APA. 2021c. «Mitigação | Agência Portuguesa do Ambiente». Obtido 3 de Janeiro de 2024 (<https://apambiente.pt/clima/mitigacao>).
- APA. 2021d. «Programa de Ação para a Adaptação às Alterações Climáticas (P-3AC)». Obtido 29 de Janeiro de 2024 (<https://apambiente.pt/clima/programa-de-acao-para-adaptacao-alteracoes-climaticas-p-3ac>).
- APA. 2021e. «Progresso alcançado». Obtido 24 de Janeiro de 2024 (<https://apambiente.pt/clima/progresso-alcancado>).
- APA. 2023a. «Energias renováveis | Relatório do Estado do Ambiente». Obtido 3 de Janeiro de 2024 (<https://rea.apambiente.pt/content/energias-renov%C3%A1veis>).
- APA. 2023b. «Energias renováveis, Relatório do Estado do Ambiente». Obtido 7 de Novembro de 2023 (<https://rea.apambiente.pt/content/energias-renov%C3%A1veis>).
- Bertoldi, Paolo, Marina Economidou, Valentina Palermo, Benigna Boza-Kiss, e Valeria Todeschi. 2021. «How to finance energy renovation of residential buildings: Review of current and emerging financing instruments in the EU». *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment* 10(1). doi: 10.1002/WENE.384.
- BPIE. 2021. *Um Guia para a Eficiência dos Edifícios Europeus: Principais desenvolvimentos regulamentares e políticos*.
- Cardoso, Filipa. 2022. «Combustíveis fósseis representam 77% do aquecimento e arrefecimento na UE». Obtido 19 de Dezembro de 2023 (<https://edificioseenergia.pt/noticias/aquecimento-arrefecimento-0803/>).
- DGEG. 2020a. *Guia SCE - Parâmetros de Cálculo*.
- DGEG. 2020b. «Pobreza Energética». Obtido 13 de Abril de 2023 (<https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-transversais/politicas-de-protecao-ao-consumidor-de-energia/pobreza-energetica/>).
- DGEG. 2023. *Estatísticas rápidas das renováveis*.
- da Estrela, Serra, Porto Moniz, Ribeira Brava, Santa Cruz, São Vicente, e Porto Santo. 2013. *Despacho n.º 15793-F/2013*.

Governo da República Portuguesa. 2019a. *Diário da República, 1.ª série Presidência do Conselho de Ministros*.

Governo da República Portuguesa. 2019b. *Plano Nacional Energia-Clima*.

Governo da República Portuguesa. 2021. *Portaria n.º 138-I/2021*.

Governo da República Portuguesa. 2022. *Resolução do Conselho de Ministros*.

Governo da República Portuguesa. 2023. «Programa de Apoio a Edifícios Mais Sustentáveis - XXIII Governo - República Portuguesa». Obtido 3 de Janeiro de 2024 (<https://www.portugal.gov.pt/pt/gc23/comunicacao/noticia?i=programa-de-apoio-a-edificios-mais-sustentaveis>).

Instituto Nacional de Estatística. 2022. *Censos 2021 Resultados Definitivos - Portugal*.

Instituto Nacional de Estatística. 2022. *Estado do Ambiente em 2021*.

IPMA. 2023. *Boletim Anual*.

LNEC. 2006. *Coeficientes de Transmissão térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*.

Masson-Delmotte, Valérie, Jim Skea, Anna Pirani, Roz Pidcock, Yang Chen, Elisabeth Lonnoy, e et al. 2018. «Aquecimento global de 1,5 °C».

Ministério das Obras Públicas, Transporte e Comunicações. 1990. *Decreto-Lei nº 40/90*.

Parlamento Europeu. 2023. «Redução das emissões de carbono: objetivos e políticas da União Europeia». Obtido 19 de Dezembro de 2023 (<https://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/society/20180305STO99003/reducao-das-emissoes-de-carbono-metas-e-politicas-da-ue>).

Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia. 2002. *Diretiva 2002/91/CE*.

Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia. 2010. *Diretiva 2010/31/UE*.

Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia. 2018a. *Diretiva (UE) 2018/844*.

Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia. 2018b. *Diretiva (UE) 2018/844*.

Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia. 2021. *Regulamento (UE) 2021/1119*.

Pinto, Mariana. 2023. «Preço kWh da Eletricidade e Gás Natural em Portugal». Obtido 8 de Janeiro de 2024 (<https://luzegas.pt/precos/preco-kwh>).

PORDATA. 2023. «Portugal: Salário médio mensal dos trabalhadores por conta de outrem: remuneração base e ganho por sexo | Pordata». Obtido 8 de Janeiro de 2024 (<https://www.pordata.pt/portugal/salario+medio+mensal+dos+trabalhadores+por+conta+de+outrem+remuneracao+base+e+ganho+por+sexo-894>).

Presidência do Conselho de Ministros. 2020. *Decreto-Lei n.º 101-D/2020*.

SCE. 2022. «Estatísticas - Sistema de Certificação Energética dos Edifícios». Obtido 2 de Janeiro de 2024
(<https://www.sce.pt/estatisticas/>).

SNS. 2023. «Proteja-se contra o frio». Obtido 24 de Janeiro de 2024
(<https://www.sns24.gov.pt/guia/proteja-se-contra-o-frio/>).

ANEXO I – ANOS METEOROLÓGICOS DE REFERÊNCIA EXEMPLO- LISBOA

Na Figura 30 está representada a folha de cálculo SCE.CLIMA como exemplo, onde foi possível analisar a temperatura mensal média, Zonas Climáticas de inverno e verão de cada cidade e duração da estação de aquecimento e arrefecimento, tendo em conta a sua altitude e local

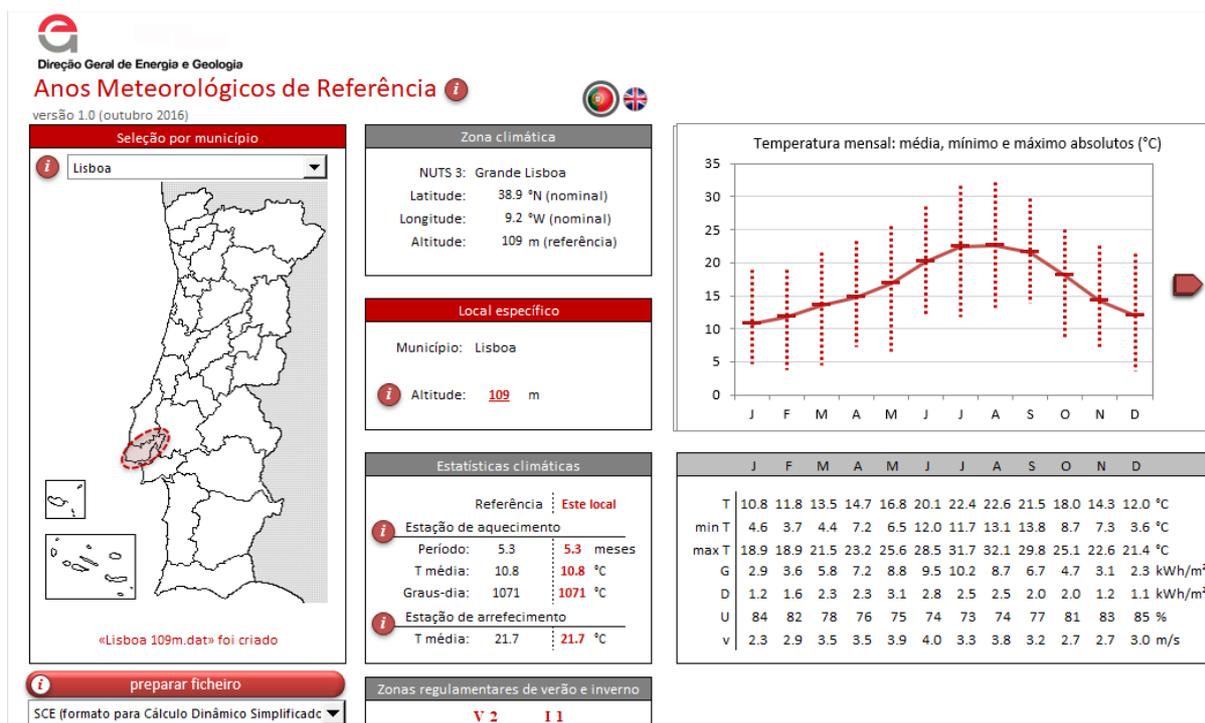


Figura 30: Anos Meteorológicos de Referência - Lisboa

ANEXO III – PROPOSTAS DE ORÇAMENTOS PARA CADA CENÁRIO

Na Tabela 34 à Tabela 39, estão representadas as propostas de orçamento para cada cenário de reabilitação incluindo o mapa de quantidades e custo de cada elemento a reabilitar e respetivos sistemas técnicos.

Tabela 34: Proposta de Orçamento do 1º Cenário de Reabilitação (Continua)

Art.	Designação dos Trabalhos	Un.	Quant.	Preço Unit.	Parciais	Totais
1.	Trabalhos de Reabilitação – Cenário 1					87712,38 €
1.1	Fornecimento e aplicação de sistema ETICS formado por painéis de lã de rocha nas paredes em contacto com o exterior, incluindo montagem e desmontagem de andaimes para trabalhos em altura, camada de regularização e camada de acabamento.	m ²	404,74	88,84 €	35957,10 €	
1.2	Fornecimento e aplicação de gesso cartonado com elevada resistência à humidade em parede em contacto com o solo, juntamente com isolamento térmico na alma dos montantes composto por lã mineral.	m ²	31,91	68,02 €	2170,22 €	
1.3	Fornecimento e aplicação de placas OSB, poliestireno extrudido (XPS) e telha cerâmica tipo “lusa” para cobertura inclinada, incluindo todos os trabalhos, materiais e equipamentos necessários à perfeita execução da obra.	m ²	149,20	118,60 €	17694,60 €	
1.4	Fornecimento e aplicação de placas de poliestireno extrudido (XPS), betonilha de regularização e material cerâmico para pavimento térreo, incluindo todos os trabalhos, materiais e equipamentos necessários à perfeita execução da obra.	m ²	104,91	254,69 €	26719,53 €	
1.5	Fornecimento e aplicação de gesso cartonado com uma placa por cada lado e isolamento no interior na alma dos montantes composto por lã mineral para paredes divisórias, incluindo todos os trabalhos, materiais e equipamentos necessários à perfeita execução da obra.	m ²	30,80	49,66 €	1529,53 €	
1.6	Execução de parede divisória composta por placa de gesso cartonado, parede de tijolo cerâmico rebocada de ambos os lados e revestimento cerâmico no interior do lado do WC, incluindo todos os trabalhos, materiais e equipamentos necessários à perfeita execução da obra.	m ²	26,25	138,72 €	3641,40 €	
1.7	Execução de pintura geral do interior do edifício.	Vg			4485,31 €	

Tabela 35: Proposta de Orçamento do 1º Cenário de Reabilitação (Conclusão)

Art.	Designação dos Trabalhos	Un.	Quant.	Preço Unit.	Parciais	Totais
2.	Sistemas Técnicos					8541 €
2.1	Fornecimento e aplicação recuperador de calor, 4 painéis solares térmicos e termoacumulador elétrico.	Vg.	1	8 541 €		
3.	Caixilharia					9469,16 €
3.1	Fornecimento e aplicação de caixilharia em PVC, com vidro duplo de 6 mm e caixa de ar com 14 mm composta por argon, incluindo dispositivos de proteção pelo exterior de persiana de lâminas com isolamento.					
	Dimensões:					
	1,20 x 1,20 m	Un.	7	328,05 €	2296,35 €	
	2,00 x 2,20 m	Un.	3	873,04 €	2619,12 €	
	0,90 x 2,20 m	Un.	3	413,21 €	1239,63 €	
	2,40 x 2,20 m	Un.	3	966,52 €	2899,56 €	
	0,80 x 1,10 m	Un.	1	252,90 €	252,90 €	
	0,50 x 0,50 m	Un.	1	161,66 €	161,66 €	
Total dos Trabalhos a Realizar:					108898,50 €	

Tabela 36: Proposta de Orçamento do 2º Cenário de Reabilitação (Continua)

Art.	Designação dos Trabalhos	Un.	Quant.	Preço Unit.	Parciais	Totais
1.	Trabalhos de Reabilitação – Cenário 2					83177,24 €
1.1	Fornecimento e aplicação de estrutura de gesso cartonado com lâ mineral na alma dos montantes e revestimento a painel de poliestireno extrudido no interior das paredes exteriores, incluindo todos os trabalhos, materiais e equipamentos necessários à perfeita execução da obra.	m²	221,44	110,41 €	24449,19 €	
1.2	Fornecimento e aplicação de estrutura de gesso cartonado revestida com painel de poliestireno extrudido, juntamente com isolamento térmico na alma dos montantes composto por lâ mineral, em parede em contacto com o solo.	m²	31,91	110,41 €	3523,18 €	

Tabela 37: Proposta de Orçamento do 2º Cenário de Reabilitação (Conclusão)

Art.	Designação dos Trabalhos	Un.	Quant.	Preço Unit.	Parciais	Totais
1.3	Fornecimento e aplicação de placas OSB, tela isotérmica, poliuretano projetado e telha cerâmica tipo "lusa" para cobertura inclinada, incluindo todos os trabalhos, materiais e equipamentos necessários à perfeita execução da obra.	m²	149,20	123,82 €	18473,94 €	
1.4	Fornecimento e aplicação de tela isotérmica, painel de poliestireno extrudido de alta densidade para pisos e material cerâmico para pavimento térreo, incluindo todos os trabalhos, materiais e equipamentos necessários à perfeita execução da obra.	m²	104,91	300,83 €	31560,08 €	
1.5	Fornecimento e aplicação de gesso cartonado com uma placa por cada lado e isolamento no interior na alma dos montantes composto por lã mineral para paredes divisórias, incluindo todos os trabalhos, materiais e equipamentos necessários à perfeita execução da obra.	m²	30,80	49,66 €	1529,53 €	
1.6	Execução de parede divisória composta por placa de gesso cartonado, parede de tijolo cerâmico rebocada de ambos os lados e revestimento cerâmico no interior do lado do WC, incluindo todos os trabalhos, materiais e equipamentos necessários à perfeita execução da obra.	m²	26,25	138,72 €	3641,40 €	
1.7	Execução de pintura geral do interior do edifício.	Vg			4485,31 €	
2.	Sistemas Técnicos					9613,73 €
2.1	Fornecimento e aplicação de recuperador de calor, 2 painéis solares térmicos e bomba de calor.	Vg.	1	9613,73 €	9613,73 €	
3.	Caixilharia					17545,52 €
3.1	Fornecimento e aplicação de caixilharia em PVC, com vidro duplo de 6 mm e caixa de ar com 14 mm composta por argon, incluindo dispositivos de proteção pelo exterior de persiana de lâminas com isolamento.					
	Dimensões:					
	1,20 x 1,20 m	Un.	7	780,43€	5463,01 €	
	2,00 x 2,20 m	Un.	3	1456,61€	4369,83 €	
	0,90 x 2,20 m	Un.	3	778,82€	2336,46 €	
	2,40 x 2,20 m	Un.	3	1508,40€	4525,20 €	
	0,80 x 1,10 m	Un.	1	515,09€	515,09 €	
	0,50 x 0,50 m	Un.	1	335,93€	335,93 €	
Total dos Trabalhos a Realizar:					114821,8 €	

Tabela 38: Proposta de Orçamento do 3º Cenário de Reabilitação (Continua)

Art.	Designação dos Trabalhos	Un.	Quant.	Preço Unit.	Parciais	Totais
1.	Trabalhos de Reabilitação – Cenário 3					99496,26 €
1.1	Fornecimento e aplicação de sistema ETICS formado por painéis de poliestireno expandido (EPS), nas paredes em contacto com o exterior do lado exterior, e forra de paredes com gesso cartonado e lã mineral no interior da alma dos montantes no interior das paredes, incluindo montagem e desmontagem de andaimes para trabalhos em altura, camada de regularização e camada de acabamento.	m ²	404,74	101,84 €	49914,67 €	
		m ²	221,44	39,27 €		
1.2	Fornecimento e aplicação de gesso cartonado com elevada resistência à humidade em parede em contacto com o solo, juntamente com isolamento térmico na alma dos montantes composto por lã mineral.	m ²	31,91	68,02 €	2170,22 €	
1.3	Fornecimento e aplicação de placas OSB, poliestireno extrudido (XPS), tela isotérmica e telha cerâmica tipo “lusa” para cobertura inclinada, incluindo todos os trabalhos, materiais e equipamentos necessários à perfeita execução da obra.	m ²	149,20	125,60 €	18739,52 €	
1.4	Fornecimento e aplicação de tela isotérmica, placas de poliestireno extrudido (XPS), betonilha de regularização e material cerâmico para pavimento térreo, incluindo todos os trabalhos, materiais e equipamentos necessários à perfeita execução da obra.	m ²	104,91	258,72 €	27142,32 €	
1.5	Fornecimento e aplicação de gesso cartonado com uma placa por cada lado e isolamento no interior na alma dos montantes composto por lã mineral para paredes divisórias, incluindo todos os trabalhos, materiais e equipamentos necessários à perfeita execução da obra.	m ²	30,80	49,66 €	1529,53 €	
1.6	Execução de parede divisória composta por placa de gesso cartonado, parede de tijolo cerâmico rebocada de ambos os lados e revestimento cerâmico no interior do lado do WC, incluindo todos os trabalhos, materiais e equipamentos necessários à perfeita execução da obra.	m ²	26,25	138,72 €	3641,40 €	
1.7	Execução de pintura geral do interior do edifício.	Vg			4485,31 €	
2.	Sistemas Técnicos					15049 €
2.1	Fornecimento e aplicação recuperador de calor, painéis fotovoltaicos e bomba de calor.	Vg.	1	15 049 €	15049 €	

Tabela 39: Proposta de Orçamento do 3º Cenário de Reabilitação (Conclusão)

Art.	Designação dos Trabalhos	Un.	Quant.	Preço Unit.	Parciais	Totais
3.	Caixilharia					9469,16 €
3.1	Fornecimento e aplicação de caixilharia em PVC, com vidro duplo de 6 mm e caixa de ar com 14 mm composta por argon, incluindo dispositivos de proteção pelo exterior de persiana de lâminas com isolamento.					
	Dimensões:					
	1,20 x 1,20 m	Un.	7	328,05 €	2296,35 €	
	2,00 x 2,20 m	Un.	3	873,04 €	2619,12 €	
	0,90 x 2,20 m	Un.	3	413,21 €	1239,63 €	
	2,40 x 2,20 m	Un.	3	966,52 €	2899,56 €	
	0,80 x 1,10 m	Un.	1	252,90 €	252,90 €	
	0,50 x 0,50 m	Un.	1	161,66 €	161,66 €	
Total dos Trabalhos a Realizar:					128499,57 €	