



**Catarina Vale
Janeiro**

**REABILITAÇÃO TÉRMICA E ENERGÉTICA DE
EDIFÍCIOS SOCIAIS**



Catarina Vale Janeiro REABILITAÇÃO TÉRMICA E ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS SOCIAIS

Relatório intermédio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Doutor Romeu da Silva Vicente, Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e co-orientação científica do Doutor António José Pereira de Figueiredo investigador do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Aos meus pais e às estrelinhas que estão sempre comigo.

o júri

presidente

Prof. Doutor Joaquim Miguel Gonçalves Macedo
Professor auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Ricardo Manuel dos Santos Ferreira de Almeida
Professor adjunto do Instituto Politécnico de Viseu - Escola Superior de Tecnologia (Arguente)

Prof. Doutor Romeu da Silva Vicente
Professor associado da Universidade de Aveiro (Orientador)

agradecimentos

Chegou ao fim mais uma etapa da minha formação. Foram várias as pessoas que colaboraram direta e indiretamente as quais merecem o meu reconhecimento pessoal e gratidão. Não é possível enumerar todos os que me ajudaram a crescer enquanto pessoa, limito-me, portanto, a referir alguns que me incentivaram e ajudaram a realizar este Mestrado.

A vocês Mãe e Pai por todo o apoio, carinho, acompanhamento, dedicação e amor incondicional que sempre manifestaram para comigo, sendo o exemplo para que eu me tornasse na Mulher e Mãe que sou hoje! Pelo facto de me terem proporcionado e apoiado no meu percurso académico o meu agradecimento especial!

Às minhas estrelinhas que partiram antes de poderem partilhar este momento comigo. Avós, Tio Zé e grande amigo MJ a conquista é minha, mas a vitória é nossa!

A ti, Francisco, pela força e motivação que me deste quando mais precisava.

Ao meu querido filho David porque passou a ser, também, o centro do meu universo, pelos dias e noites sossegado que deu à Mama e que permitiram que eu pudesse fazer e concluir este meu percurso académico, consigo no meu coração e no meu ventre.

Aos amigos pelo apoio e companheirismo ao longo do meu percurso académico, em especial Ana Luísa.

Agradeço, igualmente, ao meu Orientador, Professor Doutor Romeu Vicente, pela disponibilidade com que direccionou e acompanhou esta dissertação traduzida em comentários e sugestões.

Ao Coorientador Doutor António Figueiredo por ter contribuído com esclarecimentos de dúvidas e obstáculos que foram surgindo ao longo da Tese. E ao Eng. Rui Oliveira pela incansável ajuda e paciência manifestada durante esta investigação

Por último, o meu muito obrigado à Câmara Municipal de Aveiro, pela possibilidade facultada, que tornou possível a realização do presente caso de estudo.

palavras-chave

Simulação dinâmica de edifícios, conforto térmico, habitação social, influência da ocupação humana no conforto térmico, Passive House .

resumo

O aumento das exigências da sociedade conduz a inevitáveis alterações e impactos no meio ambiente. Dados estatísticos da União Europeia referem que os edifícios são os responsáveis por 40% do consumo total de energia. De forma a minimizar e combater estes consumos foram desenvolvidas diretivas, normas, atualização de regulamentos com o objetivo maior de promover a sustentabilidade e proteger o meio ambiente das gerações futuras. Assim com o intuito de baixar a emissão de gases para a atmosfera foram criados vários standards e ferramentas para apoio à conceção, entre outros, o conceito Passive House, que é aplicado em construções novas, e o conceito EnerPHit, é utilizado em construções já existentes e ainda o conceito nZEB (nearly zero energy buildings).

Em Portugal existe uma realidade social e económica dos bairros de habitação social, onde residem população de classe social mais desfavorável, sem recursos financeiros e conseqüentemente sem práticas de aquecimento e/ou arrefecimento e ventilação do ambiente interior e ainda com problemas de sobreaquecimento dos espaços. Assim é conveniente adotar estratégias de reabilitação passiva, que embora apresentam um elevado investimento inicial, a longo prazo apresentam custos de operação relativamente baixos com um conforto térmico aceitável.

Foi escolhido para o caso de estudo um edifício multifamiliar dos anos 80 de habitação social. Foi ainda desenvolvido um modelo numérico com base na tipologia da construção original, com o intuito de avaliar o conforto térmico existente deste edificado de baixa qualidade construtiva da envolvente externa. Por fim, foram realizados diferentes estudos paramétricos com a intenção de avaliar se o conforto térmico de uma determinada fração (designada de fração alvo) é influenciado pela ocupação humana das frações adjacentes. Este aspeto é importante na ótica do gestor deste tipo de edificado social, no consumo energético das habitações e ainda de uma forma menos influente orientação de soluções e ações de reabilitação do edificado multifamiliar.

keywords

Dynamic simulation of buildings, thermal comfort, Passive House, Influence of human occupation on thermal comfort.

abstract

The increase of the demands of society, has lead to inevitable changes and impacts on the environment. Statistical date from the European Union, buildings are responsible for 40% of total energy consumption. In order to reduce energy consumption levels different directives, nodes and update of thermal codes have been developed to promote the must objective of sustainability and protect the environment for future generations. Therefore, with the aim to reduce greenhouse gas emissions to the atmosphere, amongst many codes, standards and design tools created, the Passive House concept, which is applied for new buildings, and the concept of EnerPHit, is used in existing buildings and the nZEB concept (nearly zero energy buildings).

In Portugal there is a social and economic reality of the neighborhoods of social housing, where there is a population of the most disadvantaged social class, without financial resources and consequently without practices of heating and / or cooling and ventilation of the interior environment and still with problems of overheating of the spaces. Thus, passive rehabilitation strategies should be adopted, which, although having a high initial investment, in the long run have relatively low operating costs with acceptable thermal comfort.

It was chosen as the case study a multifamily social housing building from the 80's. A numerical model was developed and based on the typology of the original construction, with the aim of assessing thermal comfort conditions. Finally, different parametric studies were carried out with the goal of assessing whether the thermal comfort of a certain flat (called target flat) is influenced by the occupation of adjacent flats of the same building. This is important in the guidance of solutions and measures for the rehabilitation of multifamily building typology.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL	15
ÍNDICE FIGURAS	19
ÍNDICE TABELAS	21
LISTA DE ACRÓNIMOS	23
1 Introdução	3
1.1 Enquadramento Geral	3
1.2 Objetivos.....	4
1.3 Organização e estrutura da dissertação	5
2.4.1 - Evolução da Habitação Social em Portugal	8
2 Reabilitação térmica e energética de edifícios	9
2.1 Enquadramento	9
2.2 Conforto Térmico.....	12
2.3 Evolução da Regulamentação Térmica em Portugal	12
2.3.1 Certificação Energética em Portugal.....	13
2.4 Reabilitação de Edifícios de Habitação Social	14
2.4.1 Evolução da Habitação Social em Portugal	15
2.4.2 Caracterização Atual da Habitação Social	17
3 Passive house e estratégias de modelação	21
3.1 Conceito e Requisitos Passive House.....	21
3.2 Conceito e Norma <i>EnerPHit</i>	25
3.3 Estratégias de Simulação	27
4 Descrição do caso de estudo	31
4.1 Zona Climática	31

4.1.1 Enquadramento	31
4.1.2 Caracterização do Clima na Região em Estudo	31
4.1.3 Dados Climáticos Locais	33
4.2 Caracterização do Caso de Estudo.....	34
4.2.1 Implantação do Edifício.....	34
4.2.2 Geometria e Fator de Forma.....	35
4.3 Caracterização das Soluções Construtivas do Edifício	38
4.3.1 Soluções Construtivas e Propriedades Térmicas.....	38
4.4 Condições de Conforto Térmico Interior	44
4.4.1 Estanquidade ao Ar	45
4.4.2 Monitorização da Temperatura e da Humidade Relativa	50
4.4.3 Síntese.....	58
5 Simulação Dinâmica: Aplicação ao caso de estudo.....	61
5.1 Modelação Numérica	61
5.2 Caracterização do Modelo de Simulação Dinâmica.....	61
5.2.1 Definição das Zonas Térmicas	62
5.2.2 Geometria do Modelo.....	63
5.2.3 Propriedades Térmicas dos Elementos de Construção da Envolvente	64
5.2.4 Massa Interna das Paredes Interiores.....	65
5.2.5 Vãos de Portas e Janelas	66
5.2.6 Definição dos Ganhos Internos	66
5.2.7 Ventilação Natural	67
5.2.8 Radiação Solar.....	68
5.3 Calibração do Modelo.....	68
5.3.1 Parâmetros de Calibração	68
5.3.2 Discussão dos Resultados	69
6 Análise de resultados	73
6.1 Análise de Conforto pelos Limites Passive House.....	73

6.2 Análise de Conforto Segundo a Norma EN 15251	75
6.2.1 Estação de Aquecimento	76
6.2.2 Estação de Arrefecimento.....	77
6.3 Estudo Paramétricos – Influência da Ocupação Humana.....	79
6.3.1 Fração R/chão D	83
6.3.2 Fração 1°C.....	85
6.3.3 Fração 1ºD.....	87
6.3.4 Fração 2ºD.....	89
6.4 Avaliação Global	91
7 Considerações finais	97
7.1 Síntese do Trabalho Realizado.....	97
7.2 Geometria e Soluções Construtivas do Modelo Original.....	97
7.3 Ensaio de Porta Ventiladora e Monitorização	97
7.4 Análise de Resultados.....	98
7.4.1 Modelo Original	98
7.4.2 Estudo Paramétricos	99
7.5 Desenvolvimento de Estudos Futuros	99
Referências Bibliográficas.....	103

ÍNDICE FIGURAS

FIGURA 1 - EVOLUÇÃO DOS INDICADORES (ADAPTADO: INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2015)	9
FIGURA 2 - EVOLUÇÃO DA REGULAMENTAÇÃO TÉRMICA (FONTE: ADENE).....	13
FIGURA 3- PRIMEIRA CASA PASSIVE HOUSE (FONTE: PASSIPEDIA, 2016).....	22
FIGURA 4 - PRINCÍPIOS BÁSICOS DO CONCEITO PASSIVE HOUSE (ADAPTADO: PZEPP, 2015).....	25
FIGURA 5 – IMPLANTAÇÃO DO EDIFÍCIO EM ESTUDO (FONTE: GOOGLMAPS,2017).....	31
FIGURA 6 - TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA EM AVEIRO (DADOS INETI)	32
FIGURA 7 - MÉDIA HORÁRIA DA RADIAÇÃO DIFUSA HORIZONTAL (W/M ²) (DADOS INETI).....	33
FIGURA 8 - ENQUADRAMENTO DO EDIFÍCIO DE ESTUDO	35
FIGURA 9- SOLUÇÃO DA GEOMETRIA	36
FIGURA 10 – PLANTAS DE ARQUITETURA –R/CHÃO (ESQUERDA) E RESTANTES PISOS (DIREITA) (SEM ESCALA).....	36
FIGURA 11 – ALÇADOS DO EDIFÍCIO – SEM ESCALA.....	37
FIGURA 12 - LAJE PISO TÉRREO	40
FIGURA 13 - LAJE DE PISO E DE ESTEIRA	40
FIGURA 14- COBERTURA INCLINADA	44
FIGURA 15 - NÍVEIS DE ESTANQUIDADE EM RELAÇÃO AOS VALORES RPH ₅₀ (ADAPTADO DE CONCANNON)	47
FIGURA 16 – EQUIPAMENTO DE ENSAIO COM PORTA VENTILADORA	47
FIGURA 17 – VALORES DE RPH ₅₀ DOS ENSAIOS.....	50
FIGURA 18 - EXEMPLO DE SENSOR.....	51
FIGURA 19 – PLANTA DAS FRAÇÕES R/CHÃO E E F	52
FIGURA 20 - PLANTA DAS FRAÇÕES 2º B E 2ºE	52
FIGURA 21 - PLANTA DAS FRAÇÕES 3ºA, 3ºC E 3ºD	52
FIGURA 22 - VALORES LIMITES DA TEMPERATURA OPERATIVA INTERIOR PARA EDIFÍCIOS COM VENTILAÇÃO NATURAL.....	54
FIGURA 23 - FRAÇÃO R/CHÃO E	52
FIGURA 24 - FRAÇÃO R/CHÃO F	56

FIGURA 25 - FRAÇÃO 2ºB	52
FIGURA 26 - FRAÇÃO 2ºE	56
FIGURA 27 - FRAÇÃO 3ºA	53
FIGURA 28 - FRAÇÃO 3ºC	57
FIGURA 29 - FRAÇÃO 3ºD	57
FIGURA 30 – CORTE DO EDIFÍCIO COM VISUALIZAÇÃO DAS ZONAS TÉRMICAS DEFINIDAS (FONTE: SKETCHUP SEM ESCALA)	62
FIGURA 31- GEOMETRIA DO MODELO –VISTA OESTE (ESQUERDA) VISTA ESTE (DIREITA)	64
FIGURA 32 - VARIAÇÃO DA TEMPERATURA ANUAL DO CASO DE ESTUDO NAS CONDIÇÕES ORIGINAIS - FRAÇÕES DESOCUPADAS	74
FIGURA 33 - VARIAÇÃO DA TEMPERATURA ANUAL DO CASO DE ESTUDO NAS CONDIÇÕES ORIGINAIS - FRAÇÕES OCUPADAS	74
FIGURA 34 – AVALIAÇÃO DO CONFORTO DURANTE A ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO DAS FRAÇÕES DESOCUPADAS (1ª E 2ª SEMANA DE JANEIRO)	76
FIGURA 35 – AVALIAÇÃO DE CONFORTO DURANTE A ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO DAS FRAÇÕES OCUPADAS (1ª E 2ª SEMANA DE JANEIRO)	77
FIGURA 36 – AVALIAÇÃO DO CONFORTO DURANTE A ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO DAS FRAÇÕES DESOCUPADAS (2ª E 3ª SEMANA DE AGOSTO)	78
FIGURA 37 – AVALIAÇÃO DO CONFORTO DURANTE A ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO DAS FRAÇÕES OCUPADAS (2ª E 3ª SEMANA DE AGOSTO)	79
FIGURA 38 – AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO ANUAL PARA O MODELO M1 SEGUNDO A NORMA EN15251 - EDIFÍCIO SEM OCUPAÇÃO	81
FIGURA 39 - AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO ANUAL PARA O MODELO M2 SEGUNDO A NORMA EN15251 - EDIFÍCIO COM OCUPAÇÃO	81
FIGURA 41 - ESTUDOS PARAMÉTRICOS ANÁLISE GLOBAL	92

ÍNDICE TABELAS

TABELA 1 - FOGOS DE HABITAÇÃO SOCIAL REABILITADOS EM 2015	18
TABELA 2 - CRITÉRIOS DE CERTIFICAÇÃO PASSIVE HOUSE E ENERPHIT	27
TABELA 3 - PROPRIEDADE GEOMÉTRICAS DO EDIFÍCIO	37
TABELA 4 - RELAÇÃO PERCENTUAL ENTRE SUPERFÍCIES OPACAS E TRANSLUCIDAS	38
TABELA 5 CARACTERIZAÇÃO PAREDES EXTERIORES	41
TABELA 6 - CARACTERIZAÇÃO DAS PAREDES INTERIORES	43
TABELA 7 - CARACTERÍSTICAS DOS ENVIDRAÇADOS E PORTAS	44
TABELA 8 – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE PORTA VENTILADORA	49
TABELA 9 - DESCRIÇÃO DAS CATEGORIAS DE CONFORTO DA EN15251 (ADAPTADO EN15251)	53
TABELA 10 - FOLGA ADMISSÍVEL PARA A TEMPERATURA DE CONFORTO OPERATIVA.....	55
TABELA 11 - VALORES DE TEMPERATURA DE PROJETO SEGUNDO A NORMA EN15251 (ADAPTADO DO ANEXO A DA NORMA EN15251 (EN15251, 2007))	55
TABELA 12 - ERRO ASSOCIADO À ÁREA DO MODELO DE SIMULAÇÃO	63
TABELA 13 - PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS	65
TABELA 14 – CAUDAL UTILIZADO NAS DIFERENTES FRAÇÕES	67
TABELA 15 - CARACTERÍSTICAS APÓS CALIBRAÇÃO	69
TABELA 16 - VALORES GOF.....	70
TABELA 17 - % DE HORAS DE DESCONFORTO NAS FRAÇÕES DESOCUPADAS (ESQUERDA) E NAS FRAÇÕES OCUPADAS (DIREITA)	75
TABELA 18 – DEFINIÇÃO DOS ESTUDOS PARAMÉTRICOS NA AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA OCUPAÇÃO .	80
TABELA 19 - % TEMPO EM DESCONFORTO AVALIADO SEGUNDO A EN15251 - EDIFÍCIO SEM OCUPAÇÃO (ESQUERDA) COM OCUPAÇÃO TOTAL (DIREITA)	82
TABELA 20 - CAUDAIS DE INSUFLAÇÃO/EXTRAÇÃO PARA CADA FRAÇÃO	82
TABELA 21 - ESTUDO PARAMÉTRICOS DA FRAÇÃO R/CHÃO D	84
TABELA 22 - ESTUDO PARAMÉTRICOS DA FRAÇÃO 1 ^o C.....	86
TABELA 23 - ESTUDO PARAMÉTRICOS DA FRAÇÃO 1 ^o D.....	88

LISTA DE ACRÓNIMOS

AIE – Agência Internacional de Energia

CTF – Conduction Transfer Function

CV RMSE – Coeficiente de Variação do Erro da Raiz Quadrada Média

E – Ponto Cardeal Este

EMPD – Effective Moisture Penetration Depth

EPBD – Diretiva relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios

EP – EnergyPlus

FFH – Fundo de Fomento da Habitação

GFRC – Glass Fiber Reinforced Concrete

GHI – Radiação Solar Total

GOF – Goodness-of-fit

HAMT – Combined Heat and Moisture Transfer

HCC – Habitação a Custos Controlados

HE-FCP – Habitações Económicas ligado à Federação das Caixas de Previdência

INETI – Laboratório Nacional de Energia e Geologia

INE – Instituto Nacional de Estatística

INH – Instituto Nacional da Habitação

N – Ponto Cardeal Norte

nZEB – Edifício de Balanço Energético quase zero

NMBE – Erro Médio Estatístico Normalizado

O – Ponto Cardeal Oeste

PER – Programa Especial de Realojamento

PH – Passive House

PHPP – Passive House Planning Package

RECRIA – Regime Especial de Participação na Recuperação de Imóveis Arrendados

REH – Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação

RMSE – Erro Médio Quadrático

S – Ponto Cardeal Sul

SAAL – Serviço de Apoio Ambulatório Local

SCE – Certificação Energética dos Edifícios

SRU – Sociedade de Reabilitação Urbana

ZT – Zona Térmica

Capítulo 1

Introdução

Capítulo 1 – Introdução

1.1– Enquadramento Geral

1.2– Objetivos

1.3– Organização e Estrutura da Dissertação

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento Geral

Assiste-se hoje a uma viragem no sector da construção civil com especial enfoque numa aposta premeditada na área da reabilitação. Os novos programas de apoio atribuem uma especial preocupação com o edificado existente nas grandes cidades. Abandonou-se a construção massiva de novas edificações e infraestruturas dando prioridade à reabilitação do parque edificado existente e do património com a criação do valor, respeito pela autenticidade e preexistências, e pela arquitetura que caracteriza a história e génese de cada localidade, região ou país.

O aumento das exigências da sociedade levou a que houvesse um impacto no meio ambiente, nomeadamente nas alterações climáticas e à escassez de recursos naturais não renováveis. Na União Europeia, os edifícios são responsáveis por 40% do consumo total de energia e 36% das emissões de CO₂. Para tal, foram desenvolvidas diferentes normas e protocolos de maneira a proteger o meio ambiente para as gerações futuras.

No caso da União Europeia, foram definidos decretos de leis e protocolos, que pretendem melhorar a eficiência energética e privilegiar o uso de energias renováveis na construção¹, de forma a reduzir 90% dos gases de efeito de estufa (CO₂) até 2050 (Wassouf, 2014).

Estima-se que 75% dos edifícios europeus não são eficazes no que diz respeito à eficiência energética. Assim de forma a combater estes números, a Comissão Europeia criou o projeto EuroPHit, que consiste na elaboração de projetos com base nas normas *Passive House* e *EnerPHit*, políticas e mecanismos de financiamento, que possibilitam a construção de edifícios que garantam um futuro sustentável.

¹ Acordo 20-20-20 de 12/2008 do Parlamento Europeu, e “Agenda Energia 2050” da Comissão Europeia de 15/12/2011

O conceito *Passive House* é o mais utilizado, para construções de edifícios eficientes no ponto de vista energético, garantindo condições de conforto térmico interior (Fokaides, 2016). Estes valores serão muito maiores caso se tenha em consideração as casas que foram construídas segundo o conceito *Passive House*, mas não foram certificadas como tal.

Em Portugal, estimam-se que exista cerca de 1 milhão de edifícios que carecem de ser submetidos a obras de reabilitação. Assim sendo, é imperativo recuperar o parque edificado do país em detrimento de construção nova, para que seja possível incentivar de novo os habitantes a migrarem para o centro das cidades e vilas (RERU, 2014).

1.2 Objetivos

A habitação social tem um papel importantíssimo na sociedade, na medida que possibilita o acesso à habitação para a população com um carácter económico mais desfavorecida. Nas décadas de 70 a 90, houve um crescimento deste tipo de construções, porém, assiste-se atualmente a um nível de degradação construtiva, urbana e social característica da idade desta construção. Assim, de forma a desenvolver as condições de habitabilidade para as quais os edifícios foram pensados, tem-se verificado por parte dos municípios uma maior preocupação para a reabilitação dos mesmos.

Na reabilitação de edifícios é importante ter em consideração várias premissas, nomeadamente a eficiência energética do edifício, o conforto térmico, o custo global do investimento, a durabilidade das soluções e equipamentos instalados. No presente estudo e dado que retrata as habitações de cariz sociais é importante garantir estas condições económicas em termos de soluções e garantir também uma baixa necessidade de consumo energético.

Assim com a presente dissertação teve como base os seguintes objetivos:

- Monitorização de edifícios de habitação social para se avaliarem as condições de conforto e para criação de uma base de dados reais que apoiem os estudos numéricos para a criação de soluções de intervenção. Neste estudo recorreu-se ao uso dos ensaios de porta-ventiladora e monitorizações termo-higrométricas.
- Simular o comportamento térmico do edifício com recurso ao *software Energy Plus* de um modelo calibrado;
- Perceber as consequências da desocupação parcial de algumas frações deste edifício no conforto térmico. Neste ponto foram desenvolvidos estudos paramétricos, com o intuito de perceber qual a influência da ocupação das frações no conforto interior das frações dos edifícios e como estas poderão influenciar em ações de reabilitação deste tipo de edificado.

1.3 Organização e estrutura da dissertação

Esta dissertação está dividida em sete capítulos:

O capítulo 1 enquadra a dissertação desenvolvida e define os principais objetivos.

O capítulo 2 e o capítulo 3 aborda o estado de arte do tema da dissertação. É feita uma síntese dos domínios específicos que vão ser tratados ao longo da dissertação. É apresentado um enquadramento onde é apresentado o conceito de conforto térmico, a evolução da regulamentação térmica na europa e em Portugal e por fim uma abordagem da habitação social em Portugal. Posteriormente são apresentados o conceito Passive House, a sua origem e os princípios básicos que o definem. Por fim é explicado o conceito *EnerPHit* e as suas características.

O capítulo 4 descreve o caso de estudo. Em primeiro lugar é caracterizada a zona climática da região de Aveiro. Seguidamente é feita a caracterização do caso de estudo e as soluções

construtivas do edifício. Por último são estudadas as condições do conforto térmico interior existentes nas frações em estudo.

O capítulo 5 descreve o estudo de simulação do comportamento térmico do edifício. Neste é descrito todo o procedimento de construção do modelo numérico e posteriormente é feita a validação/calibração do mesmo.

O capítulo 6 descreve os resultados obtidos do modelo decorrente de um estudo paramétrico. É estudado o comportamento térmico de quatro frações do edifício, para diferentes taxas de ocupação de modo a perceber a influência da ocupação das frações adjacentes no conforto térmico das frações-alvo determinando o seu consumo energético e condições de conforto por meio de um índice de desconforto.

O capítulo 7 resume as principais conclusões da dissertação e aborda-se o desenvolvimento futuro de trabalhos complementares neste domínio de investigação.

Capítulo 2

Reabilitação Térmica e Energética em Edifícios

Capítulo 2 – Reabilitação Térmica e Energética em Edifícios

2.1 – Enquadramento

2.2 – Conforto Térmico

2.3 – Evolução da Regulamentação Térmica em Portugal

2.3.1 – Certificação Energética em Portugal

2.4 – Reabilitação de Edifícios de Habitação Social

2.4.1 - Evolução da Habitação Social em Portugal

2.4.2 – Caracterização Atual da Habitação Social

2 REABILITAÇÃO TÉRMICA E ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS

2.1 Enquadramento

A Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency*), durante a última década (entre 1991 a 2012), recolheu dados sobre o consumo de energia mundial, tendo verificado que houve um crescimento de 30% da população mundial e que o consumo total de energia primária teve uma evolução 3 vezes superior à evolução da população (ver figura 1) (Figueiredo A. , 2015).

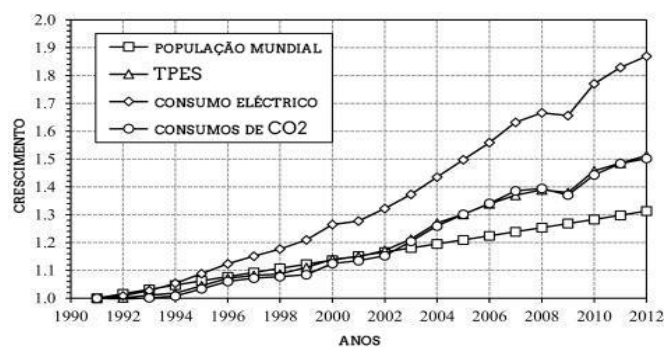


Figura 1 - Evolução dos indicadores (Adaptado: International Energy Agency, 2015)

Com a expansão da população, da economia, dos níveis de conforto interior e a proliferação dos sistemas de ar condicionado, tornou-se o sector dos edifícios um dos maiores consumidores de energia. Assim, estima-se que este sector é o responsável pelo consumo de aproximadamente, 40% de energia total na Europa e pela produção 36% de gases de efeito de estufa (EPBD, 2010).

É necessário reduzir o consumo de energia dos edifícios, no sentido de reduzir os gastos económicos e aumentar a preservação do meio ambiente. Assim, no setor da construção deve-se melhorar o comportamento térmico dos edifícios abandonando os sistemas

mecânicos de climatização em detrimento de sistemas passivos ou mecânicos, porém mais eficientes. (Chwieduk, 2016).

De forma a promover a eficiência energética nos edifícios, alguns dos regulamentos europeus foram revistos e ainda houve elaboração de novos regulamentos. Para além destes, ocorreu a reformulação da EPBD (diretiva relativa ao desempenho energético dos edifícios) a qual introduziu o nível ótimo de custos dos requisitos mínimos do desempenho energético e os conceitos nZEB (Boermans, Hermelink, Schimschar, zinger, & Offermann, 2011).

O termo, edifício de balanço energético quase zero (nZEB) consiste em: *a quantidade quase nula ou muito baixa de energia necessária deveria estar coberta principalmente por energia proveniente de fontes renováveis, inclusive procedentes de fontes renováveis com produção no local ou nas suas proximidades.* (EPBD, 2010)

O nZEB apesar de não ser uma norma técnica, é uma exigência política que conduz a uma maior restrição nos critérios a adotar na construção do edificado futuro, em que a sua definição e aplicação é feita ao nível de cada Estado-Membro (Southzeb, 2014).

Para definir o conforto térmico é necessário ter em conta diferentes fatores: fatores quantificadores, como a temperatura ou a corrente de ar; fatores não quantificadores, ou seja, de natureza psicológica e sociológica. É por este motivo que caracterizar as condições de conforto é tão desafiante. Porém, já existem normas baseados em modelos fisiológicos, ao qual respondem às necessidades das pessoas sujeitas a diferentes ambientes térmicos. Sendo estes, ASHRAE 55, EN7750, EN15251 e ISO 14415 (Figueiredo A. , 2015).

Em Portugal, o volume de ampliações, alterações e reconstruções, até o ano 2000 não ultrapassou os 4% do total de fogos intervencionados. Porém, em 2003 Portugal apresentava uma elevada taxa de produção de produção de edifícios novos na Europa, cerca de 90% (Curado, 2014).

Reabilitação de edifícios existentes desempenha um papel importante para o alcance do desenvolvimento sustentável, garantindo assim a preservação do traçado característico da época, mas complementando os edifícios com melhores condições de conforto. Para que uma estratégia de reabilitação seja eficiente, é necessário incidir na redução da necessidade de aquecimento do espaço, ou seja, melhorar as características de construção do edifício para que este consiga conservar a energia térmica no seu interior (Baeli, 2013).

Para Pina dos Santos (2012), a reabilitação de um edifício é uma intervenção que lhe confere uma qualidade térmica e energética superior à que possuía aquando da sua construção. Em Portugal, os principais objetivos de uma reabilitação deverão ter em atenção os seguintes fatores: melhoria do conforto térmico passivo, redução dos consumos energéticos de aquecimento, de arrefecimento, de águas quentes sanitárias e equipamentos domésticos, correção de situações anómalas (patologia construtivas e ambiental) e beneficiação imposta nos regulamentos (Pina dos Santos, 2012).

Atualmente, o conceito de sustentabilidade surge interligado com a reabilitação, ao conter a importância de preservar os valores culturais, não esquecendo a reutilização do que está construído, poupando os recursos e as energias (Lima, Bragança, & Mateus, 2012).

A reabilitação tem que ser entendida como “a oportunidade de promover a sustentabilidade ambiental”, a que pode unir “a preservação do património, a atualização das condições de funcionamento e conforto, e a melhoria do desenvolvimento ambiental” (Delgado, 2008).

Para o estudo do conforto térmico e energético de habitações sociais, deve-se ter em consideração as condições socioeconómicas dos residentes, consumos de energia de aquecimento e de arrefecimento praticamente nulos, adoção de uma estratégia de reabilitação que vise o conforto térmico sem o recurso a sistemas de aquecimento/arrefecimento do ambiente. Deste modo, a estratégia de reabilitação deverá ser apoiada num conjunto de regras que procurem as melhores soluções para potenciar as

condições de conforto térmico e de eficiência energética de cada espaço. Essas soluções passam, entre outras pelo estudo da composição das fachadas e coberturas, pela caracterização dos vãos, caixilharia e envidraçados, pela seleção dos sistemas e soluções construtivas, de modo a permitir uma redução das necessidades de aquecimento, de arrefecimento, de ventilação mecânica e de iluminação artificial (Curado, 2014).

2.2 Conforto Térmico

O conforto térmico é definido como uma condição mental que expressa a satisfação perante o ambiente térmico circunjacente. O equilíbrio do conforto térmico pode ser influenciado por diversos fatores, nomeadamente, fatores pessoais (saúde, sexo, roupa utilizada, metabolismo) e por fatores climáticos (temperatura do ar, humidade, velocidade do ar, radiação térmica), sendo estes as principais variáveis. Assim, um indivíduo experimenta a sensação de conforto térmico quando perde para o ambiente, sem recorrer a nenhum mecanismo de termorregulação, o calor produzido pelo metabolismo (Frota & Schiffer, 2001).

As condições de conforto térmico são função, portanto, de uma série de variáveis. É certo que as condições ambientais capazes de proporcionar sensação de conforto térmico em habitantes de clima quente e húmido não são as mesmas que proporcionam sensação de conforto em habitantes de clima quente e seco e, muito menos, em habitantes de regiões de clima temperado ou frio (Frota & Schiffer, 2001).

2.3 Evolução da Regulamentação Térmica em Portugal

Em Portugal, a regulamentação térmica foi introduzida em 1990, e desde 2002 tem vindo a ser atualizada de forma a melhorar o conforto dos habitantes, como se observa na figura 2. Pretende-se que até 2020 todos os edifícios tenham um consumo de energia quase zero.

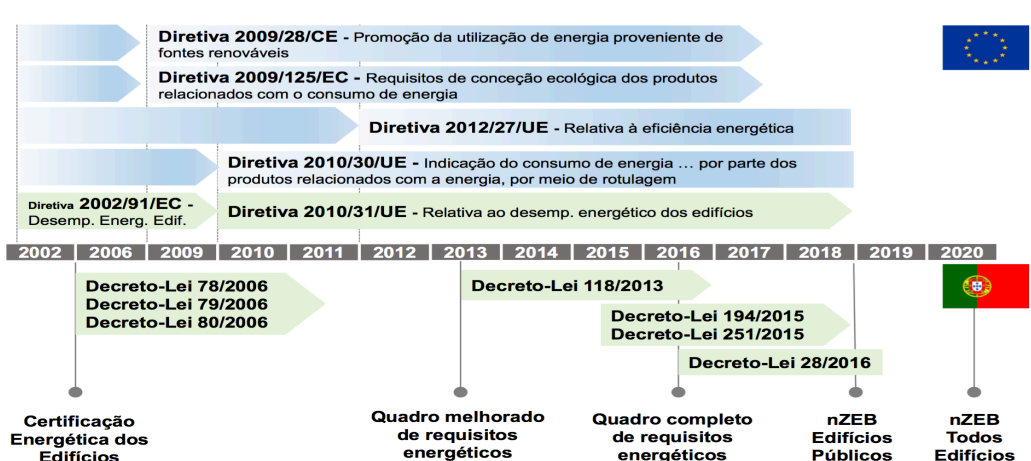


Figura 2 - Evolução da regulamentação térmica (fonte: ADENE)

2.3.1 Certificação Energética em Portugal

Como referido anteriormente, o setor dos edifícios é o principal responsável pelo consumo da energia total da Europa, porém grande parte deste consumo pode ser reduzido ao aplicar medidas de eficiência energética.

Para tal, os Estados-Membros têm vindo a desenvolver várias medidas de forma a promover uma melhoria do desempenho energético e das condições de conforto. Assim, surgiu a Diretiva nº 2002/91/CE, posteriormente revista pela Diretiva 2010/31/EU, do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa ao desempenho energético dos edifícios, e que determina a utilização de um sistema de certificação energética por parte do Estados-Membros. (ADENE, 2016)

O Sistema Nacional de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) implementado em Portugal apresenta os seguintes objetivos:

- Informar do desempenho energético dos edifícios;
- Apresentar um quadro de medidas de melhoria;
- Identificar as componentes do edifício e os seus sistemas técnicos.

A classificação é feita através de uma escala pré-definida de 8 classes (A⁺; A; B; B; C; D; E; F), em que a classe A⁺ corresponde a um edifício com o melhor desempenho energético,

e F corresponde a um edifício com um desempenho energético muito baixo. Em edifícios novos, ou seja, com licença de construção após a entrada em vigor o SCE, podem ter classificação que varia entre A⁺ e B⁻. Os edifícios sujeitos a grandes intervenções têm um limiar inferior a C, enquanto que os edifícios já existentes poderão ter qualquer classe (ADENE, 2016).

2.4 Reabilitação de Edifícios de Habitação Social

Segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE), bairro social é o “conjunto de edifícios ou fogos de habitação social, localizados em situação de vizinhança, cuja construção foi programada conjuntamente, podendo ter sido desenvolvida ou não por fases”.

O mercado da reabilitação é muito principiante em Portugal comparativamente ao mercado europeu (IHRU, 2015). Em Portugal, o volume de ampliações, alterações e reconstruções não ultrapassou 4 % do total de fogos intervencionados até ao ano 2000 (IHRU, 2017). Apesar da baixa percentagem de edifícios intervencionados, a reabilitação urbana tem contribuído para a modernização do parque edificado, melhoria da eficiência energética e redução dos consumos energéticos das famílias.

Dado que o país está a sair de uma crise económica e social grave, tem-se verificado um maior foco na luta contra a pobreza e exclusão social através do melhoramento das habitações sociais dos mais carenciados.

Elson Pereira, refere-se às habitações sociais como sendo construções destinadas às residências das classes com menor rendimento dentro da sociedade.

Em Portugal existem cerca de 120000 fogos de habitação social, representando 3,3% do total do parque habitacional de residenciais (INE, 2017), sendo bastante inferior à de outros países europeus. Esta percentagem não se revela suficiente para responder às carências existentes, sendo necessário desenvolver modelos que garantam a mobilidade do parque de

habitação social e a sua disponibilização para as famílias cujos rendimentos não lhes permitem aceder a uma habitação existente no mercado imobiliário corrente.

2.4.1 Evolução da Habitação Social em Portugal

A habitação de interesse social apoiada pelo estado surge em Portugal, com a I República, em 1918 (Baptista Coelho, 2004), contudo já no final do século XIX “foi surgindo um novo mercado de arrendamento, constituído por módulos de habitação precários e de dimensões mínimas, sem as mínimas condições de higiene, ocupando terrenos sobrantes no interior de quarteirões. Foram as ilhas do Porto e os pátios e depois as vilas de Lisboa” (Teotónio Pereira, 1994).

No início de século XX surgiram, em Lisboa, pequenos bairros operários associados a indústrias. A importância urbana do alojamento operário e precário durante esse período é destacado no inquérito realizado às ilhas do Porto, em 1939, onde se contabilizam mais de 1100 ilhas com 13000 casas e mais de 45000 habitantes (17 % da população do Porto, à data) (Teixeira, 1996).

Ao longo da I República, até ao início dos anos 30, a construção de bairros sociais caracterizou-se pelo desenvolvimento de pequenos edifícios multifamiliares ou unifamiliares, em bandas, contínuas ou germinados (Baptista Coelho, 2004). Nos finais da década dos anos 30 até meados da década dos 40, a habitação social passou a ser constituída por edifícios unifamiliares germinados (Pimenta, 2001).

No período pós 2^a guerra mundial, em 1946, foi criado o organismo denominado por Habitações Económicas ligado à Federação das Caixas de Previdência (HE-FCP), que desenvolveu atividade até 1972. Tratava-se do organismo português ligado à habitação de interesse social que mais tempo esteve em atividade (Teotónio Pereira, 1983).

Para promoção de habitação de interesse social entre as classes mais desfavorecidas foi criado em 1969, em Portugal, o Fundo de Fomento da Habitação (FFH), que a partir de 1972 concentrava as competências e a capacidade técnica das HE-FCP (Teotónio Pereira, 1983).

No pós-25 de Abril, em 1974, iniciou-se o Serviço de Apoio Ambulatório Local (SAAL) que promovia o realojamento, no próprio local, de pessoas a viver em situações precárias (Bandeirinha, 2001).

Em 1984 foi criado o Instituto Nacional da Habitação (INH) para financiar projetos de Habitação a Custos Controlados (HCC), destinadas a enquadrar a qualidade da habitação a produzir com o apoio do Estado. A atividade do INH centrava-se numa promoção indireta da habitação social através do apoio financeiro e técnico a entidades municipais, cooperativas e privadas. No financiamento da HCC, pelo INH, destacam-se dois períodos distintos: até ao início dos anos 90, marcado pela construção de habitação para venda pelas cooperativas e a partir de 1993, com o Programa Especial de Realojamento (PER) destinado à promoção para arrendamento pelos municípios no âmbito do realojamento de famílias residentes em barracas.

O PER construiu em Portugal, entre 1994 e 2005, mais de 31000 fogos, com maior fulgor para o período entre 1996 e 1999 onde se ultrapassou os 4000 fogos/ano. Entre 2004 e 2005 a construção de habitação social era inferior a 1000 fogos/ano (IHRU, 2008). A partir de 2003 o INH ganhou competências na área da conservação e reabilitação de imóveis e na gestão de programas de apoio aos jovens no acesso ao mercado de arrendamento (Baptista Coelho, 2004).

Devido à degradação dos imóveis arrendados e às deficientes condições de habitabilidade das famílias residentes assistiu-se à criação, em 1987, do Regime Especial de Participação na Recuperação de Imóveis Arrendados (RECRIA) (Baptista Coelho,

2004). O RECRUA foi um programa apenas vocacionado para a reabilitação de fogos arrendados em edifícios em propriedade vertical, que exclui o apoio à reabilitação em moradias. Foi um programa concebido apenas para as cidades (IHRU, 2008).

O Regime Jurídico Excepcional de Reabilitação Urbana de Zonas Históricas e de Áreas Críticas de Recuperação e Reversão Urbanística que cria as Sociedades de Reabilitação Urbana (SRU), em 2004, não disponibiliza qualquer apoio financeiro, constituindo sobretudo um enquadramento jurídico e institucional da intervenção pública municipal em matéria de reabilitação urbana (IHRU, 2008).

Desde 2004 as SRU's vêm racionalizando recursos destinados à reabilitação urbana, promovendo o desenvolvimento de processo de reabilitação integrada. Em 2012, existiam 13 SRU'S (INE, 2013).

2.4.2 Caracterização Atual da Habitação Social

De acordo com Priemus (1997) a habitação social é caracterizada por ser produzida com o recurso a financiamento do estado e subsidiada pelos governos nacionais. É ainda caracterizada por ser administrada por autoridades locais ou organizações sem fins lucrativos, com condições de funcionamento reguladas publicamente, sujeitas a rendas inferiores às do mercado e destinadas a famílias de baixos rendimentos.

Em 2015 existiam, em Portugal, cerca de 26 mil edifícios de habitação social, localizados em 344 municípios. Cerca de 50,6% desses edifícios possuía 2 ou mais alojamentos. (INE, 2015).

Os municípios e outras entidades proprietárias e gestoras de habitação social realizaram, em 2015, obras de reabilitação de aproximadamente 36% do total de edifícios de carácter social. Na tabela 1, são apresentados o número de fogos de habitação social reabilitados para o período de referência a 2015. Em Portugal existem 9437 fogos de habitação social

reabilitados, sendo o norte a região onde apresentou o maior número de fogos sujeitos a obras de reabilitação.

Tabela 1 - Fogos de habitação social reabilitados em 2015

Localização geográfica	Fogos de habitação social reabilitados em 2015
Continente	8827
Norte	3789
Centro	824
Área Metropolitana de Lisboa	3031
Alentejo	376
Algarve	807
Região Autónoma dos Açores	247
Região Autónoma da Madeira	363

Capítulo 3

Passive House e Estratégias de Modelação

Capítulo 3 – Passive House e Estratégias de Modelação

3.1 – Conceitos e Requisitos Passive House

3.2 – Conceito e Norma EnerPHit

3.3 – Estratégias de Modelação

3 PASSIVE HOUSE E ESTRATÉGIAS DE MODELAÇÃO

3.1 Conceito e Requisitos Passive House

Segundo o conceito alemão, uma *Passive House* é um edifício para o qual o conforto térmico pode ser assegurado apenas pelo pós-aquecimento ou pós-arrefecimento da massa de ar fresco, que é necessária para garantir as condições de boa qualidade do ar interior (Feist, Schnieders, Dorer, & Haas, 2005). Ou seja, neste tipo de habitações não é necessário recorrer a equipamentos adicionais para proporcionar o aquecimento ou o arrefecimento das massas de ar, e ainda possibilita atingir os requisitos da qualidade interior do ar. Assim, este conceito, tem assim como objetivo projetar e construir edificações sustentáveis, ou seja, com baixos consumos energéticos.

O conceito *Passive House* surgiu no final da década de 1980, pelos Professores Bo Adamsson e Wolfgang Feist. Esta ideia surgiu com base em edifícios com baixo consumo de energia já construídas na Alemanha e na Suécia. Em 1991, construiu-se o primeiro edifício *Passive House* na cidade alemã de Darmstadt (ver figura 3), o qual vem sendo monitorizado ao longo deste tempo, comprovando assim o seu excelente comportamento energético. Este edifício, já incluía todas as características que ainda hoje são consideradas na norma *Passive House*: elevados níveis de isolamento, pontes térmicas reduzidas e janelas bem isoladas, espaços com infiltrações de ar reduzidas e um sistema de ventilação com um sistema eficiente de recuperação de calor. Posteriormente, foi fundado em 1996 o *Passive House Institute*.



Figura 3- Primeira casa Passive House (Fonte: Passipedia, 2016)

Em 1995, com base em experiências obtidas a partir da casa de Darmstadt, Wolfgang Feist classificou os conceitos passivos, dando origem à norma *Passive House*, que consiste, fundamentalmente, em três requisitos: um limite de energia (aquecimento e arrefecimento); um requerimento de qualidade (conforto térmico); e por último, um conjunto definido de sistemas passivos que permitem cumprir o limite energético de qualidade e com custo acessível.

O conceito *Passive House*, procura maximizar os benefícios térmicos e ambientais através do desempenho das componentes e sistemas do edifício de modo a minimizar as perdas térmicas no inverno e os ganhos solares no verão. Estas características, possibilitam baixas necessidades de aquecimento ou arrefecimento, não necessitando assim mais do que $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, consumindo até cerca de 90% menos que um edifício comum.

Atualmente, este conceito é aplicado não só em edifícios de habitação unifamiliar ou multifamiliar, mas também em edifícios de escritórios, escolas e de outros usos e tem a particularidade de ser cada vez mais utilizado na reabilitação de edifícios.

Para que um dado edifício seja considerado uma casa passiva, ou seja, para que tenha uma certificação “*Quality-Approved Passive House*”, terá que ser qualificado ao longo do

projeto e ainda após a conclusão da obra. Os requisitos de qualificação variam de acordo com a utilização pretendida, ou seja, se diz respeito a uma habitação ou um serviço, e ainda, se se trata de uma construção nova ou de uma reabilitação.

Os principais pontos que atualmente definem os critérios de exigência da metodologia Passive House, para os países da Europa central consistem em (Gonçalves & Brotas, 2007):

- **Necessidade Anual de Aquecimento:** neste tipo de habitações *Passive House*, a carga anual de aquecimento deve ser igual ou inferior a $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ ano})$, assumindo ainda uma temperatura conforto não inferior a 20°C .
- **Carga de Aquecimento:** as necessidades úteis de aquecimento devem ser iguais ou inferiores a $10 \text{ W}/\text{m}^2$;
- **Critério de Energia Primária:** consumo de energia primária de todos os serviços energéticos, incluindo o aquecimento ambiente e águas quentes sanitárias e os aquecimentos elétricos não deverá exceder o limite de $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ ano})$;
- **Estanquidade do Ar:** a taxa de renovação do ar, verificada através dum teste (Porta ventiladora) de pressurização (positiva ou negativa) a 50Pa (n_{50}) deve ser igual ou inferior a $0,6 \text{ h}^{-1}$;
- **Critério de Conforto da Temperatura Interior:** deve ser atingido em todas as áreas habitacionais durante todo o ano, porém, para evitar o sobreaquecimento na estação de arrefecimento não pode exceder os 10% das horas com uma temperatura interior superior a 25°C , no inverno a temperatura operativa no espaço pode ser mantida acima de 20°C , utilizando a referenciada quantidade de energia.

Todavia, na Europa central (como Alemanha, Áustria, entre outros) o desenho passivo é

associado à norma *Passive House*, e perante a eficiência desta norma nos países aderentes, desenvolveu-se uma proposta adaptada ao conceito para países caracterizados por climas quentes, e foi aplicada em países como o Portugal, Espanha, Itália, Reino Unido e França. Nestes países, para a maioria dos engenheiros e arquitetos, o conceito de casa passiva geralmente significa que um edifício é projetado segundo os princípios de desenho solar passivo. Contudo, muitos profissionais discordam em associar o termo genérico “passivo” com uma norma específica de edifícios, no qual se propõe um sistema ativo de ventilação.

Assim, tomando em consideração as variações climáticas, em 2007, o projeto *Passive-On* elaborou uma proposta de revisão para a aplicação da norma *Passive House* em climas quentes na Europa. Os pontos que definem o projeto *Passive-On* são semelhantes à norma *Passive House*, porem foram acrescentados alguns critérios de maneira a que nestes climas, os edifícios apresentassem um bom comportamento térmico, sendo enumerados de seguida (Gonçalves & Brotas, 2007):

- **Critério de Arrefecimento:** as necessidades de calor sensível úteis, para o arrefecimento não devem exceder o limite de $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$;
- **Estanquidade do Ar:** de acordo com a norma EN13829, esta não deve ser superior a $0,6 \text{ h}^{-1}$. Mas em locais com condições de projeto com temperatura acima dos 0°C , o teste de pressurização com um limite de 1 h^{-1} é suficiente para atingir o critério.
- **Critérios de Conforto da Temperatura Interior Durante o Verão:** a temperatura operativa dos espaços permanece entre a banda de conforto definida pela norma EN 15251 (EN15251, 2007). Se existir um sistema principal de arrefecimento ativo, a temperatura operativa do espaço deve ser mantida abaixo de 26°C .

De modo, a que seja possível alcançar as exigências, para a construção de edifícios *Passive House*, a envolvente deve cumprir os 5 princípios como se apresenta na figura 4 (Passive House Institute, 2015).

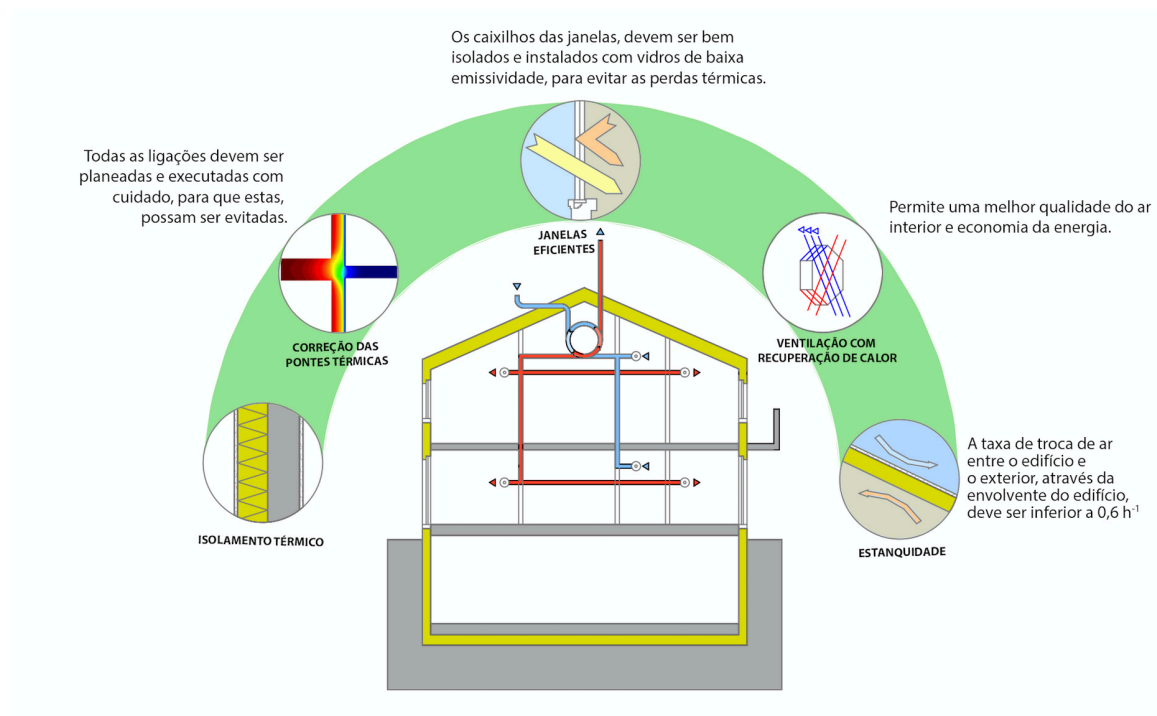


Figura 4 - Princípios básicos do conceito *Passive House* (Adaptado: PZEPP, 2015)

3.2 Conceito e Norma *EnerPHit*

A certificação *EnerPHit* foi desenvolvida pelo *Passive House Institute*, em 2010, com o objetivo de melhorar algumas componentes relevantes de utilização de forma a possibilitar o cumprimento dos critérios da *Passive House* em edifícios antigos e existentes.

Ao realizar uma reabilitação num edifício existente é possível aplicar os requisitos e serem certificadas como casas passivas, porém neste tipo de edifícios é mais complicado de atingir o padrão *Passive House*. Assim, por este motivo, a *Passive House Institute* desenvolveu o “*EnerPHit – Quality – Approved Energy Retrofit with Passive House Components*”, que tem como objetivo básico melhorar as partes necessárias do edifício com componentes

passivas. Ao recorrer ao uso deste tipo de componentes nas reabilitações de habitações, vai possibilitar-se uma melhoria no conforto térmico, na eficiência energética e na longevidade estrutural.

Ao realizar-se este tipo de remodelações pode ser alcançada uma poupança de 75% a 90% em comparação com os métodos tradicionais, pois irá haver uma melhoria no conforto térmico, uma redução de pontes térmicas, a aplicação de janelas com propriedades térmicas mais eficientes, e por fim uma instalação de sistemas de ventilação mecânicos com recuperação de calor.

Os requisitos *Passive House* para edifícios reabilitados têm um menor grau de exigência do que os previstos para edifícios novos, dado que este tem certas particularidades intransponíveis. Assim, os critérios de certificação *EnerPHit* tem os seguintes valores, para as necessidades de energia primária o valor pode ser superior a $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ sendo este calculado através da equação (Eq.1), as necessidades de aquecimento não podem ser superiores a $25 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, quanto à estanqueidade ao ar existe um limite máximo de 1 renovação por hora.

$$Q_p = 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) + ((Q_h - 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})) \times 1,2) \quad (1)$$

Onde:

Q_p : Energia primária ($\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$)

Q_h : Aquecimento global ($\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$)

Seguidamente, serão apresentados na Tabela 2 os critérios de ambas as certificações *Passive House* e *EnerPHit*.

Tabela 2 - Critérios de Certificação Passive House e EnerPHit

Critérios	Passive House	EnerPHit
Necessidade de aquecimento anual	$\leq 15 \text{ kW.h}/(\text{m}^2\text{a})$	$\leq 25 \text{ kW.h}/(\text{m}^2\text{a})$
Necessidade de energia primária	$\leq 120 \text{ kW.h}/(\text{m}^2\text{a})$	$\leq 120 \text{ kW.h}/(\text{m}^2\text{a})^*$
Estanqueidade ao ar	$n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$	$n_{50} \leq 1 \text{ h}^{-1}$
Sobreaquecimento ($>25^\circ\text{C}$)	$< 10\%$	$< 10\%$
Teor em humidade (risco de condensação)		$< 80\%$

*Valor obtido através equação (Eq. 1)

Os requisitos *Passive House* podem ser aplicados em edifícios novos e/ou edifícios já existentes. No entanto, em construções antigas podem surgir desafios de alguma complexidade, visto que, a reabilitação energética e a instalação de sistemas de aquecimento/arrefecimento, podem envolver modificações estruturais e custos associados.

3.3 Estratégias de Simulação

Os edifícios são constituídos por um conjunto de interações de transferência de calor e de massa. Dado que estas ocorrem de forma dinâmica dependendo da ocupação do edifício e dos sistemas de controlo, torna-se complicado estudar as suas variações e adotar modelos.

O avanço da tecnologia, permitiu o desenvolvimento de programas computacionais com o objetivo de estudar as implicações em termos energéticos e de conforto. Assim a simulação dinâmica dos edifícios é uma ferramenta importante para a realização de estudos paramétricos (análise do desempenho energético; cálculo das necessidades de aquecimento/arrefecimento; sistemas de gestão e controlo de energia; análise de custos; entre outros).

Ao longo dos últimos cinquenta anos, têm sido desenvolvidos diversos programas de simulação energética, nomeadamente, o *Trnsys (Transient System Simulation Program)*, *EPS-r*, *DesignBuilder*, *Ecotect Analysis*, *EnergyPlus*.

O *EnergyPlus* é o programa de análise e simulação de carga térmica de edifícios que será usado na presente dissertação. Permite calcular a necessidade de aquecimento/arrefecimento consoante os valores de temperatura interior pretendidos, condições através da utilização de sistemas de climatização e o consumo de energia primária. Este é um *software* que tem a capacidade de integrar vários aspetos relacionados com a simulação energética do edifício: cargas térmicas, elementos de produção de energia térmica e sistemas de ventilação. Este programa tem a particularidade dos diferentes “gestores” funcionarem de forma integrada, calculando assim em simultâneo as diferentes variáveis. (Figueiredo J. C., 2014)

Este programa baseia-se no estudo do balanço térmico que envolve dois cálculos distintos: o cálculo do balanço térmico interior à zona térmica considerada e o cálculo do balanço térmico superficial. Para o cálculo do balanço térmico superficial o programa apresenta três algoritmos diferentes: *Conduction Transfer Function* (CTF), *Effective Moisture Penetration Depth* (EMPD), e o *Combined Heat and Moisture Transfer* (HAMT). Neste caso de estudo será utilizado o *Conduction Transfer Function* (CTF), dado que este avalia a transferência de calor sensível, em regime transiente, sem contabilizar o armazenamento e a difusão de vapor que ocorre através dos elementos de construção.

Capítulo 4

Descrição do Caso de Estudo

Capítulo 4 – Descrição do Caso de Estudo

4.1 – Zona Climática

4.1.1 – Enquadramento

4.1.2 – Caracterização do Clima na Região em Estudo

4.1.3 – Dados Climáticos Locais

4.2 – Caracterização do Caso de Estudo

4.2.1 – Implantação do Edifício

4.2.2 – Geometria e Fator de Forma

4.3 – Caracterização das Soluções Construtivas do Edifício

4.3.1 – Soluções Construtivas e Propriedades Térmicas

4.3.1.1 – Laje de Piso Térreo

4.3.1.2 – Laje de Piso Intermédio

4.3.1.3 – Paredes Exteriores

4.3.1.4 – Paredes Interiores

4.3.1.5 – Cobertura Inclinada

4.3.1.6 – Vão – Portas e Envidraçados

4.4 – Condições de Conforto Térmico Interior

4.4.1 – Estanquidade ao Ar

4.4.1.1 – Ensaio com Porta Ventiladora

4.4.1.2 – Análise de Resultados

4.4.2 – Monitorização

4.4.2.1 – Análise de Conforto pela Norma Europeia EN15251

4.4.2.2 – Análise de Conforto para o Período Monitorizado

4.4.3 – Síntese

4 DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO

4.1 Zona Climática

4.1.1 Enquadramento

O edifício em estudo, construído no fim dos anos 80, faz parte do complexo residencial de habitações sociais da Câmara Municipal de Aveiro. Com localização na Urbanização Santiago na freguesia da Gloria, concelho de Aveiro (latitude de $40,63^\circ$ e longitude de $-8,65^\circ$) enquadra-se na zona climática II-V1, segundo o regulamento térmico de Portugal (ver figura 5).



Figura 5 – Implantação do edifício em estudo (Fonte: GoogleMaps,2017)

Apesar do edifício se encontrar no centro da cidade de Aveiro, esta encontra-se uma zona costeira onde há bastante influencia das rajadas de vento fortes provenientes do efeito do mar.

Foi avaliada altura do terreno, em que o terreno tem uma cota de soleira de 14 m.

4.1.2 Caracterização do Clima na Região em Estudo

Pelo sistema internacional de classificação climática de Koppen, tendo por base valores mensais e anuais da temperatura média diária do ar e da precipitação, Aveiro é classificado

como uma região do tipo Csb, caracterizado por ter um clima temperado, com um inverno chuvoso, e um verão seco e com uma temperatura média do mês mais quente superior a 22°C (EmaUA-TORRE: Tempo e Clima, 2008). Relativamente às estações do ano são bem caracterizadas, ou seja, um período de verão quente e um inverno frio, e a estação da primavera normalmente é mais fria que a do outono (Ventura, 2008).

Na figura 6 é apresentada a média das temperaturas diárias para a região de Aveiro e na figura 7 é apresentada a média mensal da radiação solar total por metro quadrado. Os gráficos foram retirados do ficheiro climático do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (INETI), conclui-se que os meses onde há maior radiação total são os meses de maio, junho, julho e agosto, atingindo assim uma radiação média máxima mensal aproximadamente, de 275 W/m². Os meses em que há menor radiação, conseqüentemente um decréscimo das temperaturas, são os meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro, em que a radiação média máxima mensal é de, aproximadamente, de 104 W/m².

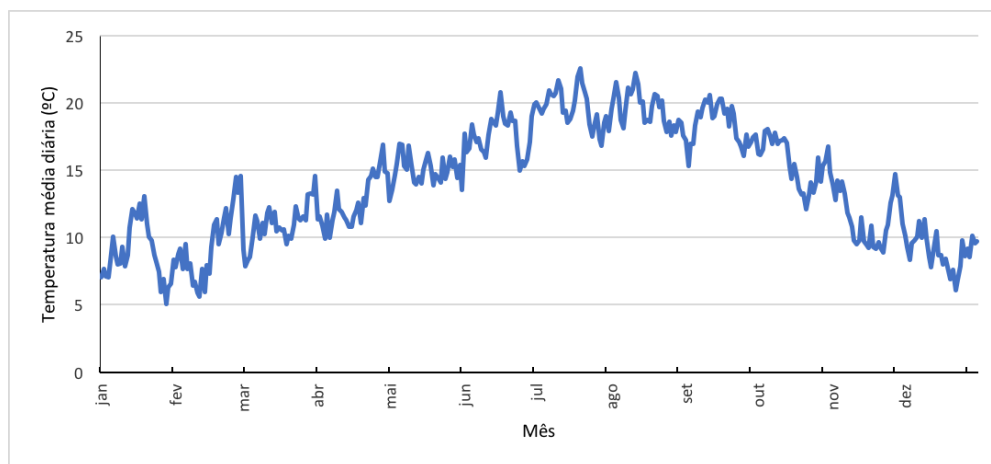


Figura 6 - Temperatura média diária em Aveiro (dados INETI)

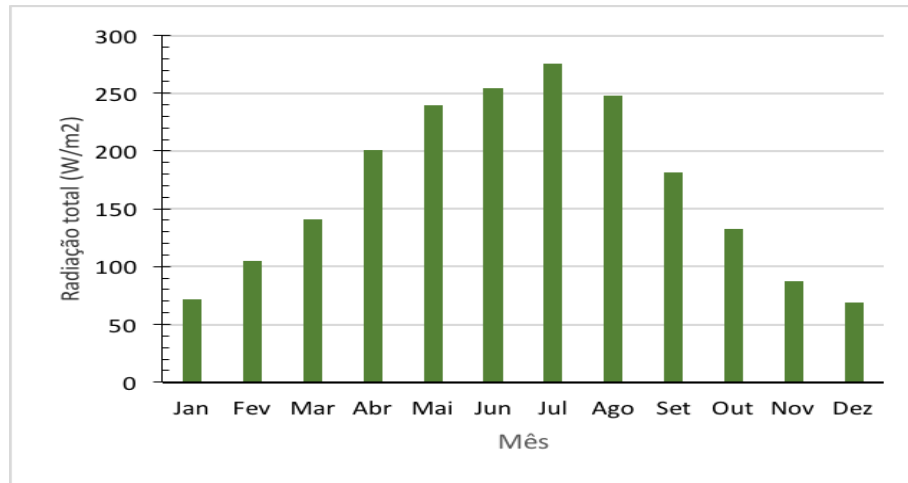


Figura 7 - Média horária da radiação total (w/m^2) (dados INETI)

4.1.3 Dados Climáticos Locais

Para a calibração do modelo usou-se a um ficheiro climático com dados fornecido pelo departamento de Engenharia Física da Universidade de Aveiro, provenientes de uma estação meteorológica que se encontra localizada na cobertura do departamento, a uma distancia de 500 m do edifício em estudo. Os parâmetros fornecidos pelo ficheiro climático, representados abaixo, resultam de uma monitorização real para um período de dezembro a abril.

- Temperatura ($^{\circ}C$);
- Humidade Relativa (%);
- Radiação solar total (W/m^2);
- Direção e velocidade do vento (m/s^2).

Dado que o ficheiro fornecido não indica a radiação global horizontal e a difusa horizontal, foi necessário recorrer ao algoritmo de Perez para obter cada uma delas. Assim, recorreu-se a uma rotina do software de simulação dinâmica à escala urbana, o CitySim, para a conversão da radiação solar total (GHI) nas suas componentes.

Após a calibração do modelo, recorreu-se ao ficheiro climático fornecido pelo INETI para a região de Aveiro. Os parâmetros facultados por este ficheiro climático, resultam da média dos valores mais representativos ao longo de um período de medições durante 29 anos.

Neste ficheiro climático, existem três campos para os quais não foi fornecida informação, nomeadamente, precipitação e velocidade e direção do vento. Assim, de forma a determinar estes parâmetros recorreu-se a informação de monitorização realizadas pelo departamento de Engenharia Física da Universidade de Aveiro.

Foi realizado um tratamento cuidado dos dados para o período de monitorização do edifício, entre Dezembro a Outubro. Os dados fornecidos pela estação de monitorização do Departamento de Física, foram recolhidos com um intervalo de 10 em 10 minutos, assim para os valores da temperatura, da humidade relativa e da radiação solar foi feita uma média dos valores, enquanto que para o vento e a sua respetiva direção foi atribuído o valor correto para aquele determinado momento.

4.2 Caracterização do Caso de Estudo

4.2.1 Implantação do Edifício

O edifício selecionado para realizar o caso de estudo, como referido anteriormente, trata-se de um edifício de habitação coletiva, situado no bairro social de Santiago na freguesia da Glória, concelho de Aveiro. O edifício faz parte de uma urbanização constituída por 32 lotes, de tipologia semelhante, edifícios de habitação coletivos com 4 andares (R/chão, 1º andar, 2º andar e 3º andar).

A urbanização foi implantada no terreno segundo uma malha viária estabelecida pelo plano integrado de Aveiro, sendo esta constituída por duas vias paralelas ligadas por quatro transversais ortogonais e uma obliqua que definem, de um modo geral, quatro quarteirões.

A figura 8 ilustra a posição do edifício em estudo, relativamente aos outros edifícios da urbanização, assim como a malha descrita. Todos eles têm um sistema construtivo semelhante, sendo o que está assinalado o caso de estudo.

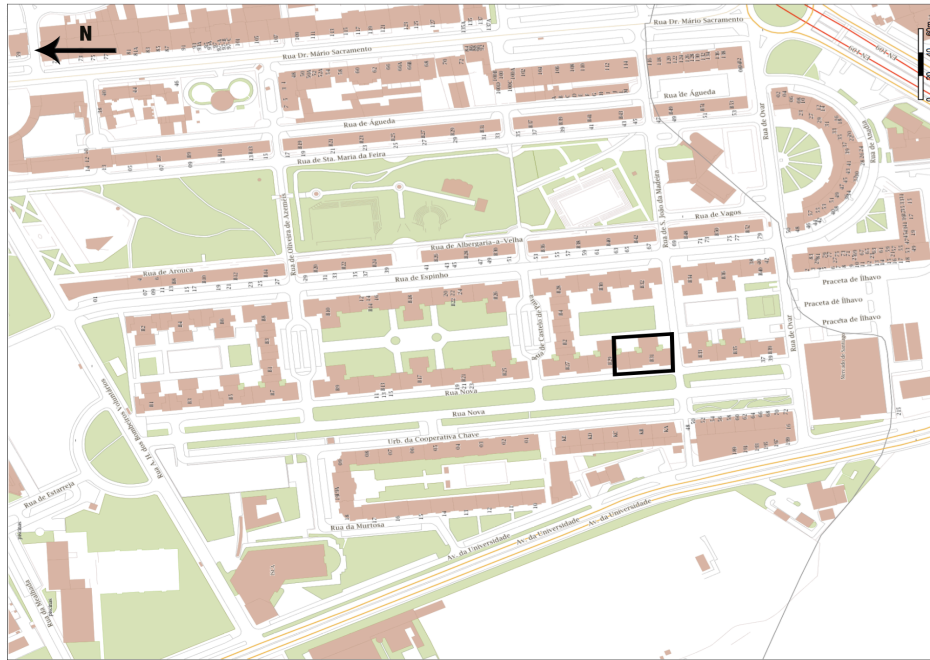


Figura 8 - Enquadramento do edifício de estudo

4.2.2 Geometria e Fator de Forma

A construção destes edifícios foi influenciada pela forma dos quarteirões, a localização dos arruamentos e ainda pelo facto de se tratar de um complexo residencial de custos controlados, o que obrigou a optar por uma solução otimizada, rentável e de construção expedita. Assim, a solução encontrada tem com base a divisão de um retângulo em duas partes, sendo cada parte uma unidade habitacional, como representado na figura 9 (Damas, 1982).

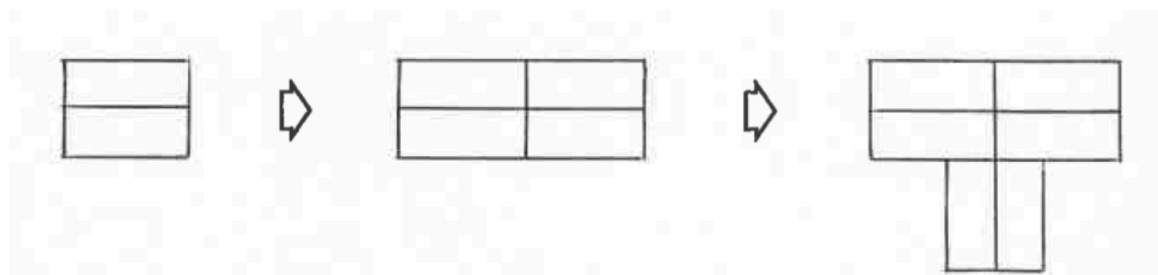


Figura 9- Solução da geometria

Em relação ao método construtivo optou-se por um sistema misto de paredes laminares e lajes aligeiradas, otimizando assim tempo e custo da construção. Já na época destas habitações teve-se a preocupação em cumprir os requisitos da legislação a nível de isolamento acústico e térmico, porém atualmente não cumprem a legislação.

O edifício adjacente possui as mesmas características construtivas e de uso, e as fachadas permeáveis são orientadas a Sul, Este e Oeste (S, E e O) enquanto que a fachada orientada a Norte é impermeável.

A arquitetura do edifício é composta por 6 apartamentos por andar, em que dois são da tipologia T2 e quatro são T3. Na figura 10 e 11, são apresentadas as plantas arquitetónicas do edifício.



Figura 10 – Plantas de arquitetura –R/chão (esquerda) e restantes pisos (direita) (sem escala)



Figura 11 – Alçados do edifício – sem escala

Na tabela 3 são representadas algumas propriedades geométricas do edifício.

Tabela 3 - Propriedade geométricas do edifício

Área útil (m²)	1604,36
Área não útil (m²)	209,44
Volume (m³)	5403,58

No presente estudo foi considerado com espaços úteis: os quartos, casas de banho, sala e a cozinha. Como espaço não útil é uma área onde não há ocupação permanente e não é climatizada, verificou-se pelas plantas de arquitetura que existem quatro compartimentos, o

vão de escadas, a marquise, arrumos e laje de cobertura (REH, 2013).

Na tabela 4 é apresentada a área opaca e translúcida e a respetiva relação percentual por orientação da fachada. A fachada Oeste apresenta a maior percentagem de envidraçados. Como tal, pode-se classificar como sendo o alçado mais sensível à radiação solar. A fachada Este também apresenta grande percentagem de envidraçados, mas a nível de sombreamento não é tão importante, pois permite que haja ganhos solares, de forma a minimizar as necessidades de aquecimento das habitações.

Tabela 4 - Relação percentual entre superfícies opacas e translúcidas

Tipo de superfície	N	E	S	O	Total
Área Opaca, A_0 (m ²)	279,62	278,48	278,36	268,36	1104,82
Área translúcida, A_t (m ²)	22,68	59,12	25,88	69,55	177,23
A_t/A_0 (%)	8%	21%	9%	26%	16%

4.3 Caracterização das Soluções Construtivas do Edifício

4.3.1 Soluções Construtivas e Propriedades Térmicas

De acordo com a memória descritiva de arquitetura, as soluções construtivas apresentadas pelo projetista, como já referido anteriormente, teve como base a otimização do tempo e dos custos da construção, assim optou-se realizar uma solução construtiva tipo em túnel, sendo esta caracterizada por ter paredes laminares em betão e lajes aligeiradas. As fachadas são compostas por painéis pré-fabricados de GFRC (Glass Fiber Reinforced Concrete), expeto nas paredes exteriores do r/chão que são constituídas por alvenaria dupla.

Os valores do coeficiente de transmissão térmica (U) foram calculados segundo a norma europeia EN ISO 6946. (ITE 50 , 2006). O valor do coeficiente U foi determinado aplicando a expressão 2:

$$U = \frac{1}{R_{Si} + \Sigma\left(\frac{e}{\lambda}\right) + R_{Se}} \quad (2)$$

Onde,

U : Coeficiente de transmissão térmica ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)

R_{Si} : Resistência térmica superficial interior ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$)

R_{Se} : Resistência térmica superficial exterior ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$)

e : Espessura do material (m)

λ : Condutividade térmica do material ($\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$)

Foi quantificada a massa superficial de cada solução, de forma a avaliar a sua influência no valor global da inércia térmica do edifício, e ainda a massa volúmica de cada elemento. O cálculo destas características térmicas foi realizado segundo o REH (REH, 2013). Os pormenores apresentados não apresentam nenhuma escala específica, sendo meramente esquemáticos.

4.3.2.1 Laje de Piso Térreo

Na figura 12, são apresentadas as várias camadas que constituem o piso térreo do edifício. A laje de piso térreo é caracterizada (do interior para exterior) por ter uma camada de revestimento cerâmico com 2,0 cm de espessura, uma camada de regularização com uma espessura de 3,0 cm, uma laje aligeirada com 15,0 cm, e uma camada de betão de limpeza com 1,0 cm de espessura. O valor do coeficiente de transmissão térmica é de 2,021 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

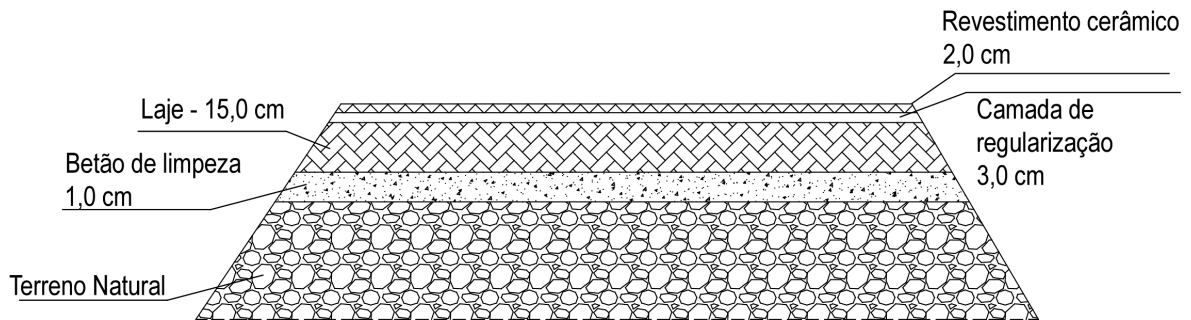


Figura 12 - Laje piso térreo

4.3.2.2 Laje de Piso Intermédios

Na figura 13, são apresentadas as várias camadas que constituem o piso intermédio e de esteira do edifício.

A laje é constituída pelas seguintes camadas (do piso superior para o inferior), revestimento cerâmico com 2 cm, uma camada de regularização com 3 cm, uma camada com 2 cm de betão leve, uma laje aligeirada com blocos cerâmicos com uma espessura de 12+3 cm, e por último uma placa de gesso com 1,5 cm. O valor do coeficiente de transmissão térmica é de $1,801 \text{ W}/(\text{m}^2\text{°C})$.

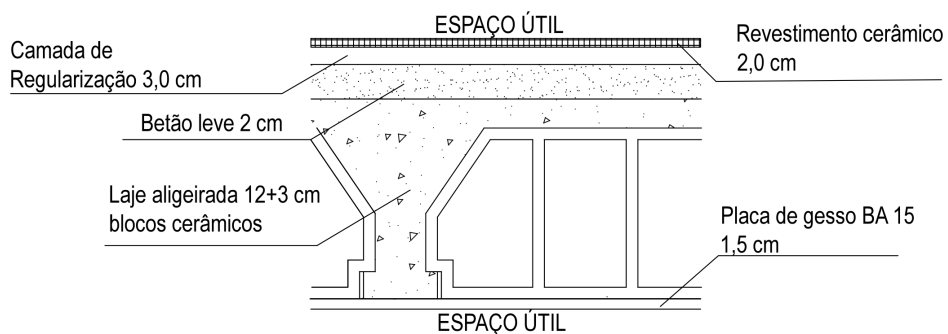


Figura 13 - Laje de piso

4.3.2.3 Paredes Exteriores

De seguida são apresentadas as diversas camadas que constituem os painéis das paredes exteriores do edifício, ver tabela 5. As paredes exteriores têm uma espessura de 25 cm, expeto a parede de empena que tem apenas 15 cm.

Tabela 5 Caracterização paredes exteriores

Parede exterior	Pormenor	Localização	Caracterização	Coefficiente de transmissão térmica $W/(m^2\text{°C})$
Parede de alvenaria dupla sem isolamento (Parede exterior 1)		Paredes do r/chão	Constituídas* por uma camada de reboco tradicional com 1 cm, dois panos de tijolo com 11 cm separados por uma caixa de ar com 1cm de espessura, e por fim uma camada de reboco com 1 cm	1,147
Parede simples de betão com isolamento térmico (Parede exterior 2)		Laterais terminais, expeto as fachadas de encontro com outros blocos, e nas paredes de tardo, voltadas para o jardim	Constituídas por uma camada de reboco tradicional com 1,5 cm, um pano de betão com 20 cm, 2 cm de isolamento térmico e por fim uma camada com 1,5 cm de reboco tradicional	1,219

<p>Parede de alvenaria simples (Parede exterior 3)</p>		<p>Paredes de empena</p>	<p>Constituídas por uma camada de reboco tradicional com 2 cm, um pano de tijolo com espessura de 11 cm, e uma camada de reboco tradicional com 2 cm na fase exterior</p>	<p>2,132</p>
<p>Painéis pré-fabricados de GFRC (Parede exterior 4)</p>		<p>Restantes paredes</p>	<p>Formados por uma casca de GFRC, com nervuras feitas do mesmo material para aumentar a rigidez do painel. O isolamento térmico já é incorporado no fabrico.</p>	<p>0,469</p>

*do interior para o exterior

4.3.2.4 Paredes Interiores

O edifício é constituído com dois tipos de paredes interiores, em que ambas têm uma espessura de 15 cm, ver tabela 6.

Tabela 6 - Caracterização das paredes interiores

Parede interior	Pormenor	Caracterização	Coefficiente de transmissão térmica $W/(m^2\text{°C})$
Parede interior 1		Revestida por uma camada de 1,5 cm de reboco tradicional, um pano de betão com 12 cm de espessura, e a fase exterior é revestido por uma camada de reboco tradicional com 1,5 cm.	2,98
Parede interior 2		Constituída por uma camada de reboco tradicional com 2 cm de espessura, um pano de tijolo com 11 cm, e uma camada de reboco tradicional com 2 cm na fase exterior.	1,79

4.3.2.5 Cobertura Inclinada

O edifício apresenta uma cobertura inclinada com 6 vertentes, duas orientadas para este mais outras duas para oeste e ainda uma para norte e outra para sul. A sua estrutura de suporte é constituída por varas e ripas, como indica a figura 14. Para o calculo do coeficiente de transmissão térmica teve-se em consideração apenas o da laje aligeirada e a placa de gesso, isto porque se trata de um espaço não útil e considerou-se fortemente ventilado ($0,7h^{-1}$), assim obteve-se um coeficiente de transmissão térmica com o valor de $2,013 W/(m^2\text{°C})$.

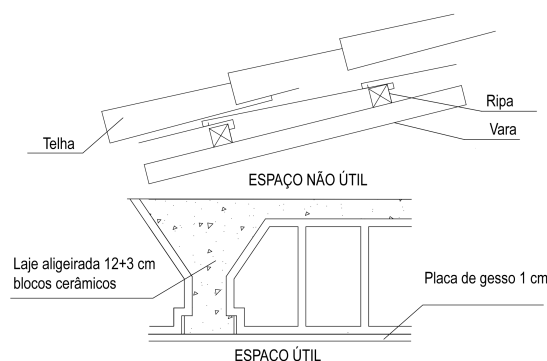


Figura 14- Cobertura inclinada

4.3.2.6 Vãos – Portas e Envidraçados

Os vãos envidraçados exteriores são constituídos por caixilharias de alumínio sem corte térmico, com janelas duplas de correr e vidros simples com 50 mm. Na tabela 7, serão apresentadas as características dos elementos que compõem os vãos envidraçados.

Tabela 7 - Características dos envidraçados e portas

	U (W/m ² °C)	g_{vidro}
Envidraçados	3,1	0,9

As portas das frações e as portas das divisórias, são em madeira maciça com 5cm de espessura e com um coeficiente de transmissão térmica de 4,6 W/(m²°C).

4.4 Condições de Conforto Térmico Interior

Desde os anos 70 começou-se a estabelecer critérios de conforto térmico, de forma a promover o bem-estar e a produtividade das pessoas nos seus ambientes. Assim, de acordo com a norma EN 15251 (EN15251, 2007), define conforto térmico como sendo “a condição da mente que expressa satisfação com o seu ambiente térmico”. Assim, para contabilizar e classificar o conforto, é essencial conhecer os fatores que influenciam o bem-estar dos ocupantes. Estes fatores dividem-se em duas classes: parâmetros individuais, como a

atividade metabólica e vestuário, e parâmetros ambientais como a temperatura, velocidade e humidade relativa do ar.

Os ensaios de estanquidade ao ar e monitorização de temperatura e humidade relativa foram realizados para 7 frações desocupadas e 1 ocupada, apenas foram realizadas para estas frações devido à sua disponibilidade.

4.4.1 Estanquidade ao Ar

A estanquidade da envolvente é representada pela quantidade de infiltração de ar num edifício em relação ao seu volume. A permeabilidade ao ar de um edifício é expressa em metros cúbicos por hora por metro quadrado da área da envolvente, quando submetido a um diferencial de pressão de 50 Pa. Assim a infiltração de ar é caracterizada por ser um fluxo de ar para dentro/fora do edifício, sendo uma consequência do diferencial de pressão devido ao vento, equipamento de ventilação e pelo efeito de chaminé.

Para se obter uma boa estanquidade é necessário ter uma camada estanque ao ar continua em toda a envolvente do edifício. Mas não esquecendo de um bom isolamento, ambos são essenciais para uma envolvente de qualidade.

É necessário conhecer-se a diferença entre a estanquidade ao ar e a infiltração. É importante ter em consideração que a estanquidade apresenta os mesmos resultados, independentemente da altura, já na infiltração os valores variam consoante os seguintes fatores:

- Direção do vento;
- Orientação do edifício;
- Tipo de ventilação (mecânica ou natural);
- Diferencial da temperatura interior/exterior;
- Comportamento dos ocupantes.

Atualmente existe uma preocupação crescente relativamente à ventilação das casas. Isto deve-se ao facto de uma casa má ventilada estar associada a diversas consequências para a saúde dos ocupantes, patologias nas habitações que comprometem a vida útil destas, grande parte das perdas térmicas da fração são consequência da uma ventilação desadequada (ADENE, 2016).

A qualidade do ar no interior das frações é afetada pela produção de substâncias durante as atividades domésticas e presença humana. Dependendo das características e concentração destas substâncias, o bem-estar dos ocupantes pode ser comprometido. Existem diversas fontes poluentes tais como: (Amaral, 2012)

- Atividade fisiológica humana;
- Uso de tabaco;
- Combustão nos aparelhos de gás;
- Preparação de alimentos;
- Lavagem e secagem de loiça e roupa;
- Utilização das instalações sanitárias;
- Presença de animais.

A ventilação é mais eficaz caso a envolvente do edifício seja estanque. A ausência de estanquidade, para além do desconforto e outros problemas, causa uma ventilação que não é controlada. A figura 15 ilustra os valores de estanquidade do ar sugeridos pelos Liddament & Wilson em 1991, para os diferentes sistemas de ventilação (Concannon, 2002).

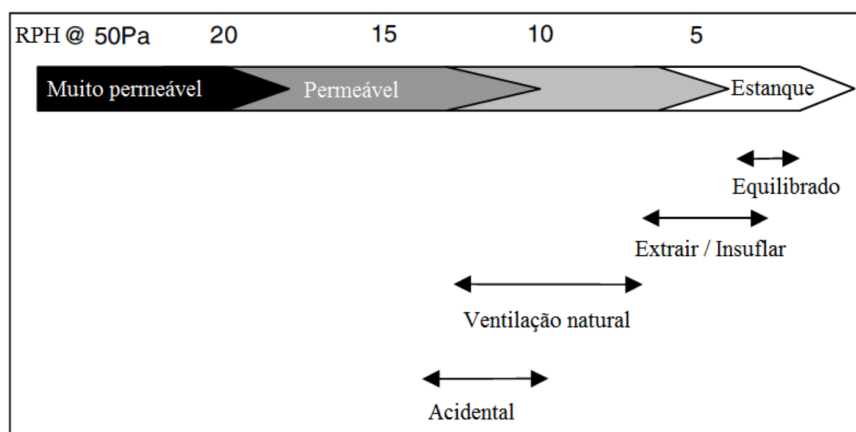


Figura 15 - Níveis de estanquidade em relação aos valores RPH_{50} (adaptado de CONCANNON)

4.4.1.1 Ensaio com Porta Ventiladora

O ensaio de porta ventiladora é utilizado para pressurizar ou despressurizar uma fração com o intuito de determinar a estanquidade da sua envolvente, permitindo com o uso de outros equipamentos identificar os locais de fugas de ar e suas causas. Na figura 16, ilustra-se um exemplo do equipamento da porta ventiladora.



Figura 16 – Equipamento de ensaio com Porta Ventiladora

O equipamento utilizado para realizar o ensaio de estanquidade, é constituído por três componentes principais:

- Um ventilador de velocidade variável, capaz de induzir diferentes caudais de ar para pressurizar/despressurizar edifícios com diferentes áreas interiores;

- Um manómetro, com o intuito de medir a pressão diferencial induzida em toda a face do ventilador e através da envolvente do edifício;
- Um sistema de montagem, semelhante a uma porta.

Este ensaio consiste na pressurização ou despressurização de um edifício e a medição da permeabilidade ao ar com um certo diferencial de pressão (Δp). Através da relação entre os valores dos caudais de ar (V) e o diferencial de pressão, é possível avaliar a permeabilidade da envolvente do edifício.

Diferentes países adotam diferentes normas em relação a este tipo de ensaios. A norma utilizada nos ensaios dos trabalhos desenvolvidos no âmbito da presente dissertação foi a EN 13829:2001.

4.4.1.2 Análise de Resultados

Um dos objetivos deste ensaio é obter o valor do RPH_{50} (h^{-1}), a 50 Pa, que é determinado através do quociente entre o caudal infiltrado através da envolvente (V_{50}) ($m^3 \cdot h^{-1}$) e o volume interior (V) (m^3) do edifício através da expressão 3.

$$RPH_{50} = \frac{V_{50}}{V} \quad (3)$$

Existem outros comparadores que são utilizados para a confrontação de edifícios, o q_{50} ($m^3/h/m^2$) que é determinado através do quociente entre o caudal escoado a 50 Pa (V_{50}), e a área envolvente (A_E), através da expressão 4 e o w_{50} ($m^3/h/m^2$) que é o quociente entre o caudal escoado a 50 Pa (V_{50}) e a área útil do pavimento (A_P) (ver expressão 5).

$$q_{50} = \frac{V_{50}}{A_E} \quad (4)$$

$$w_{50} = \frac{V_{50}}{A_P} \quad (5)$$

Conhecendo o ponto de interceção (C_{env}) e o declive (n) é possível obter-se o valor do caudal para diferentes valores de diferença de pressão. Para se obter uma aproximação do valor de renovações horárias em condições de pressão normais (considerada para uma diferença de pressão de 50Pa), $RPH_{natural}$, dividiu-se o valor do RPH_{50} por 20. Esta divisão corresponde a uma aproximação dado que não é possível ter-se um valor real de renovações horárias. O valor do RPH depende de diferentes fatores, tais como: condições climáticas; efeito de chaminé; proteção e exposição do edifício ao vento; e o comportamento dos ocupantes (JOKISALO,2008). Na tabela 8 podem ser consultados os diferentes valores de caudais a 50Pa, RPH_{50} , RPH_{nat} e o declive da reta do ensaio.

Tabela 8 – Resultados dos ensaios de porta ventiladora

Frações	Fase do ensaio	C_{env} ($m^3/h.Pa^n$)	Declive n	Caudal a 50Pa (m^3/h)	RPH_{50} (h^{-1})	RPH_{nat} (h^{-1})	Correlação (r) (%)
R/chão E	Press	102,59	0,56	923,70	4,48	0,22	99,99
	Despr	100,94	0,58	985,67	4,79	0,24	99,97
R/chão F	Press	99,46	0,55	851,77	3,98	0,20	99,97
	Despr	84,39	0,59	880,32	4,11	0,21	99,99
2° B	Press	139,78	0,54	1177,80	6,65	0,33	100
	Despr	147,88	0,55	1295,00	7,32	0,37	99,99
2° E	Press	68,12	0,59	683,18	4,29	0,21	99,99
	Despr	72,97	0,57	690,97	4,35	0,22	99,97
2° F	Press	68,62	0,61	741,09	3,24	0,16	99,99
	Despr	72,82	0,59	744,55	3,25	0,16	99,98
3° A	Press	166,39	0,56	1487,00	6,47	0,32	100
	Despr	398,00	0,37*	1691,2	7,39	0,37	90,43
3° C	Press	271,41	0,57	2520,80	10,96	0,55	99,99
	Despr	286,73	0,57	2722,20	11,84	0,59	99,96
3° D	Press	141,96	0,61	1567,50	6,82	0,34	99,97
	Despr	168,51	0,59	1680,30	7,31	0,37	99,97

*O ensaio deveria de ter sido repetido, pois $n < 0,5$, porém não foi considerado para os cálculos.

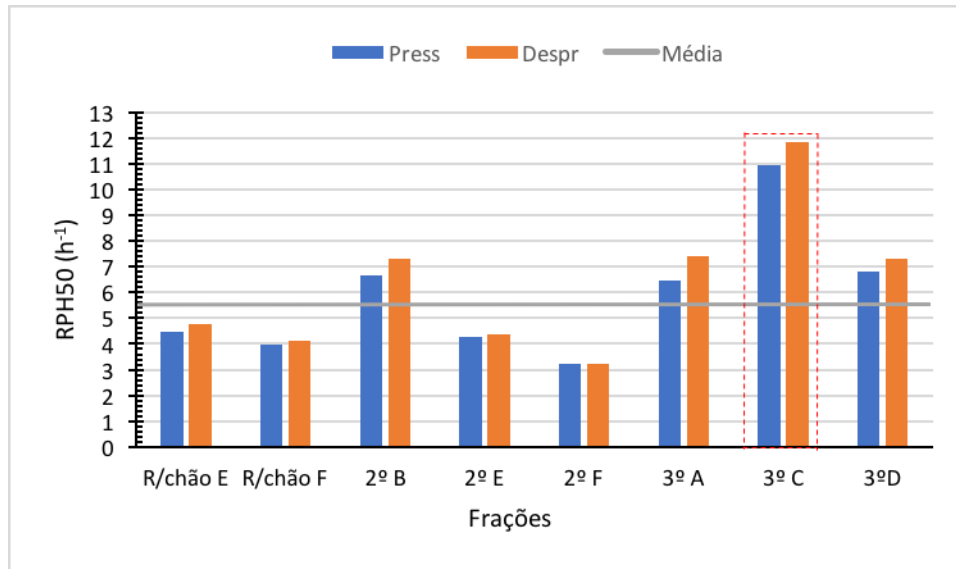


Figura 17 – Valores de RPH_{50} dos ensaios

Na figura 17 é possível analisar os valores de RPH_{50} para todas as habitações. Em todos os ensaios, as janelas da marquise foram seladas. Estes resultados têm uma média de $5,32 \text{ (h}^{-1}\text{)}$, no total dos valores de pressurização e despressurização, uma vez que na fração 3°C existia uma abertura no teto para a cobertura os valores desta fração não foram considerados na média, de forma a diminuir o erro. O valor médio da pressurização é de $5,13 \text{ (h}^{-1}\text{)}$ e o da despressurização é de $5,50 \text{ (h}^{-1}\text{)}$. A fração 2°F é a que apresenta menores valores RPH_{50} , uma vez que correspondente a uma fração ocupada, portanto com maiores cuidados de estanquidade. Os valores máximos foram obtidos na fração 3°C, devido há presença de uma abertura para a cobertura.

4.4.2 Monitorização da Temperatura e da Humidade Relativa

As frações em estudo foram monitorizadas, temperatura do ar e humidade relativa com uma taxa de aquisição de 10 minutos, para avaliação do conforto térmico.

Foram definidas duas zonas térmicas como representativas dos espaços interiores, sendo desta forma definida a estratégia de monitorização das frações com a colocação de um sensor

em cada zona térmica. Cada fração foi dividida em duas zonas térmicas, a ZT01 formada pelos quartos, sala e WC's, e a ZT02 constituída pela cozinha, marquise e hall de entrada. Após a divisão das frações, foram colocados os sensores nas respetivas zonas.

Foram utilizados sensores do tipo SHT31- Sensirion, (ver figura 18) com os seguintes dados técnicos: (Sensirion: The Sensor Company, 2017)

- Dimensões: 2,5 X 2,5 X 0,9 (cm)
- Precisão de temperatura: +/- 0,3°C a uma temperatura de -10 a 60°C
- Precisão de humidade relativa: +/- 0,2% a uma humidade relativa entre os 0 aos 100%
- Bateria: dispõem de uma bateria própria com 5,5V.
- Time-step: 10 em 10 minutos
- Capacidade para 10000 registos.

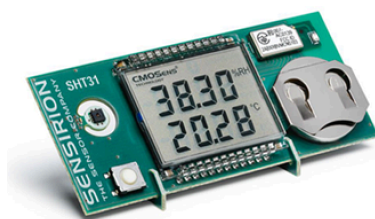


Figura 18 - Exemplo de sensor

O edifício foi monitorizado durante um período de oito meses, de dezembro 2016 a julho de 2017. Para o posicionamento dos sensores nas zonas térmicas foi definido de forma a evitar a exposição solar dos mesmos. Assim a distribuição foi feita nas divisões internas de acordo com a norma ISO 7726 (Ergonomics of the Thermal Environment - ISO 7726, 1998), para evitar o efeito da radiação solar e as temperaturas exteriores. Na figura 19 a 21 são apresentadas a distribuição e localização dos sensores em cada fração.

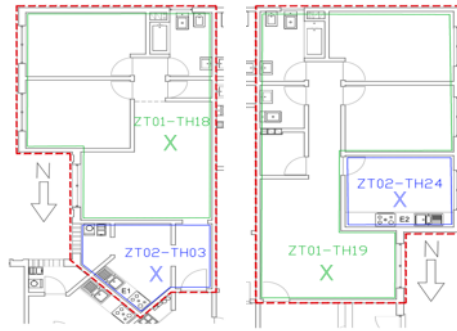


Figura 19 – Planta das frações R/chão E e F

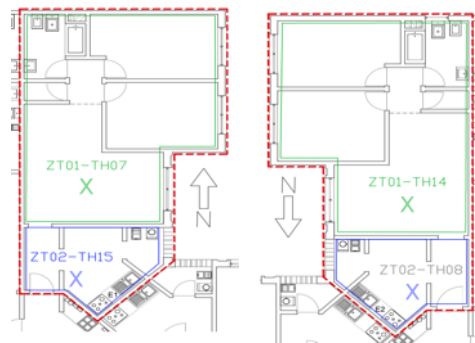


Figura 20 - Planta das frações 2º B e 2º E

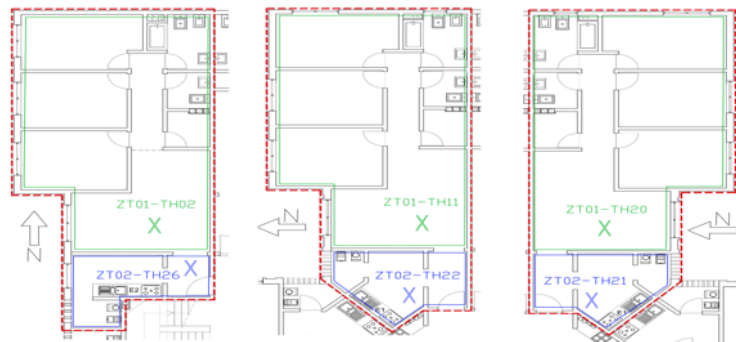


Figura 21 - Planta das frações 3º A, 3º C e 3º D

4.4.2.1 Análise conforto pela Norma Europeia EN15251

O conforto térmico de um edifício é difícil de quantificar, pois não depende exclusivamente de fatores ambientais quantificáveis (temperatura, tipo de ventilação) mas também de fatores não quantificáveis, sendo estes de natureza psicológica e sociológica.

A norma EN15251, “**Parâmetros ambientais interiores para a conceção e avaliação do desempenho energético dos edifícios abordando a qualidade do ar interior, ambiente**

térmico, iluminação e acústica”. A norma especifica valores padrão das diferentes variáveis de conforto térmico, a serem utilizadas em situações de projeto do ambiente interior (EN15251, 2007). Existem várias normas com base em modelos fisiológicos, nomeadamente a ASHRAE 55 (ASHRAE 55, 2004), EN7730 (EN 7730, 2001; EN 7730, 2001), EN15251 (EN15251, 2007) e a norma ISO/TS 14415 (ISO/TS 14415, 2005). Sendo a que se identifica mais com os requisitos da diretiva EPBD (EPBD, 2010) é a norma EN15251 (EN15251, 2007), por este motivo foi a escolhida.

A EN15251 (EN15251, 2007) qualifica o conforto em quatro categorias diferentes, baseando-se na sensação de conforto por parte dos ocupantes e no grau de exigência dos mesmos. Na tabela 9 lista-se as categorias de conforto definidas pela norma.

Tabela 9 - Descrição das categorias de conforto da EN15251 (adaptado EN15251)

Categoria	Descrição
<i>I</i>	Alto nível de expectativa e é recomendada para espaços ocupados por pessoas muito sensíveis e frágeis com necessidades especiais como deficientes, doentes, crianças muito pequenas e idosos.
<i>II</i>	Nível normal de expectativa e deve ser utilizado para novas construções e renovações.
<i>III</i>	Um aceitável, moderado nível de expectativa e pode ser utilizado para edifícios existentes.
<i>IV</i>	Valores fora dos critérios para as categorias anteriores. Esta categoria só deverá ser aceite para uma parte limitada do ano.

Esta norma é caracterizada por relacionar cada categoria de conforto, com o tipo de construção e a expectativa dos ocupantes. Quanto menor for o índice da categoria (*IV* para *I*) mais apertado é o controlo.

A EN 15251 separa a avaliação do conforto segundo dois critérios baseados no tipo de ventilação usada no edifício, com ventilação mecânica ou com ventilação natural. Para edifícios com ventilação natural, a temperatura operativa interior é calculada pela expressão 6 e não apresenta outros parâmetros de “controlo”, como a humidade e velocidade do ar, roupa e atividade.

$$T_{oc} = 0,33 \times T_{mp} + 18,8 \quad (6)$$

Onde:

T_{oc} – Temperatura operativa de conforto (°C)

T_{mp} – Temperatura média exterior ponderada (°C)

O cálculo da temperatura média exterior ponderada, T_{mp} , tem por base os valores das temperaturas médias diárias da semana precedente, definida pela expressão 7:

$$T_{mp} = (1 - \alpha) \times \theta_{ed-1} + \alpha \times T_{mp-1} \quad (7)$$

Onde:

T_{mp} – Temperatura média exterior exponencialmente ponderada (°C)

T_{mp-1} – Temperatura média exterior exponencialmente ponderada do dia anterior

θ_{ed-1} – Média diária da temperatura do dia anterior

α – é uma constante entre 0 e 1. Valor recomendado 0,8

Na figura 22 é representada as categorias de conforto, obtidas em função da temperatura operativa de conforto, T_{oc} . Essas categorias de conforto representam uma banda de tolerância em torno de uma linha central definida por T_{mp} , conforme a Figura 22.

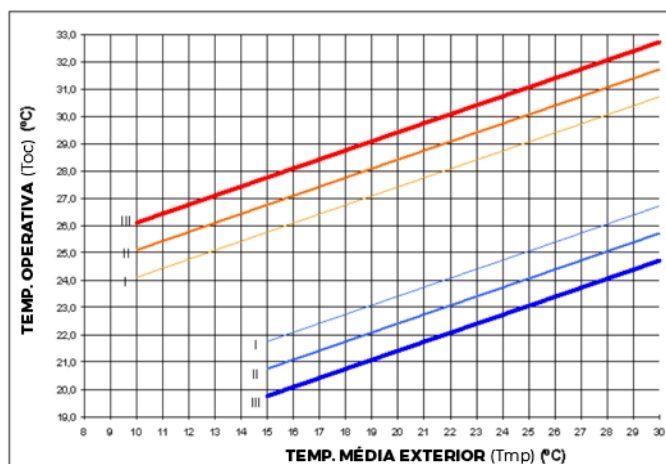


Figura 22 - Valores limites da temperatura operativa interior para edifícios com ventilação natural

Fora das bandas de temperatura assume-se que o edifício está em desconforto e dentro está em conformidade. A tabela 10, resume a largura das bandas a acrescentar à expressão 6 (T_{oc}) para cada categoria.

Tabela 10 - Folga admissível para a temperatura de conforto operativa

Categoria	T_{oc} (tolerância) (°C)
<i>I</i>	±2
<i>II</i>	±3
<i>III</i>	±4

Caso o valor do T_{mp} ser inferior a 10°C, a norma recomenda a utilização dos limites superiores de conforto para edifícios com sistema mecânico de aquecimento/arrefecimento. Para T_{mp} inferiores a 15°C, a norma recomenda a utilização de limites inferiores. Ambos os limites são referidos na Tabela A.2, do anexo A da norma EN 15251 (EN15251, 2007).

No anexo A da norma EN 15251, define exemplos de valores de temperatura para projetos de edifícios com sistemas mecânicos de aquecimento e arrefecimento com base na categoria dos mesmos, (ver tabela 11).

Tabela 11 - Valores de temperatura de projeto segundo a Norma EN15251 (adaptado do anexo A da norma EN15251 (EN15251, 2007))

Tipos de Edifícios	Categoria de Conforto	Temperatura Operativa (°C)	
		Min. para Aquecimento (°C)	Máx. para Arrefecimento (°C)
Edifícios residenciais: zonas úteis	<i>I</i>	21	25,5
	<i>II</i>	20	26
	<i>III</i>	18	27

Existem valores para outros tipos de compartimentos, porém não são importantes para o presente caso de estudo

O enquadramento do edifício, dado que é uma construção com aproximadamente 30 anos, enquadra-se na categoria de conforto *III*.

4.4.2.2 Análise do Conforto para o período monitorizado

Após a recolha dos dados, efetuou-se uma análise de forma a avaliar o conforto deste tipo de frações e qual a influência da ocupação. Durante a campanha de monitorização, houve perdas de resultados devidos a erros do software de transferência de dados.

De uma forma geral, conclui-se que as habitações apresentam longos períodos fora da zona de conforto térmico, dado que a temperatura $T_{operativa}$, a maior parte do tempo encontra-se fora dos limites estipulados pela EN15251 (figuras 23 a 29).

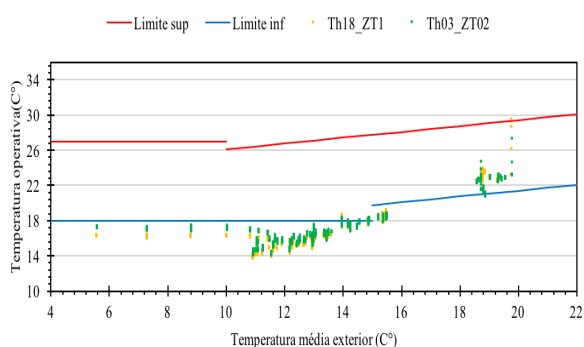


Figura 23 - Fração R/chão E

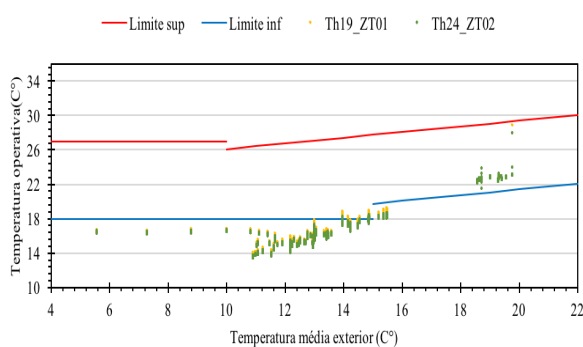


Figura 24 - Fração R/chão F

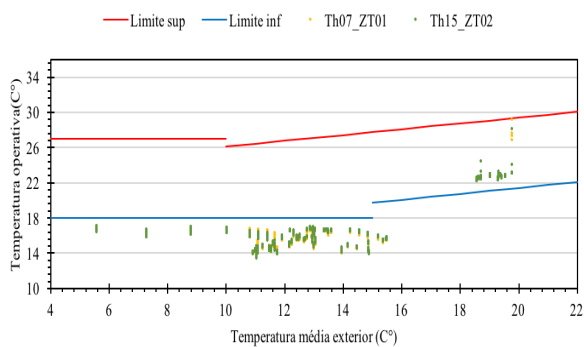


Figura 25 - Fração 2ºB

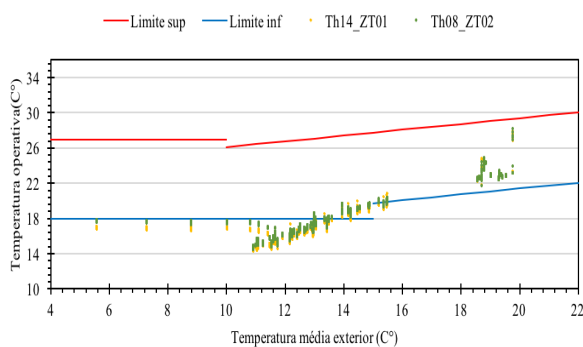


Figura 26 - Fração 2ºE

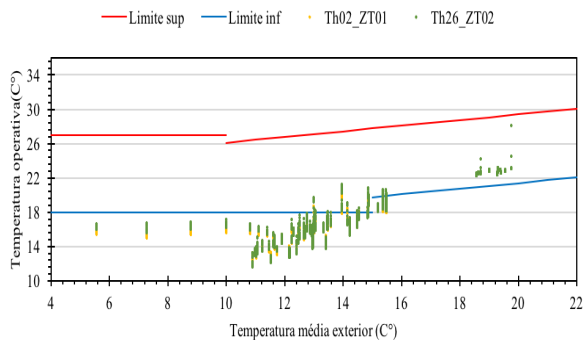


Figura 27 - Fração 3ªA

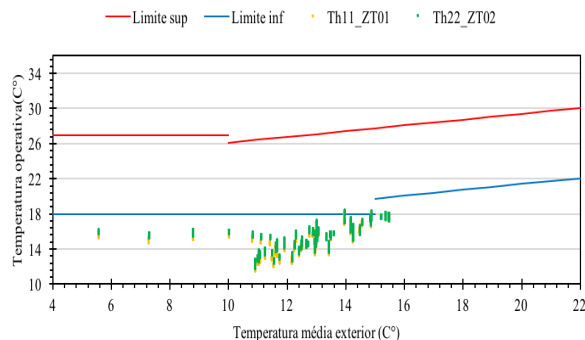


Figura 28 - Fração 3ªC

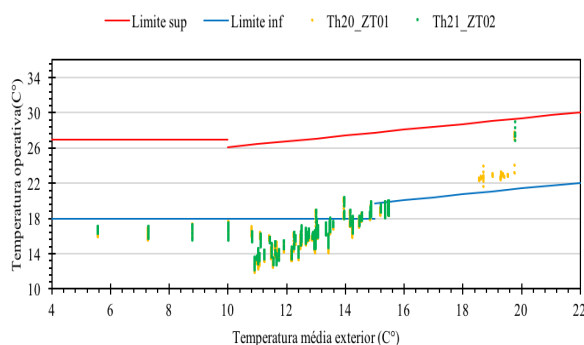


Figura 29 - Fração 3ªD

Para as condições originais do edifício, verificou-se que todas as frações apresentam uma percentagem de desconforto muito elevado (quase 100%), para o período monitorizado durante a estação de inverno. Para o período referente à estação de verão, não foi verificado sobreaquecimento em nenhuma das frações em estudo.

Ao se analisarem as frações do mesmo piso e com a mesma orientação, com é o caso das frações do R/chão E e F, conclui-se que existe uma diferença muito reduzida nos valores médios da $T_{operativa}$. Porém, para as frações do mesmo piso com orientações diferentes, como seria expectável, verificou-se que a fração com maior exposição solar apresenta uma $T_{operativa}$ mais elevada. Posteriormente, comparou-se as frações alinhadas com a mesma orientação, nomeadamente as frações R/chão E e 2ºE, e verificou-se que a fração do piso superior tem uma $T_{operativa}$ mais elevada do que a fração do piso inferior.

4.4.3 Síntese

Após a análise dos ensaios de porta ventiladora para o estudo da estanquidade ao ar nas frações em estudo obteve-se as seguintes conclusões:

- As frações têm um valor médio do RPH_{50} entre dentro do intervalo de 5 a 10 (h^{-1}), o que indica que as frações apresentam uma baixa estanquidade, pela norma EN13829.
- Dado que as frações apresentam algumas aberturas, em que as quais não foram seladas (como é o caso da abertura do exaustor), obtiveram-se assim valores mais elevados para o RPH_{50} .

Relativamente à monitorização higrotérmica realizada pode concluir-se que:

- As frações encontram-se em desconforto térmico na maioria do período da estação de inverno.
- Durante a estação de verão as frações revelam um bom desempenho térmico sem períodos de sobreaquecimento.
- As frações com maior exposição solar e localizadas em níveis superiores têm uma maior $T_{operativa}$.
- As frações desocupadas mesmo tendo menores ganhos térmicos apresentam bom desempenho térmico na estação de arrefecimento, e um mau desempenho no período de aquecimento.

Capítulo 5

Modelo Numérico

Capítulo 5 – Simulação Dinâmica: Aplicação ao Caso de Estudo

5.1 – Modelação Numérica

5.2 – Características da Simulação Dinâmica

5.2.1 – Definição das Zonas Térmicas

5.2.2 – Geometria do Modelo

5.2.3 – Propriedades dos Elementos de Construção da Envolvente

5.2.4 – Massa Interna das Paredes Interiores

5.2.5 – Vãos de Portas e Janelas

5.2.6 – Definição dos Ganhos Internos

5.2.7 – Ventilação Natural

5.2.8 – Distribuição Solar

5.3 – Calibração do Modelo

5.3.1 – Parâmetros de Calibração

5.3.2 – Discussão de Resultados

5 SIMULAÇÃO DINÂMICA: APLICAÇÃO AO CASO DE ESTUDO

5.1 Modelação Numérica

O edifício em estudo foi simulado com o programa *EnergyPlus*®, que tem a particularidade de utilizar um sistema de coordenadas para a introdução da geometria do modelo. Porém, para facilitar a definição geométrica do modelo, utilizou-se o *Plug-in OpenStudio*. Este *Plug-in* é uma ferramenta interligada com o *SketchUp* (programa de desenho), que permitiu definir a geometria do modelo e importá-lo para o *EnergyPlus*® sob a forma de coordenadas. O *OpenStudio* é uma plataforma com interface gráfica que utiliza o *Energyplus*® como ferramenta de cálculo da simulação dinâmica do modelo.

Ao utilizar o *Plug-in OpenStudio* é possível ainda:

- Criar e editar zonas e superfícies;
- Definir parâmetros de cálculo (zonas térmicas, geometria do modelo, características das soluções construtivas);
- Estudar soluções de sombreamento;
- Definir um código de cores para cada tipo de superfície.

5.2 Caracterização do Modelo de Simulação Dinâmica

Foi desenvolvido um modelo de simulação dinâmica em *EnergyPlus*® para simular o comportamento térmico do edifício em estudo. Neste subcapítulo serão apresentadas um conjunto de ações e características que definem a evolução da construção do modelo de simulação realizadas ao longo do trabalho, nomeadamente:

- Definição geométrica da envolvente do edifício;

- Definição das zonas térmicas (de acordo com a compartimentação interior);
- Definição das propriedades térmicas dos elementos de construção;
- Definição da massa interna das paredes;
- Definição dos vãos de portas e janelas;
- Definição dos ganhos internos;
- Definição da ventilação natural;
- Definição da radiação solar.

5.2.1 Definição das Zonas Térmicas

Uma zona térmica não é constituída necessariamente por um compartimento da fração, mas sim um espaço, ou um conjunto de espaços, onde as condições térmicas são semelhantes (Melo & Westphal F.S & Matos, 2009).

Neste caso de estudo foram consideradas 53 zonas térmicas correspondentes aos compartimentos interiores do edifício. Na figura 30 pode-se visualizar as diferentes zonas térmicas para o 1º andar, sendo este zonamento repetido em todos os pisos. Cada apartamento tem duas zonas térmicas, correspondente a ZT01 que é composto por quartos, instalações sanitárias e Sala e a ZT02 por cozinha, marquise e hall de entrada. Considerou-se ainda uma zona térmica para cada vão de escadas ao nível de cada piso e para o piso da cobertura.

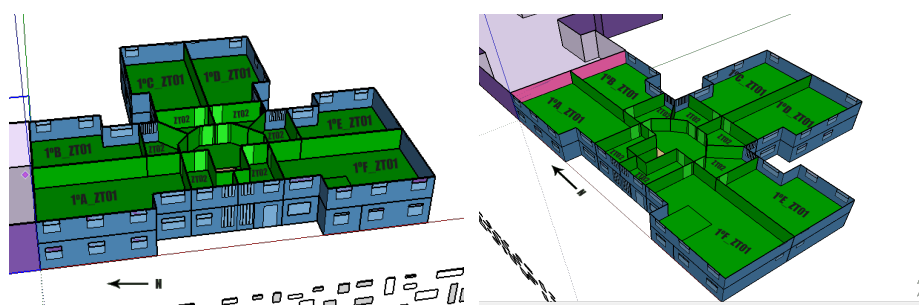


Figura 30 – Corte do edifício com visualização das zonas térmicas definidas (Fonte: SketchUp sem escala)

5.2.2 Geometria do Modelo

O *EnergyPlus*® (EP) aquando a definição geométrica das superfícies não permite a atribuição de espessura aos elementos da envolvente exterior e interior. Assim, as diferentes soluções são constituídas por várias camadas, em que a propriedade da espessura é atribuída diretamente aos diferentes materiais, servindo apenas para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica e para a massa térmica (Team, 2010).

Desta forma e para garantir-se a mesma volumetria interna, a definição do modelo seguiu os contornos interiores das paredes exteriores e os linhas centrais das paredes de compartimentação interna. Na tabela 12, está representado o erro associado devido ao ajuste do valor total da área útil.

Tabela 12 - Erro associado à área do modelo de simulação

Área Original das plantas de Arquitetura (m ²)	Área do Modelo (m ²)	Erro (%)
2197,20	1993,84	10

Foram também modelados os dois edifícios adjacentes ao edifício de estudo como elementos de sombreamento, assim como as árvores frontais ao edifício, para se garantir precisão no cálculo em termos de previsão de todos os elementos de horizonte sombreadores ao edifício em estudo. Assim, de forma a simular o efeito das árvores, foi criada uma malha *shading*. Na figura 31, é representado o modelo tridimensional do edifício, incluindo todos os elementos de sombreamento.

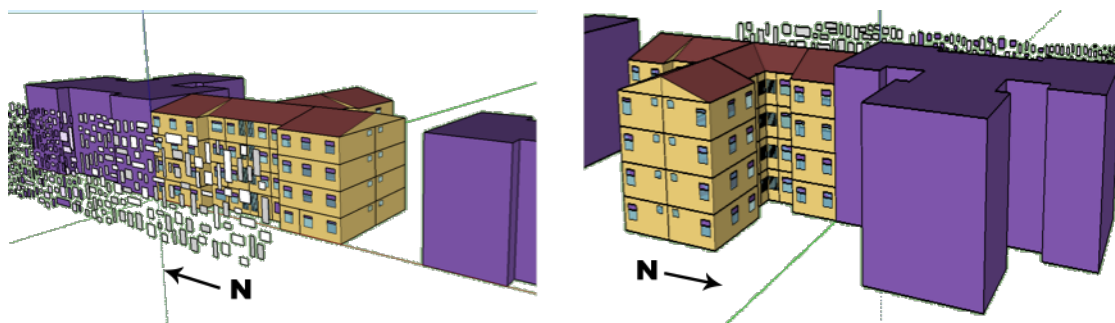


Figura 31- Geometria do modelo –Vista Oeste (esquerda) Vista Este (direita)

5.2.3 Propriedades Térmicas dos Elementos de Construção da Envolvente

Este subcapítulo diz respeito à identificação de propriedades físicas dos elementos construtivos da envolvente do edifício e do interior. As propriedades requeridas nos vários campos de definição do EP são: a espessura, a condutividade, a densidade e o calor específico dos materiais.

Através do coeficiente de condutividade térmica e da espessura dos materiais, é possível determinar o coeficiente de transmissão térmica. Para efeitos de inércia térmica são utilizados os valores da densidade e do calor específico. Na tabela 13, estão representadas as características das propriedades dos materiais utilizados no presente trabalho (LabEEE- Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, s.d.), (ITE 50 , 2006), (Concrete, Serviços em GRC, s.d.).

Tabela 13 - Propriedades Térmicas dos materiais

Material	Condutividade Térmica λ (W/m.°C)	Densidade ρ (kg/m ³)	Calor Específico C_p (J/kg.K)
Areia seca	0,300	1500	2090
Betão leve	1,650	2200	1000
Betonilha	0,360	1000	1000
Betão armado	2,300	2400	1000
Camada regularização	1,300	1900	1000
Gesso cartonado	0,300	800	840
Painéis GFRC	0,750	1800	963
Portas madeira densa	0,230	800	1340
Revestimento cerâmico	0,500	1300	920
Tijolo cerâmico	0,410	1100	920
Poliestireno expandido extrudido (XPS)	0,037	25	1420

No subcapítulo seguinte são apresentadas as propriedades da envolvente translúcida do modelo (envidraçados, caixilharias), assim como das caixas de ar.

A título explicativo da sequência da introdução dos dados no EP, após a definição dos materiais passa-se para o campo “Construction”, onde se compõem os elementos de construção que serão utilizados na caracterização da geometria da superfície das zonas em estudo.

5.2.4 Massa Interna das Paredes Interiores

De forma a simplificar o modelo algumas das paredes divisórias não foram consideradas. Assim, para minimizar o erro associado a esta premissa, foi atribuído a cada zona térmica o mesmo valor da massa térmica correspondente a cada parede de partição suprimida.

5.2.5 Vãos de Portas e Janelas

Foi considerada a existência de portas entre as zonas térmicas, de forma a simplificar o modelo relativamente à passagem de massa de ar entre zonas (ZT01 e ZT02). Assim, de forma a minimizar o erro associado à incerteza, assume-se que as portas estão sempre fechadas impossibilitando as trocas de fluxo de ar.

A existência de aberturas para o exterior influencia bastante os resultados. Como é difícil de prever os hábitos dos utilizadores, considerou-se no modelo as janelas estando sempre fechadas.

Para as janelas da marquise, recorreu-se ao comando *AirFlowNetWork:MultiZone:Surface*, este especifica as propriedades das superfícies que possuem ventilação natural, estas janelas são caracterizadas por estarem sempre abertas, independentemente das condições internas e externas.

5.2.6 Definição dos Ganhos Internos

Os ganhos internos são quantificados pela soma total da energia associada ao metabolismo humano, sistemas de iluminação e equipamentos. Estas variáveis tem um papel muito importante, pois irão ter elevada influencia no comportamento térmico global do edifício.

No presente caso de estudo, nas habitações ocupadas, dado a dificuldade em obter informações por parte dos habitantes, relativamente às suas rotinas diárias e qual o tipo de iluminação e aquecimento, optou-se por se colocar um valor fixo de $2,1 \text{ W/m}^2$ representativo de todos os ganhos internos (Feist, 2007).

5.2.7 Ventilação Natural

Um dos parâmetros a estudar é a disposição das janelas e as áreas de aberturas para o cálculo da renovação de ar, dado que estas condicionam bastante o fluxo de circulação de ar nas habitações.

Para a contabilização do efeito da ventilação natural do edifício foi utilizado o menu *ZoneInfiltration:DesignFlowRate* nas frações e *ZoneVentilation:DesignFlowRate* na cobertura.

A escolha destes campos deve-se ao recomendado pelo manual do EP em que nas frações foi usado o menu *ZoneInfiltration:DesignFlowRate*, dado que foi introduzido o valor obtido pelos ensaios porta ventiladora, este apenas considera a troca de ar proveniente das infiltrações pelas fissuras, janelas, portas. Na cobertura recorreu-se ao menu *ZoneVentilation:DesignFlowRate*, uma vez que se trata de uma zona térmica fortemente ventilada (Bigladder Software, 2015).

Na tabela 14, apresenta o caudal utilizados nas diferentes frações para efeitos de modelação no EP.

Tabela 14 – Caudal utilizado nas diferentes frações

Campo de definição no EP	Fração	Caudal (h^{-1})
ZoneInfiltration	R/chão E	0,2315
	R/chão F	0,2023
	2ºB	0,3493
	2ºE	0,2163
	2ºF*	0,1238
	3ºA	0,3235
	3ºC	0,5700
	3ºD	0,3532
ZoneVentilation	Cobertura	0,7000

*igual nas restantes frações ocupadas

5.2.8 Radiação Solar

A radiação solar é uma das principais ações climáticas a considerar no comportamento térmico de edifícios. O programa permite várias formas de abordar e calcular as cargas térmicas transmitidas por radiação, convecção e condução.

No que diz respeito à radiação, o modelo utilizado para avaliar a radiação solar será tratado nas simulações como “*Full Exterior*”. Este modelo de cálculo tem em consideração todas as saliências, palas e relevos das portas e janelas sobre a superfície exterior. Relativamente à radiação que atinge o interior, o programa considera que toda a radiação incide unicamente sobre o pavimento. Enquanto que a radiação refletida é adicionada à radiação difusa, que se considera uniformemente distribuída em todas as superfícies interiores. Os ganhos solares são calculados partindo dos dados climáticos, tendo em consideração a orientação das janelas, sombreamento e posição das proteções solares (Bigladder Software, 2015).

5.3 Calibração do Modelo

5.3.1 Parâmetros de Calibração

Para validar com precisão a calibração do modelo numérico recorreu-se ao índice Goodness-of-fit (GOF), que quantifica a diferença entre os valores do modelo e os valores reais. Este recorre a seguinte metodologia de cálculo:

(1) RMSE – Erro médio quadrático

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (M_i - S_i)^2} \quad (8)$$

Onde:

M_i – Temperatura real

S_i – Temperatura simulada

n – Número total de pontos do intervalo de tempo

(2) NMBE (%) – Erro médio estatístico normalizado

$$NMBE = \frac{\sum_{i=1}^n (M_i - S_i)}{n \times \overline{M}_t} \times 100 \quad (9)$$

Onde:

\overline{M}_t - Média das temperaturas no período considerado

(3) CV RMSE (%) – Coeficiente de variação do erro da raiz quadrada média

$$CV \text{ RMSE} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (M_i - S_i)^2}}{\overline{M}_t} \times 100 \quad (10)$$

(4) GOF (%)

$$GOF = \frac{\sqrt{2}}{2} \times \sqrt{NMBE^2 + CV \text{ RMSE}^2} \quad (11)$$

Para obter os valores GOF (GOF ≤ 10%), foi necessário alterar algumas das características iniciais do modelo, como se pode ver na tabela abaixo:

Tabela 15 - Características após calibração

Elementos alterados	Propriedades iniciais	Propriedades após calibração
<i>G</i> envidraçados	0,9	0,55
Infiltrações	Valor obtido nos ensaios <i>Porta Ventiladora</i>	+0,1 (h ⁻¹) (em todos)
Persianas	Sem persianas	Frações desocupadas - persianas com <i>h</i> =20cm Frações ocupadas - persianas com <i>h</i> =40cm

5.3.2 Discussão dos Resultados

Como referido no ponto 4.1.3, para a decomposição da radiação global nas suas componentes recorreu-se ao uso do logaritmo de Perez. Foram feitas duas simulações, uma com o ficheiro climático em que a radiação global foi desagregada em radiação difusa horizontal e radiação direta normal, e um outro ficheiro climático apenas com a radiação

global. Estas foram realizadas com o intuito de perceber qual a influência da desagregação da radiação no processo de calibração do modelo numérico.

Tabela 16 - Valores GOF

Fração	RMSE	CVRMSE (%)	NMBE (%)	GOF (CD) (%)	GOF (SD)(%)	Diferença GOF (%)
R/chão E	1,15	6,63	-3,67	5,19	23,24	22,33
R/chão F	2,62	13,90	-11,93	12,95	27,21	47,59
2ºB	1,56	8,87	-4,53	7,08	31,66	22,36
2º E	1,04	5,66	-1,30	4,11	38,21	10,75
3º A	3,02	15,89	-14,12	15,03	41,44	36,26
3º C	1,19	7,64	-2,11	5,72	36,73	15,57
3º D	1,08	6,41	0,73	4,64	45,00	10,31

CD – Com radiação desagregada SD – Sem radiação desagregada

Na tabela 16, visualizam-se os valores GOF das diferentes frações, e conclui-se com os resultados obtidos que a calibração mostrou uma boa aproximação entre os valores de temperatura reais e simuladas. As frações direcionadas a oeste (R/chão F e 3ºA) apresentam um valor GOF superior a 10%. Este deve-se ao facto de existir uma maior quantidade de radiação no modelo de simulação do que na realidade, estimando-se que este erro esteja relacionado com a definição dos sombreamentos em substituição das “árvores” existentes. Da análise de radiação verificou-se que é essencial a desintegração da radiação global em radiação normal e radiação difusa. Caso a simulação do modelo seja feita sem a desagregação da radiação global, existirá um erro associado bastante elevado, sendo assim importante que no ficheiro *EPW* esteja presente a radiação normal e a radiação difusa corretas.

Capítulo 6

Análise de Resultados

Capítulo 6 – Análise de Resultados

6.1 – Análise de Conforto pelos Limites Passive House

6.2 – Análise de Conforto segundo a Norma EN15251

6.2.1 – Estação de Aquecimento

6.2.1.1 – Frações Desocupadas

6.2.1.2 – Frações Ocupadas

6.2.2 – Estação de Arrefecimento

6.2.2.1 – Frações Desocupadas

6.2.2.2 – Frações Ocupadas

6.3 – Estudo Paramétricos – Influência da Ocupação Humana

6.3.1 – Fração R/chão D

6.3.2 – Fração 1°C

6.3.3 – Fração 1°D

6.3.4 – Fração 2°D

6.4 – Avaliação Global

6 ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo é avaliado o conforto térmico das habitações em estudo. Avaliado o desconforto, que corresponde à percentagem de tempo em que a temperatura interior das diferentes zonas térmicas, se encontra fora do intervalo de conforto definidos pelos limites da Passive House (Passive House Institute, 2015) e ainda pela norma EN 15251 (EN15251, 2007).

6.1 Análise de Conforto pelos Limites Passive House

Numa primeira fase será avaliado o comportamento de doze frações (ocupadas e desocupadas) do edifício original, para o período de um ano, de acordo com os limites definidos pela Passive House (20-25°C). Fez-se a avaliação das seguintes frações desocupadas: R/chão F, 2ºB, 2ºE, 3ºA, 3ºC e 3ºD, e das frações ocupadas: R/chão B, 1ºA, 1ºC, 1ºE, 2ºF e 2ºD. Esta análise foi efetuada tendo por base a temperatura média diária de ambas as zonas térmicas (ZT01 e ZT02) de cada fração.

De forma a simplificar graficamente, a análise fez-se separadamente, para as frações ocupadas e desocupadas.

As frações com letra B e E, estão ambas orientadas a Este e têm uma boa exposição solar nascente. Por outro lado, as frações A e F, tem uma orientação a Oeste, com excelente exposição solar, porém estão sombreadas por árvores que impede que estas frações tenham elevados ganhos solares por radiação direta. As frações C e D têm, respetivamente, orientação a Norte e Sul, o que afetará a fração C ao nível de ganhos solares devido à pouca exposição solar.

Na figura 32 é apresentada a variação da temperatura média horária para as frações desocupadas, enquanto que a figura 33 apresenta a mesma variação, mas relativamente às frações ocupadas. Pela análise de ambas as figuras, conclui-se que o edifício original necessita de uma intervenção que melhore o seu comportamento térmico dado que este

apresenta um elevado número de horas em que a temperatura interior se encontra abaixo de uma temperatura de 20 graus durante o período de inverno e superior a 25 graus durante o período de verão. Verifica-se ainda que o edifício apresenta uma amplitude de temperatura muito elevada entre estações o que permite concluir que é muito sensível às variações externas de temperatura.

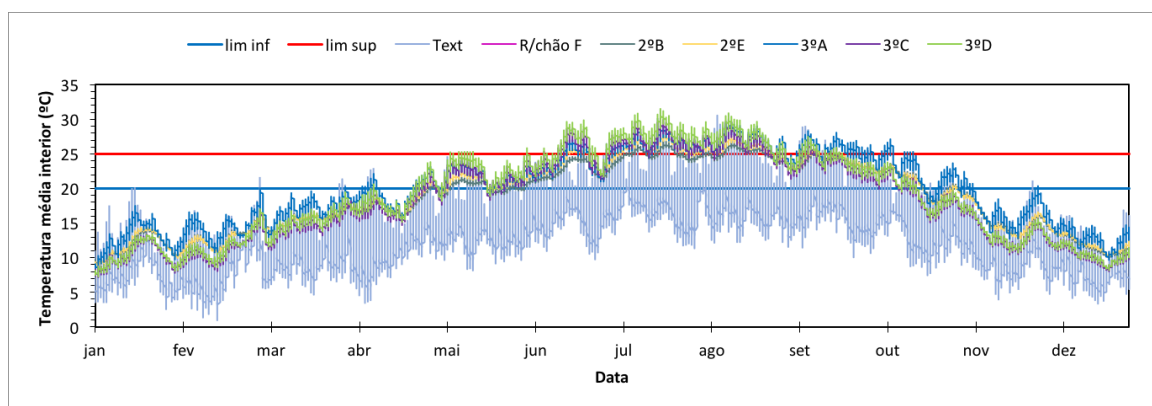


Figura 32 - Variação da temperatura anual do caso de estudo nas condições originais - Frações desocupadas

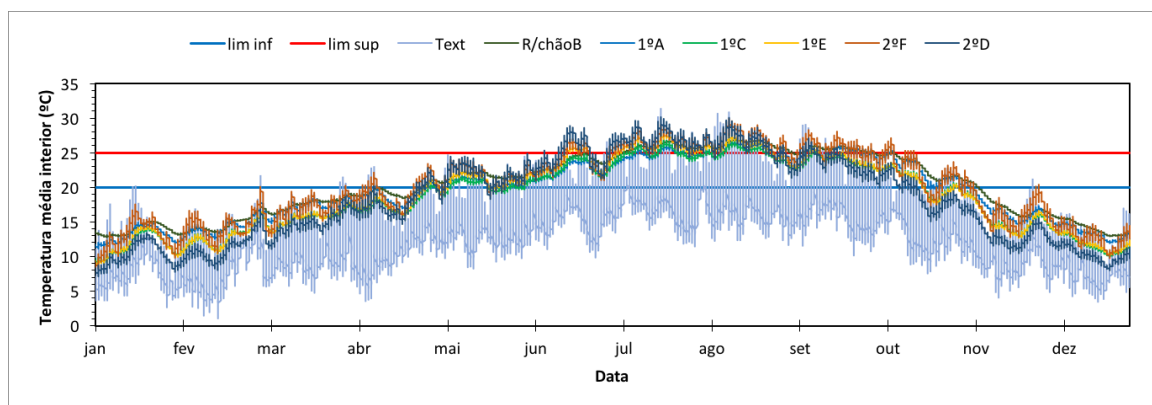


Figura 33 - Variação da temperatura anual do caso de estudo nas condições originais - Frações ocupadas

Nas tabelas 16, apresentam-se as horas em que a temperatura interna das frações se encontra fora dos limites de conforto. Conclui-se que durante aproximadamente 45 a 50% do ano, os utilizadores não se encontram confortáveis nas suas próprias habitações.

Tabela 17 - % de horas de desconforto nas frações desocupadas (esquerda) e nas frações ocupadas (direita)

% Tempo Desconforto		% Tempo Desconforto	
R/chão F	41,99	R/chão B	47,08
2ºB	45,00	1ºA	41,99
2ºE	50,06	1ºC	45,00
3ºA	49,21	1ºE	50,06
3ºC	51,20	2ºF	49,21
3ºD	52,76	2ºD	51,20

Pela análise da tabela 17 verifica-se que o edifício em estudo se encontra em desconforto um elevado período do ano. Ao se compararem as percentagens de desconforto das frações desocupadas e ocupadas, conclui-se que a percentagem do tempo de desconforto nas frações ocupadas, tende a ser menor em relação às frações desocupadas, expeto a fração r/chão B devido à ausência de ganhos solares. Este facto deve-se à acumulação de energia proveniente de ganhos internos, como por exemplo a presença humana, iluminação e equipamentos.

6.2 Análise de Conforto Segundo a Norma EN 15251

Numa segunda fase foi avaliado o comportamento das mesmas frações que anteriormente, mas pela norma EN15251 (EN15251, 2007). A avaliação pela norma EN15251, embora só aplicável a espaços com ocupação, foi na mesma utilizada para análise das frações desocupadas para se ter uma análise de conforto térmico do espaço.

Para uma análise mais aprofundada do conforto térmico, optou-se por se analisar separadamente, a estação de aquecimento e a estação de arrefecimento. Considerou-se para um período de arrefecimento os meses de junho a setembro e para o período de aquecimento de outubro a maio. Como no capítulo 6.1 análise efetuou-se separadamente, primeiro para as frações ocupadas e depois para as frações desocupadas.

6.2.1 Estação de Aquecimento

Para uma análise gráfica mais facilitada, optou-se por avaliar o conforto térmico num período de tempo mais curto. Assim, fez-se um estudo dos dados simulados para as condições originais do modelo, durante a 1^a e 2^a semana de janeiro, onde as temperaturas exteriores foram bastante rigorosas.

6.2.1.1 Frações Desocupadas

Na figura 34, mostra que durante este período as temperaturas internas de todas as frações se encontram fora dos limites de conforto ($T_{op} < 18^{\circ}\text{C}$).

As frações do 3^oC e 3^oD, com fachada orientada norte e sul, respetivamente, são as que apresentam $T_{operativa}$ inferiores, uma vez que são as que tem menor ganhos solar. Por outro lado, as frações com fachadas orientadas a oeste, R/chão F e 3^oA, por terem uma grande exposição solar são as que apresentam as $T_{operativa}$ mais elevadas.

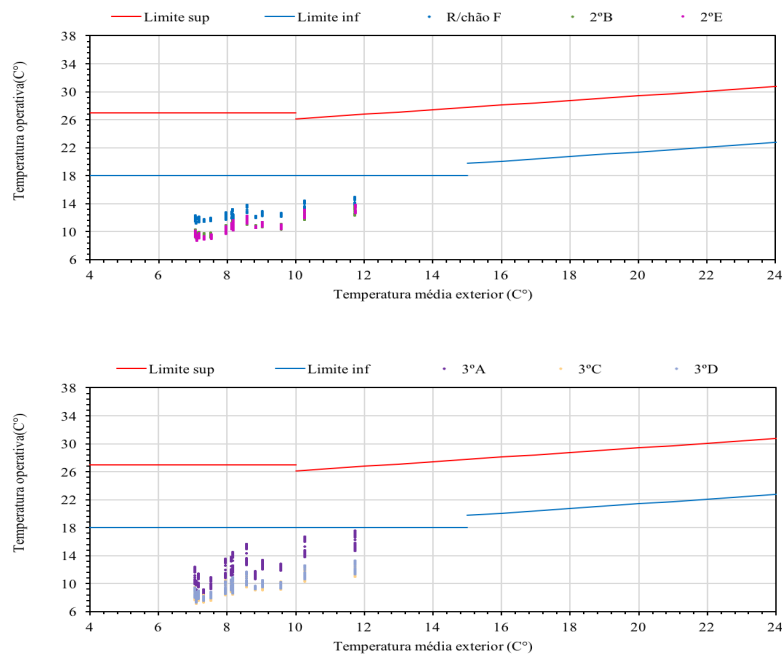


Figura 34 – Avaliação do Conforto durante a estação de aquecimento das frações desocupadas (1^a e 2^a semana de janeiro)

6.2.1.2. Frações Ocupadas

Nas frações ocupadas a análise do conforto térmico é muito dependente do facto das habitações possuírem ou não de janelas na zona da marquise. De acordo com o projeto original das frações, estas zonas são caracterizadas com aberturas para o exterior, porém de forma a diminuir o desconforto térmico, alguns proprietários introduziram janelas nestas aberturas.

Na figura 35, conclui-se que as $T_{operativa}$ no interior das frações também se encontram fora dos limites da temperatura de conforto. Pelo facto das frações 1ªA e 2ºF possuem uma janela na zona da marquise, logo têm uma temperatura interna superior às restantes frações.

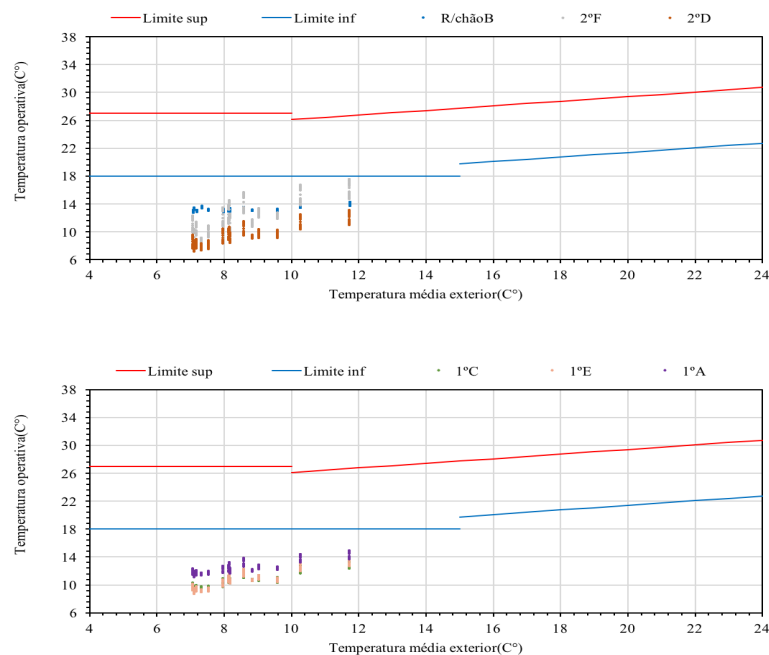


Figura 35 – Avaliação de conforto durante a estação de aquecimento das frações ocupadas (1ª e 2ª semana de janeiro)

6.2.2 Estação de Arrefecimento

Para a estação de verão, fez-se um estudo ao longo da 2ª e 3ª semana de agosto, onde as temperaturas são bastante elevadas.

6.2.2.1. Frações Desocupadas

Na figura 36, conclui-se que as frações têm um melhor comportamento nos meses quentes. Nesta situação as frações com maior $T_{operativa}$ são as frações localizadas nos andares superiores, tendo maior exposição solar. Enquanto que as frações nos pisos mais baixos têm $T_{operativa}$ menos elevada, estando dentro dos limites de conforto definidos pela EN15251 (EN15251, 2007).

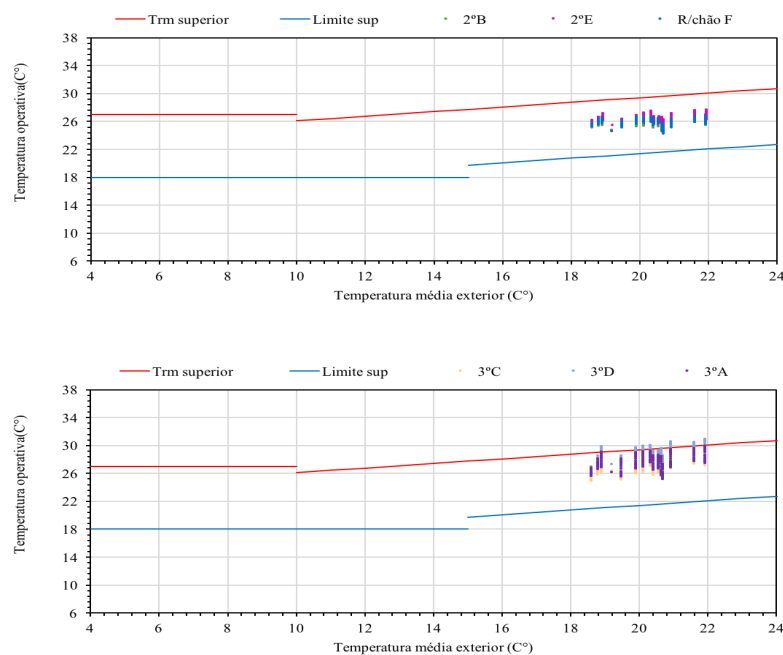


Figura 36 – Avaliação do conforto durante a estação de arrefecimento das frações desocupadas (2ª e 3ª semana de agosto)

Para o período apresentado a única fração a apresentar uma percentagem de desconforto foi a fração 3°D, com um valor de 16%. Esta fração tem orientação a sul e oeste sendo a fração com maior incidência de radiação solar direta.

6.2.2.2. Frações Ocupadas

A figura 37, comprova que as frações com ocupação na estação de arrefecimento têm um bom comportamento a nível do conforto térmico.

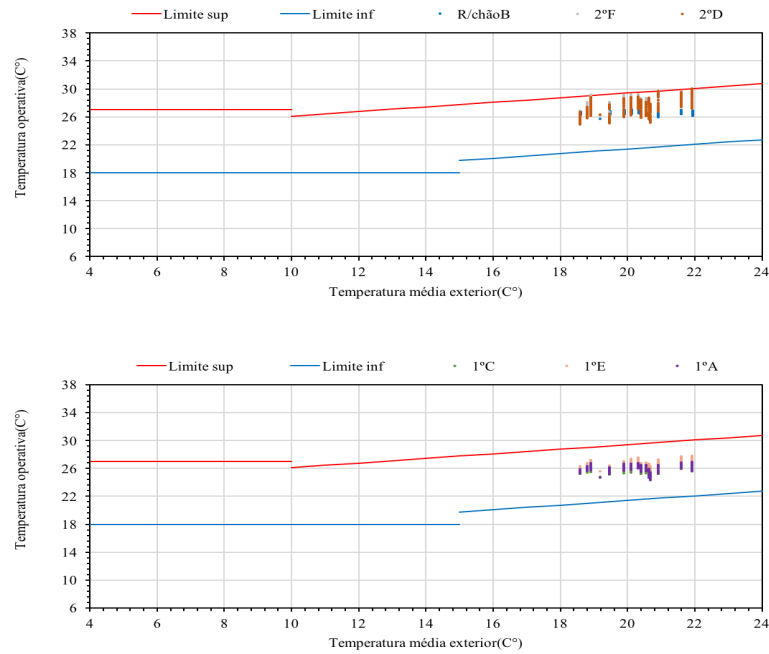


Figura 37 – Avaliação do conforto durante a estação de arrefecimento das frações ocupadas (2ª e 3ª semana de agosto)

Para o período apresentado foi obtida uma percentagem de conforto de 100% em todas as frações de acordo com os limites impostos pela EN15251 (EN15251, 2007).

6.3 Estudo Paramétricos – Influência da Ocupação Humana

Para a análise dos estudos paramétricos optou-se apenas por se analisarem, durante um ano, algumas frações alvo, nomeadamente o R/chão D, o 1°C, o 1°D e o 2°D, de forma a avaliar-se a influência da desocupação de frações de forma criteriosa.

Na escolha das variáveis do estudo paramétrico teve-se como premissa as fragilidades térmicas do edifício, mantendo-se sempre a geometria, a orientação de implantação. Optou-se por se perceber qual a influência que a ocupação humana tem nas habitações adjacentes (lateralmente e no piso superior e inferior) a nível térmico. Na tabela 18, lista-se os sete modelos efetuados, alterando-se apenas o nível de ocupação nas diferentes frações do edifício e a sua disposição.

Tabela 18 – Definição dos estudos paramétricos na avaliação da influência da ocupação

Modelo	Descrição	Objetivo
M1	Sem ocupação	Avaliar a percentagem de conforto nestas condições.
M2	Ocupação total	
M3	Fração alvo – com ocupação	Avaliar a percentagem de conforto da fração alvo sob a influência da ocupação das frações contíguas.
	Frações do piso – sem ocupação	
Frações do piso sup. e inf. – sem ocupação		
M4	Fração C e D – com ocupação	
	Frações do piso – sem ocupação	
	Frações do piso sup. e inf. – sem ocupação	
M5	Fração alvo – com ocupação	
	Frações do piso – sem ocupação	
	Frações do piso sup. e inf. – com ocupação	
M6	Fração C e D – com ocupação	
	Frações do piso – sem ocupação	
	Frações do piso sup. e inf. – com ocupação	
M7	Fração C e D – sem ocupação	Avaliar a percentagem de conforto da fração alvo sob a influência da ocupação das frações contíguas, caso não exista ocupação nas frações C e D.
	Frações do piso – com ocupação	
	Frações do piso sup. e inf. – com ocupação	

Numa primeira fase, fez-se a avaliação do conforto do edifício quando este se encontra com todas as frações sem ocupação, e com todas as frações ocupadas. Estes dois modelos foram considerando como referência para os restantes estudos paramétricos. Nas figuras 38 e 39, mostra-se a avaliação de conforto para os dois modelos sem ocupação (M1) e com ocupação (M2) para as frações R/chão D, 1°C, 1°D e 2°D.

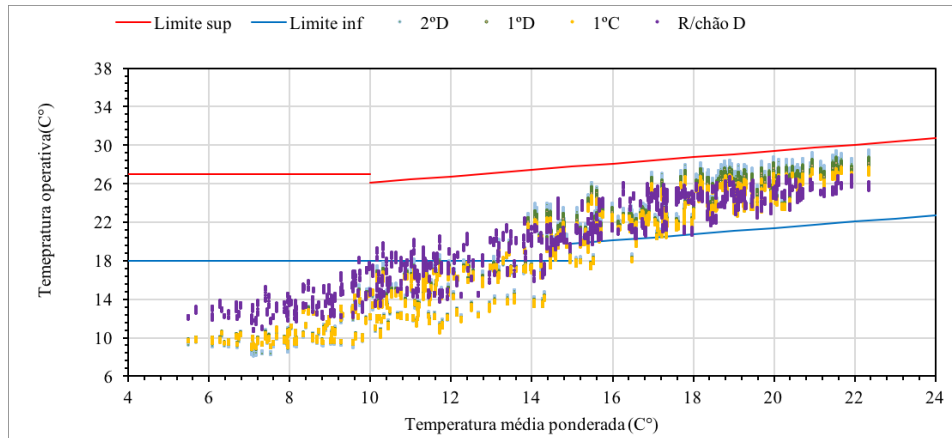


Figura 38 – Avaliação do conforto térmico anual para o modelo M1 segundo a norma EN15251 - edifício sem ocupação

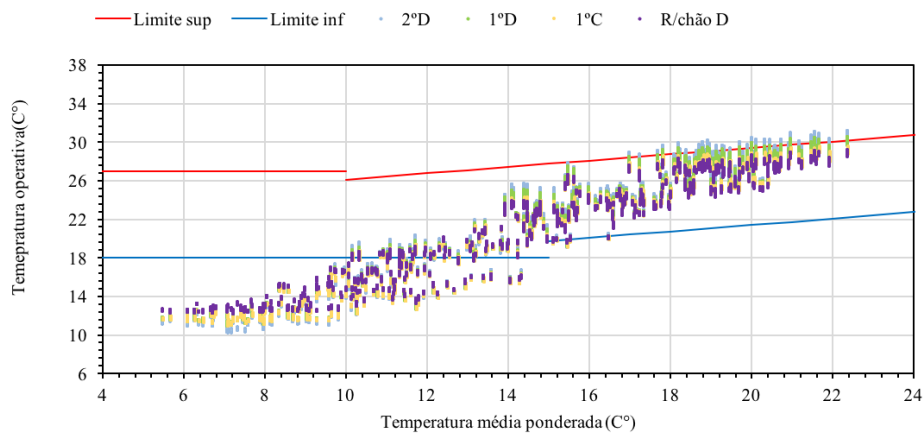


Figura 39 - Avaliação do conforto térmico anual para o modelo M2 segundo a norma EN15251 - edifício com ocupação

A tabela 19 indica a percentagem de tempo em desconforto que a fração apresenta quando este se encontra sem ocupação (modelo M1) e com todas as frações ocupadas (modelo M2). Como expectável, o edifício sem ocupação teve uma percentagem de desconforto média (48,97%) superior relativamente à percentagem de desconforto médio com frações ocupadas (41,51%).

Tabela 19 - % tempo em desconforto avaliado segundo a EN15251 - Edifício sem ocupação (esquerda) com ocupação total (direita)

% Tempo Desconforto			% Tempo Desconforto		
R/chão D	40,33	48,97 (média)	R/chão D	40,03	41,51 (média)
1°C	52,28		1°C	40,48	
1°D	51,32		1°D	41,89	
1°E	50,74		1°E	39,10	
2°D	50,17		2°D	46,04	

Efetuiu-se um modelo adicionando-se um sistema ativo para aquecimento e arrefecimento, de forma a garantir que o edifício esteja dentro da gama de temperaturas de conforto, entre 20°C a 25°C, nunca ultrapassando o número de renovações naturais utilizadas após calibração, com o intuito de perceber qual a necessidade energética das frações. Para a definição do sistema de ventilação mecânica, foi necessário definir um termostato, com um *setpoint* de temperatura entre 20 e 25°C. Foi também necessário definir um caudal de insuflação para cada fração (ver tabela 20). A fração 3°C tem um valor bastante elevado, comparativamente às restantes frações, devido ao facto de esta apresentar uma abertura para o desvão da cobertura.

Tabela 20 - Caudais de insuflação/extração para cada fração

Fração	Volume (m ³)	Renovações (rph ⁻¹)	Caudal de Insuflação/Extração (m ³ /s)
R/chão E	206	0,2415	0,2369
R/chão F	214	0,2123	0,2695
2°B	229	0,3593	0,1593
2°E	229	0,2263	0,2529
3°A	229	0,3335	0,1716
3°C	230	0,6700	0,0854
3°D	230	0,3632	0,1576
Frações ocupadas	229	0,1338	0,4276

6.3.1 Fração R/chão D

Na tabela 21, é apresentada a análise de conforto da fração R/chão D em comparação com os restantes modelos. A comparação efetuou-se para cada estação (aquecimento/arrefecimento), de acordo com a norma EN 15251 (EN15251, 2007).

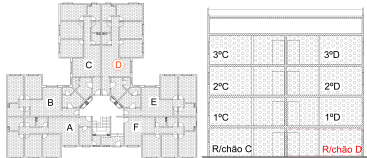
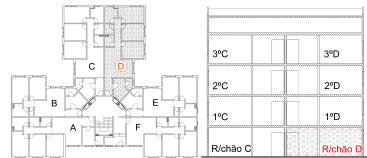
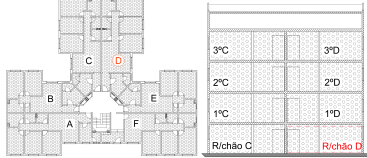
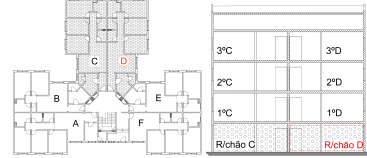
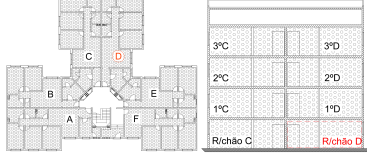
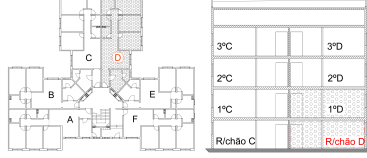
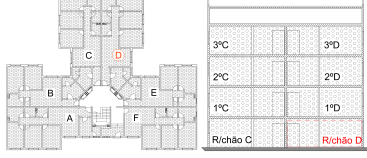
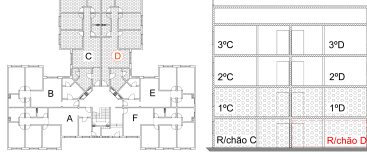
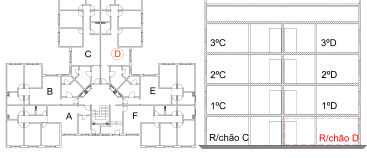
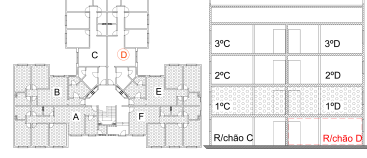
Da análise dos valores de referência dos modelos M1 e M2, verifica-se que existe um aumento da percentagem de desconforto, ainda que pouco significativo, devendo-se ao facto de que em ambas as situações existe uma dissipação de calor entre a fração alvo (R/chão D) e o solo.

Ao comparar os outros modelos (M3 a M7) com os valores de referencia, averigua-se que existe um aumento da percentagem de desconforto da fração R/chão D, devendo-se ao facto da diminuição dos ganhos internos destas frações contíguas. Como o modelo M3 apresenta uma envolvente em contato com frações desocupadas verificou-se uma maior percentagem de desconforto nesta fração. No modelo M6, dado que a fração alvo beneficia de ganhos internos das frações vizinhas (R/chão C e 1°C) apresenta uma menor percentagem de desconforto. Conclui-se ainda que para a fração R/chão D é mais benéfico ter a fração R/chão C ocupada do que ter a fração 1ºD ocupada, pois existem maiores trocas de calor entre a fração lateral do que a fração superior diminuindo assim a percentagem de desconforto.

Relativamente à necessidade de energia, existe uma maior necessidade de aquecimento quando há uma menor ocupação do edifício.

REABILITAÇÃO TÉRMICA E ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS SOCIAIS

Tabela 21 - Estudo paramétrico da fração R/chão D

Fração alvo	% de desconforto (valor de referência) (Aquecimento/Arrefecimento)	% de desconforto (Aquecimento/Arrefecimento)	Necessidade energética (kWh/m ² ano)
R/chão D	M2 	M3 	M3 60,26/7,81
	40,03/0,00	46,96/0,00	
R/chão D	M2 	M4 	M4 43,47/7,84
	40,03/0,00	45,73/0,00	
R/chão D	M2 	M5 	M5 44,56/6,26
	40,03/0,00	46,23/0,00	
R/chão D	M2 	M6 	M6 28,84/6,34
	40,03/0,00	44,30/0,00	
R/chão D*	M1 	M7 	M7 33,36/2,80
	40,33/0,00	49,97/0,00	

* Fração alvo sem ganhos internos

6.3.2 Fração 1°C

Na tabela 22, é apresentada a análise de conforto da fração 1°C de referência em comparação com os restantes modelos. A comparação efetuou-se para cada estação (aquecimento/arrefecimento), de acordo com a norma EN 15251 (EN15251, 2007).

A análise dos valores de referência dos modelos M1 e M2, verifica-se que existe um aumento da percentagem de desconforto, bastante significativa, caso ocorra uma diminuição na ocupação. Esta conclusão é semelhante ao comprovado nos resultados anteriores (fração R/chão D).

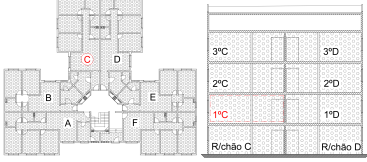
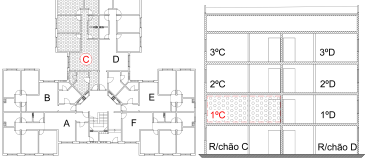
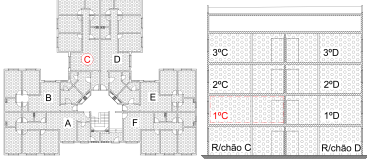
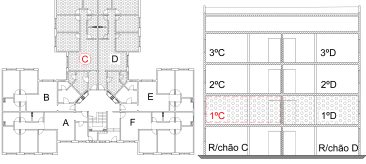
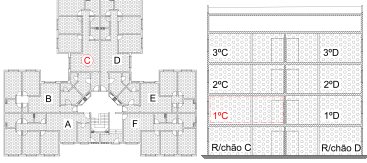
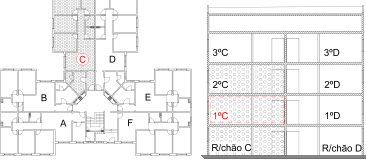
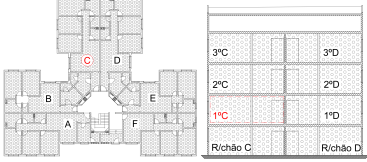
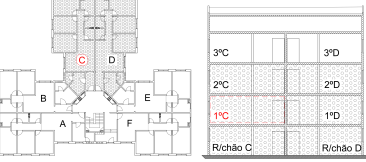
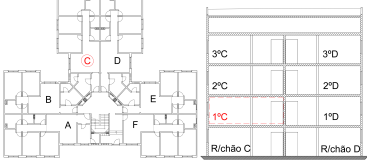
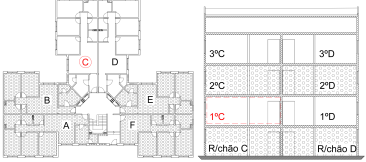
Ao comparar os estudos paramétricos com os valores de referência (M1 e M2), confere-se que existe um aumento da percentagem de desconforto da fração 1°C, que se deve à diminuição dos ganhos internos por parte das frações adjacentes. Como no exemplo dado anteriormente, o caso do modelo M3 é o que apresenta uma maior percentagem de desconforto, dado que apresenta apenas a fração alvo ocupada o que irá provocar uma elevada perda de calor para as frações vizinhas. No modelo M6 não se verifica esta particularidade, dado que a fração alvo beneficia dos ganhos internos das frações vizinhas (R/chão C, R/chão D, 2°C e 2°D).

Conclui-se ainda que para a fração 1°C é mais benéfico ter a fração R/chão C e 2°C ocupadas (M5) do que ter a fração 1°D ocupada (M4), pois beneficiará de uma maior percentagem de transmissão de calor da fração superior e inferior do que da fração lateral. Durante a estação de arrefecimento não foram verificadas alterações, potencialmente pelo facto de não existir muitos ganhos solares por parte da fração alvo, fazendo com que não haja sobreaquecimento significativo da fração alvo.

Relativamente à necessidade energética, existe uma maior necessidade de aquecimento quando há uma menor ocupação do edifício.

REABILITAÇÃO TÉRMICA E ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS SOCIAIS

Tabela 22 - Estudo paramétrico da fração 1°C

Fração alvo	% de desconforto (valor de referência) (Aquecimento/Arrefecimento)	% de desconforto (Aquecimento/Arrefecimento)	Necessidade energética (kWh/m ² ano)
1°C	M2  40,48/0,00	M3  47,79/0,00	M3 79,74/9,75
	M2  40,48/0,00	M4  46,61/0,00	M4 60,86/7,86
1°C	M2  40,48/0,00	M5  45,97/0,00	M5 52,11/8,68
	M2  40,48/0,00	M6  44,19/0,00	M6 35,60/6,83
1°C*	M1  52,28/0,00	M7  49,43/0,00	M7 40,88/3,24

* Fração alvo sem ganhos internos

6.3.3 Fração 1ºD

Na tabela 23, é apresentada a análise de conforto da fração alvo, 1ºD em comparação com os restantes modelos. A comparação efetuou-se para cada estação (aquecimento/arrefecimento), de acordo com a norma EN 15251 (EN15251, 2007).

Da análise dos valores referência dos modelos M1 e M2 verifica-se que a percentagem de desconforto durante a estação de aquecimento da fração 1ºD aumenta, caso não haja ocupação nas frações adjacentes. Para a estação de arrefecimento a percentagem de desconforto reduziu, concluindo-se assim que a pequena necessidade de arrefecimento se deve aos ganhos internos da própria fração-alvo. Verifica-se também uma redução da percentagem de desconforto considerando a fração 1ºD desocupada.

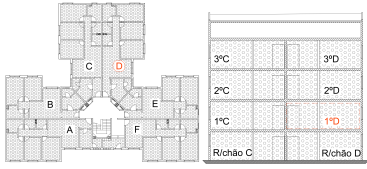
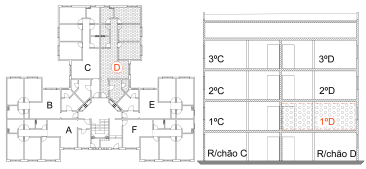
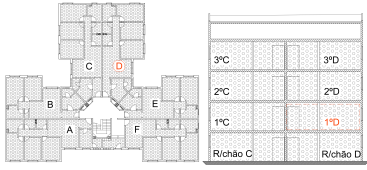
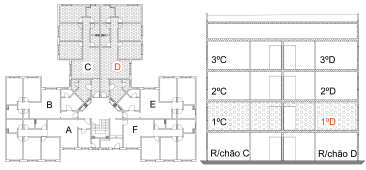
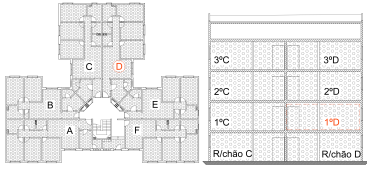
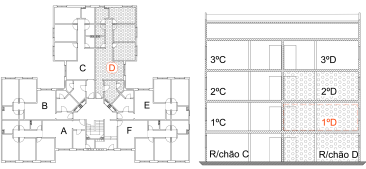
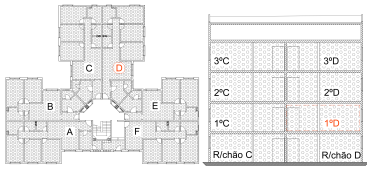
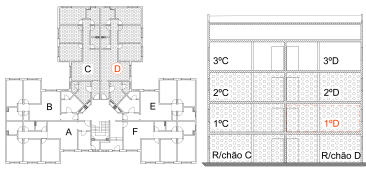
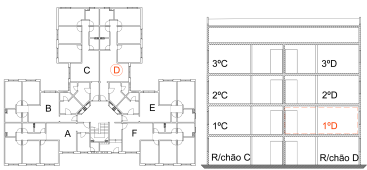
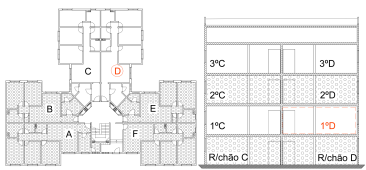
Ao comparar os outros modelos (M3 a M7) com os valores de referência (M1 e M2), verifica-se que existe um aumento da percentagem de desconforto da fração 1ºD, devendo-se ao facto da diminuição dos ganhos internos por parte das frações vizinhas. Como no exemplo dado anteriormente, o caso de modelo M3 é o que apresenta uma maior percentagem de desconforto, uma vez que a fração alvo ocupada irá perder grandes quantidades de calor (maior fluxo) para as frações vizinhas. No modelo M6, dado que a fração alvo é beneficiada pelos ganhos internos das frações vizinhas (R/chão C, R/chão D, 2ºC e 2ºD).

Para a fração 1ºD é mais benéfico ter a fração R/chão D 2ºD ocupadas (M5) do que ter as frações 1ºC ocupada (M4), esta conclusão é semelhante ao resultado da fração anteriormente avaliada (1ºC).

Relativamente à necessidade energética, existe uma maior necessidade de aquecimento quando há uma menor ocupação do edifício.

REABILITAÇÃO TÉRMICA E ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS SOCIAIS

Tabela 23 - Estudo paramétricos da fração 1ºD

Fração alvo	% de desconforto (valor de referência) (Aquecimento/Arrefecimento)	% de desconforto (Aquecimento/Arrefecimento)	Necessidade energética (kWh/m ² ano)
1ºD	M2 	M3 	M3 73,50/14,54
	39,94/1,95	46,99/0,00	
1ºD	M2 	M4 	M4 59,14/13,50
	39,94/1,95	45,90/0,00	
1ºD	M2 	M5 	M5 51,47/12,05
	39,94/1,95	45,24/0,00	
1ºD	M2 	M6 	M6 34,65/11,83
	39,94/1,95	42,88/0,26	
1ºD*	M1 	M7 	M7 39,77/0,00
	51,32/0,00	48,55/0,00	

* Fração alvo sem ganhos internos

6.3.4 Fração 2ºD

Na tabela 24, é apresentada a análise de conforto da fração alvo 2ºD em comparação com os restantes modelos. A comparação efetuou-se para cada estação (aquecimento/arrefecimento), de acordo com a norma EN 15251 (EN15251, 2007).

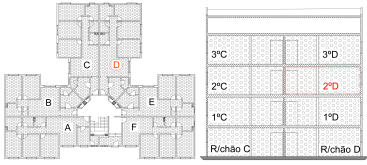
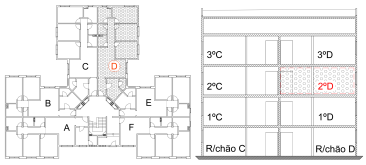
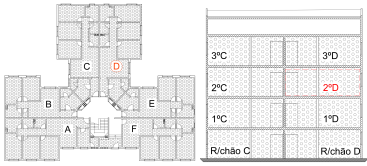
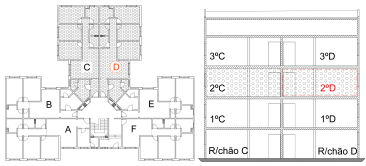
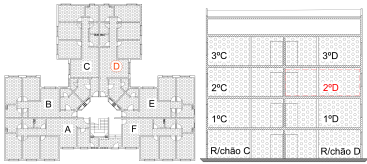
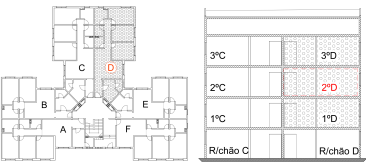
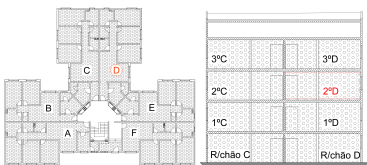
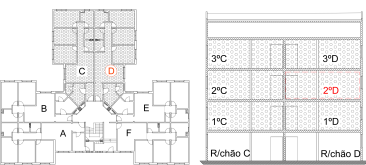
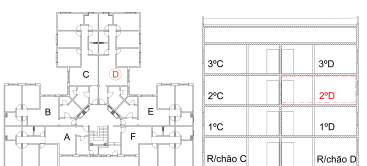
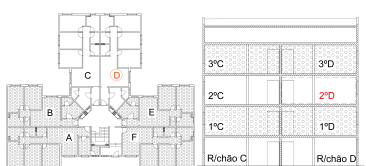
Ao comparar os valores de referência (M1 e M2) conclui-se que a presença humana influencia na percentagem de desconforto. No caso do modelo M1, onde todas as frações estão desocupadas, não existe ganhos internos, como consequência houve um aumento da percentagem de desconforto na estação de aquecimento comparativamente as frações do modelo M2, onde todas as frações estavam todas ocupadas. Durante a estação de arrefecimento houve um decréscimo de desconforto, concluindo-se assim que a pequena necessidade de arrefecimento se deve aos ganhos internos de própria fração alvo. Esta conclusão é semelhante ao comprovado nos resultados anteriores das frações (1ºC, 1ºD).

Ao analisar os outros modelos (M3 a M7) referente á fração 2ºD, verifica-se que a percentagem de desconforto varia conforme a ocupação das frações vizinhas. Em todos os casos de estudo existe um aumento da percentagem de desconforto, uma vez que perdem a influência das frações vizinhas, porém se compararmos os diferentes modelos percebemos que conforme a ocupação vai aumentando a percentagem de desconforto diminui. De acordo com os modelos referentes a fração 2ºD, esta apresenta menor desconforto quando a fração 3ºD e 1ºD se encontram ocupadas (M5), do que quando apresenta a fração lateral ocupada (M4).

Ao analisar-se a necessidade energética, conclui-se o mesmo que nos estudos anteriores. Porém, na estação de arrefecimento existe um maior consumo de energia, relativamente às outras frações alvo, uma vez que a fração 2ºD apresenta maiores ganhos de calor relativamente às outras, necessitando assim, de um sistema de arrefecimento para garantir as condições de conforto (temperatura inferior a 25ºC).

REABILITAÇÃO TÉRMICA E ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS SOCIAIS

Tabela 24 - Estudo paramétrico da fração 2ºD

Fração alvo	% de desconforto (valor de referência) (Aquecimento/Arrefecimento)	% de desconforto (Aquecimento/Arrefecimento)	Necessidade energética (kWh/m ² ano)
2ºD	M2  39,35 / 6,69	M3  45,68 / 0,00	M3 79,00 / 17,99
	M2  39,35 / 6,69	M4  44,26 / 0,86	M4 60,26 / 16,97
2ºD	M2  39,35 / 6,69	M5  43,79 / 1,06	M5 50,60 / 15,13
	M2  39,35 / 6,69	M6  41,97 / 2,56	M6 33,29 / 14,48
2ºD*	M1  50,17 / 0,00	M7  47,90 / 0,00	M7 38,26 / 9,24

* Fração alvo sem ganhos internos

6.4 Avaliação Global

Na figura 41 é representada a variação dos modelos analisados. Ao analisar globalmente o estudo paramétrico, concluímos que a fração 1°C é a que apresenta maior % de desconforto térmico, pelo facto de esta estar orientada a norte, tendo assim uma exposição solar muito mais reduzida relativamente às outras frações analisadas e orientadas a sul (R/chão D, 1°D e 2°D).

A fração 2°D é a que apresenta menor percentagem de desconforto durante a estação de aquecimento, mas por outro lado durante a estação de arrefecimento é a única que tem percentagem de desconforto, estado assim sobreaquecidas. Estes resultados devem-se ao facto de existir uma maior acumulação de ganhos solares do que nas outras frações inferiores. Assim, as frações superiores vão apresentar uma menor percentagem de desconforto nas estações de aquecimento do que as frações localizadas a cota inferior.

No modelo M6 as frações 1°C e 1°D apresentam as mesmas condições, porém existe uma diferença nos resultados devido á exposição solar de uma ser muito maior em relação à outra.

A fração R/chão D, nos modelos M5, M6 e M7, têm uma maior percentagem de desconforto devido há perda de calor existente entre a fração alvo e o solo.

Com o modelo M7, conclui-se que a influência entre as frações B com C e D com E é insignificante, devido há pouco área de contacto existente, levando assim a valores de desconforto mais elevados.

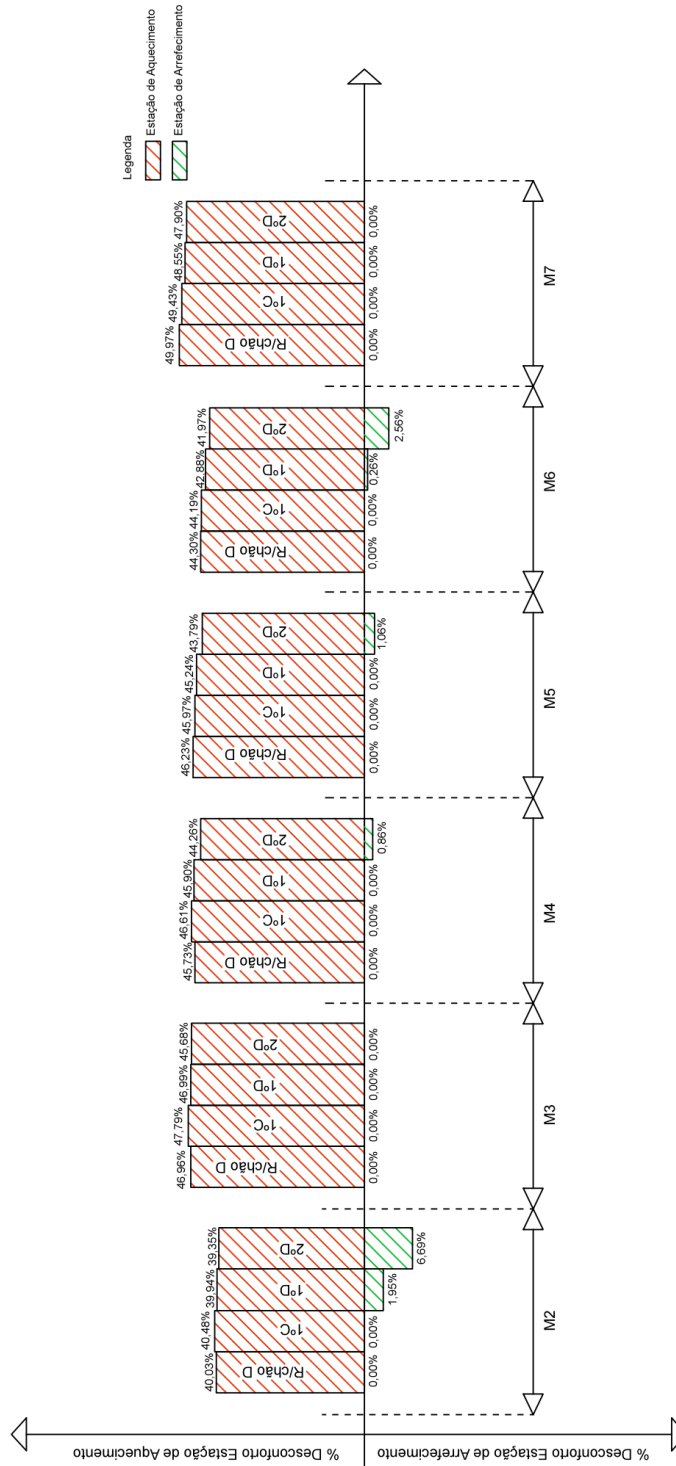


Figura 40 - Estudos Paramétricos Análise Global

Em suma, conclui-se que os fatores que influenciam o conforto térmico são a orientação solar da fração, a posição da fração relativamente ao andar e por último a ocupação das frações adjacentes e respetiva área de contato.

Do presente capítulo é possível obter as seguintes conclusões gerais:

- a. Da análise de temperaturas anuais verificou-se:
 - a) Elevadas amplitudes térmicas nas diferentes estações (inverno e verão)
 - b) Elevados períodos de desconforto no interior das frações orientadas a norte e este.
 - c) As frações dos níveis inferiores (R/chão) têm melhor comportamento térmico durante a estação de arrefecimento do que as frações dos níveis superiores.
 - d) Bom desempenho geral do edifício para a estação de verão.

- b. Da análise ao estudo da influência da ocupação das frações no conforto térmico verificou-se:
 - a) A transmissão de calor é mais influente no sentido vertical de ocupação, do que horizontal.
 - b) O grau de ocupação em frações adjacentes pode aumentar o desempenho térmico em 3% a 5% em termos de conforto segundo a EN15251 (EN15251, 2007).

Capítulo 7

Considerações Finais

Capítulo 7 – Considerações Finais

7.1 – Síntese do Trabalho Realizado

7.2 – Geometria e Soluções Construtivas do Modelo Original

7.3 – Ensaio de Porta Ventiladora e Monitorização

7.4 – Análise de Resultados

7.4.1 – Modelo Original

7.4.2 – Estudo Paramétricos

7.5 – Desenvolvimentos de Estudos Futuros

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1 Síntese do Trabalho Realizado

O estudo realizado permitiu uma caracterização às condições de conforto térmico na urbanização social Santiago, localizado em Aveiro.

Foram ainda realizados estudos paramétricos com o objetivo de compreender a influência das frações ocupadas/desocupadas das frações adjacentes sobre outras frações objeto de ações de melhoria do conforto térmico e reabilitação energética (designadas frações alvo).

7.2 Geometria e Soluções Construtivas do Modelo Original

A presente dissertação teve por base o estudo do edifício de habitação social com as soluções construtivas originais usadas na construção do mesmo no ano de 1987. Este edifício é construído antes da primeira regulamentação térmica em Portugal, que surge em 1990. Este edifício é especialmente carente de uma forte intervenção para resolver problemas de conforto térmico, bem como de condições de salubridade pela elevada suscetibilidade a problemas de condensação, desenvolvimento de fungos e bolores e ainda da qualidade do ar interior.

7.3 Ensaio de Porta Ventiladora e Monitorização

Ao analisar os ensaios Porta Ventiladora conclui-se que o edifício em estudo tem uma estanquidade reduzida ($\pm 5.32 \text{ h}^{-1}$). De acordo com a norma EnerPHit, a estanquidade do ar deve ser $\leq 1 \text{ h}^{-1}$, assim de forma tornar o presente edifício de acordo com a norma seria necessário melhorar a estanquidade deste de maneira a cumprir os requisitos.

Após a análise da monitorização da temperatura, conclui-se que ao longo de todo o ano existe uma grande percentagem de desconforto nas frações, sendo necessário uma intervenção no edifício que melhore o seu conforto térmico. Como possíveis soluções poderia ser utilizado maiores espessura de isolamentos térmicos na envolvente opaca melhores soluções dos envidraçados ao nível do vidro e do material de caixilharia, colocação de elementos construtivos com uma melhor inercia térmica, substituição do sistema de revestimento do telhado incorporando isolamento térmico, colocação de sistemas de ventilação passivo, de forma a obter melhores condições de conforto.

7.4 Análise de Resultados

7.4.1 Modelo Original

Ao se analisar a simulação do modelo original, considerado de condição de referência, constata-se que:

- As frações tanto ocupadas como desocupadas encontram-se em situações de desconforto (cerca de 30%) durante um grande período durante o ano.
- Durante a estação de aquecimento (considerado de outubro a maio) todas as frações estiveram sempre abaixo dos limites de conforto, enquanto que durante a estação de arrefecimento (considerado de junho a setembro) as frações tiveram um bom comportamento térmico.
- Assim, para que este edifício apresentasse um bom desempenho térmico segundo os limites impostos pela EN 15251 (EN15251, 2007) seria necessária uma melhoria da envolvente opaca e das soluções de envidraçados do edifício original de forma a que o seu comportamento durante o inverno não fosse tão suscetível à temperatura exterior.

7.4.2 Estudo Paramétricos

Dos estudos paramétricos à influencia da ocupação das frações no conforto térmico dos utilizadores verificou-se, ao analisar os estudos M1 e M2, concluímos que o edifício com as frações desocupadas (M1) durante a estação de aquecimento está abaixo dos limites de conforto, e durante a estação de arrefecimento encontra-se dentro dos limites de conforto. Por outro lado, o edifício com as frações ocupadas (M2) tem uma $T_{operativa}$ mais elevadas que o estudo M1 durante todo o ano, mas durante a estação de arrefecimento as frações superiores encontram-se sobreaquecidas, não só pela maior exposição solar, mas sobretudo pelo aumento de temperatura provocada pelos ganhos internos.

Conclui-se também com a análise dos diferentes estudos paramétricos (M3 até M7) que os fatores que influenciam o conforto térmico das frações são a orientação solar, a posição da fração e a ocupação/desocupação das frações vizinhas e respetiva área de contato entre frações.

Estas conclusões são relevantes, a montante de um estudo de reabilitação térmica e energética do edificado, dado a natureza deste (social e de ocupação intermitente) e ainda pelo objetivo de redução do desconforto e de consumo energético até níveis aceitáveis, podendo adaptar os limites de conforto.

7.5 Desenvolvimento de Estudos Futuros

O contributo do presente estudo desenvolvido poderá ser ampliado em futuros trabalhos de investigação na área de eficiência energética e conforto térmico de edifícios multifamiliares de cariz social.

Neste estudo não foi contabilizado o fenómeno da transferência de humidade, assim no âmbito de um futuro estudo este parâmetro pode ser estudado em detalhe de forma a

perceber qual a influencia da transferência de vapor de água na avaliação das condições de conforto térmico e durabilidade da construção.

Avaliar o conforto térmico com base em outros documentos normativos, como por exemplo, ASHRAE 55 (ASHRAE 55, 2004), em 7730 (EN 7730, 2001) e ISO/TS 14415 (ISO/TS 14415, 2005).

Realização de um estudo numérico semelhante ao desenvolvido nesta dissertação, mas realizado após a intervenção de reabilitação feita nos edifícios, percebendo assim se esta foi benéfica ao nível das condições do conforto térmico, e verificar se esta intervenção cumpre os critérios da norma EnerPHit.

Analisar da perspetiva económica e financeira de ações de reabilitação do edifício, permitindo definir o período de retorno do investimento feito e quais as poupanças geradas ao longo da utilização do edifício.

Referências Bibliográficas

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Adene, <<http://www.adene.pt/o-que-e-1>> , 2016.
- 2) Aguiar, “Procedimentos de Construção de Anos Meteorológicos Representativos para o RSECE”, *ed: DER, Lisboa, Nota Técnica INETI. 27, 2004.*
- 3) Amaral, Manuel António Pinto da Silva, “Sistema dde ventilação natural e mistos em edifícios de habitação”, 2012.
- 4) Antón, N. D., Vogt, A., & Mateos, M. S., “Step-by-step Retrofit towards EnerPHit Standard in Social Housing in Spain.” Em *20th international Passive House conference 2016* (pp. 651-656). Alemanha : Staff of the Passive House Institute, 2016.
- 5) Ascione, F., D'Agostino, D., Marino, C., & Minichiello, F., “Earth-to-air heat exchanger for NZEB in Mediterranean climate”, 2016.
- 6) ASHRAE 55, “American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy”, 2004.
- 7) Baeli, M., “Residential Retrofit 20 case studies.”, RIBA Publishing, 2013.
- 8) Bandeirinha, J., “O Processo SAAL e a Arquitetura no 25 de Abril de 1974.”, Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2001.
- 9) Baptista Coelho, A., “20 Anos a promover a construção de habitação social 1984-2004”. Lisboa: Instituto Nacional da Habitação, 2004.
- 10) Betoncrete, serviços em GRC, <<https://www.betoncrete.pt/2017>>, 2017.
- 11) Bigladder Software (2015), < <http://bigladdersoftware.com> >, 2017.
- 12) Boermans, T., Hermelink, A., Schimschar, S., zinger, J. G., & Offermann, M., “Principles for Nearly-zero-Energy Buildings –Paving the Way to Effective

- Implementation of Policy Requirements, Buildings Performance Institute Europe” (BPIE), 2011.
- 13) Chwieduk, D. A., “Towards modern options of energy conservation in buildings”, Elsevier, 2016.
- 14) Concamon, P., “Technical Note AIVC 57: Residential Ventilation.” Brussels, Air Infiltration and Ventilation Center (AIVC), 2002.
- 15) Costa, S., “Eficiência Energética de Edifícios: Conceito Passivhaus.”, Dissertação para a obtenção de Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, Instituto Superior de Agronomia Universidade de Lisboa, 2015.
- 16) Damas, Jorge, “Memória descritiva da arquitetura da Urbanização Santiago.”, 1982.
- 17) Delgado, M., “A Requalificação Arquitetónica na Reabilitação de Edifícios. Critérios Exigências de Qualidade; Estudo de casos.”, Dissertação para obtenção do grau de Mestre apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade do Porto, 2008.
- 18) Ema UA-TORRE: tempo e clima, < <http://ematorre.web.ua.pt/Aveiroclimate.asp> >, 2017.
- 19) CEN – Comité Européen De Normalisation. EN 15251:2007-08, “Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings- addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics, CEN, Brussels, Belgium”, ed, August 2007.
- 20) CEN – Comité Européen De Normalisation, EN 7730, “Ergonomics of the Thermal Environment –Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD indices and Local Thermal Comfort Criteria, CEN, Brussels, Belgium”, 2001.
- 21) EnergyPlus, <<https://energyplus.net/>> , dezembro 2016.

- 22) Ergonomics of the Thermal Environment, “Instruments for measuring physical quantities I. 7726,” 1998.
- 23) EuroPHit., <<http://europhit.eu/certification-retrofit-plans>>, outubro 2016.
- 24) EPBD, EU, E. U. “Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings,” *Official Journal of the European Union L*, 2010.
- 25) Feist, Wolfgang, et al. Passive house planning package 2007, “Specifications for Quality Approved Passive Houses, Technical Information PHI-2007/1 (E).”, *Darmstadt, Passivhaus Institut*, 2007.
- 26) Feist, W., Schnieders, J., Dorer, V., & Haas, A., “Re-inventing air heating: Convenient and comfortable within the frame of the Passive House concept.”, 2005.
- 27) Ferreira, M., Almeida, M., & Rodrigues, A., “Cost-optimal energy efficiency levels are the first step in achieving cost effective renovation in residential buildings with a nearly-zero energy target.”, *Elsevier*, 2016.
- 28) Figueiredo, A., “Passive house optimization for Portugal: Overheating evaluation and energy performance.”, *Elsevier*, 2015.
- 29) Figueiredo, A., “Thermal comfort and energy performance: Sensitivity analysis to apply the Passive House concept to the Portuguese climate.”, 2015.
- 30) Figueiredo, A., “Estratégias de eficiência energética e conforto para climas do sul da Europa: Otimização da Passive House e de soluções com PCM.”, Dissertação para a obtenção do grau de Doutor apresentada à Universidade de Aveiro, 2016.
- 31) Figueiredo, J., “Simulação do comportamento térmico e energético de Passive House em Portugal.”, Dissertação para obtenção do grau de Mestre apresentada à Universidade de Aveiro, 2014.
- 32) Fokaides, P. A., “Performance of a Passive House under subtropical climatic

- conditions.”, 2016.
- 33) Genitronsviluppo, <<http://www.genitronsviluppo.com>>, outubro 2016.
- 34) Gonçalves, H., & Brotas, L., Obtido de Passive-on: <<http://www.eerg.it/passive-on.org>>, 2007
- 35) Googlemaps, <<https://www.google.pt/maps>>, janeiro 2017.
- 36) IHRU – Instituto de Habitação e da Reabilitação Urbana, <<http://www.portaldahabitacao.pt/pt/portal/index.jsp>>, consultado 2017
- 37) INE, I.P., 2013. Caracterização da Habitação Social em Portugal 2015. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística.
- 38) INE, I.P., 2013. Edifícios de habitação social objeto de obras de conservação 2015. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística.
- 39) ISO/TS 14415, “International Organization for Standardization, Ergonomics of the Thermal Environment – Application of International Standards to People with Special Requiriments”, ISO/TS 14415, 2005.
- 40) Dos Santos, Carlos A Pina; Matias, Luís, “Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios – LNEC”, Versão atualizada 2006, Lisboa.
- 41) Jokisalo, Juha. “On design principles and calculation methods related to energy performance of buildings in Finland”. Teknillinen korkeakoulu, 2008.
- 42) LabEEE – Laboratório de eficiência energética em edificações, <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/normalizacao/Termica_parte2_SET2004.pdf>. > 2017.
- 43) Lang, A., “EuroPHit - Increasing the European potencial.”, Passive House Institute, 2016.

- 44) Lechtenböhrer, S., & A. Schüring, “The potential for large-scale savings from insulating residential buildings in the EU”. *Energy efficiency*, 257 – 270, 2011.
- 45) Lima, F., Bragança, L., & Mateus, R., “Edifícios antigos – reabilitação sustentável low cost.”, 2012.
- 46) Lindberg, K. B., Fischer, D., Doorman, G., Korpås, M., & Sartorif, I., “Cost-optimal energy system design in Zero Energy Buildings with resulting grid impact: A case study of a German multi-family house”, 2016.
- 47) Machado, Alexandre Miguel Coutinho, “Aplicação do Ensaio da Porta Ventiladora à Avaliação da Estanquidade ao Ar de Edifícios de Habitação.”, Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil apresentada à Universidade do Porto, 2013.
- 48) Melo, A.P., Westphal F. S. & Matos, M., “Apostila do Curso Básico do Programa EnergyPlus.”, Florianópolis, Brasil: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.
- 49) Morellia, M., Rønbyb, L., Mikkelsen, S. E., Minzaric, M. G., Kildemoesd, T., & Tommerupa, H. M., “Energy retrofitting of a typical old Danish multi-family building to a “nearly-zero” energy building based on experiences from a test apartment”, 2012.
- 50) Oehler, S., “Conversion of a trading post into a multi-family building with lofts.”, *Em 18th international Passive house conference (pp. 339- 344). Alemanha: Staff of Passive House Institute*, 2014.
- 51) Parada, M. d., “Reabilitação Energética de um edifício antigo segundo os requisitos EnerPHit.”, Dissertação para obtenção do grau de Mestre apresentada à Universidade de Aveiro, 2014.
- 52) Passive House Institute, < <http://www.passivehouse.com> > outubro 2016.

- 53) Passipedia - the Passive House Resource < <https://passipedia.org/> >, outubro 2016.
- 54) Passive-On Project, < <http://www.eerg.it> >, outubro 2016.
- 55) PassivHaus Zero-Energy, < cargocollective.com/pzepp >, dezembro de 2016.
- 56) Pereira, Elson Manoel, “Zoneamento Urbano e Habitação de Interesse Social”, *Seminário Internacional Gestão da Terra e Habitação de Interesse, 2000*.
- 57) PIMENTA, M. (COORD.), “Estudo Socioeconómico de Habitação Social.”, Porto: Câmara Municipal do Porto, Pelouro de Habitação e Ação Social, 2001.
- 58) Reinberg, G. W., “Passive house refurbishment with extension and redensification under challenging conditions.” *Em 18th international Passive House conference (pp. 345- 350). Alemanha: Staff of the Passive House Institute, 2014*.
- 59) REH, “Regulamento de desempenho energético edifícios de habitação (REH) Diário da República, I série – A, Decreto-Lei nº 118/2013”, Lisboa, Agosto 2013.
- 60) RERU, < <http://www.portaldahabitacao.pt> >, novembro 2016.
- 61) Sensirion- The Sensor Company, < <https://www.sensirion.com/en/environmental-sensors/humidity-sensors/development-kit/> >, consultado em 2017.
- 62) Sherman, Max., “The use of blower-door data.”, *University California, 1998*.
- 63) Southzeb, < <http://www.southzeb.eu/pt-pt/sobre-southzeb/> >, outubro 2016.
- 64) Team, E., “Tips & tricks for using EnergyPlus: insider secrets to using Energy-Plus.” US DOE Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE), 2010.
- 65) Teixeira, M., “Habitação Popular na cidade oitocentista, as ilhas do Porto (1988).”, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica, Textos Universitários de Ciências Sociais e Humanas, 1996.
- 66) Teotónio Pereira, N., “Pátios e Vilas de Lisboa, 1870-1930: a promoção privada de alojamento operário, Análise Social.”, In: *Revista do Instituto de Ciências Sociais da Universidade de Lisboa, n.o 127, 4.asérie, Vol. XXIX, Lisboa, 1994*

- 67) Wassouf, M., “Da casa passiva à norma Passivhaus. Espanha: Editorial Gustavo Gili.”, SL, 2014.
- 68) Wolfgang Feist., “EnerPHit and EnerPHit+i Certification Criteria for Energy Retrofits with Passive House Components.”, 2013.